



BOLETÍN núm. 21

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA

ESPECIAL NUEVO LOGO DE LA SEA

Propuestas a votación

2009 AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA

**APROXIMACIÓN
HISTÓRICA
AL DESARROLLO DE
LA ASTRONOMÍA
EN ESPAÑA**

**EL INTERÉS DE
LA SOCIEDAD
MODERNA POR
LA ASTRONOMÍA**

**MARGARET GELLER
DOCTOR HONORIS CAUSA**

**OBITUARIO DRA. CATALÁ
OBITUARIO DRA. FERRÍN**

TESIS DOCTORALES



SUMARIO

EDITORIAL

ARTÍCULOS

- 3** Apuntes para la historia de la Astronomía en España **Iván Fernández**
13 Seis meses del año internacional de la Astronomía. **Montserrat Villar**
17 El interés de la sociedad moderna por la Astronomía, medido a través de los diccionarios de la Real Academia Española **Corrado Giammanco**

OBITUARIO

- 21** Obituario Dra. Català **Francesca Figueras y Jorge Núñez**
23 Obituario Dra. Ferrín **Josefina F Ling**

TESIS DOCTORALES

- 25** Un estudio comparativo de procesos de Formación Estelar en distintos entornos
Guillermo F. Hägele
- 27** Diffraction-limited spectropolarimetry of quiet-Sun magnetic fields
David Orozco Suárez
- 30** Estudio de las morfologías de galaxias lejanas a partir de grandes cartografiados cósmicos en el infrarrojo cercano mediante telescopios terrestres
Marc Huertas-Company
- 32** La Galaxia Anfitriona de las Galaxias Compactas Azules **Ricardo Amorín Barbieri**
- 35** La cámara óptica OMC-INTEGRAL: Monitorización de fuentes de altas energías
Daniel Rísquez
- 37** Evolución y agrupamiento a gran escala de una muestra de fuentes extragalácticas en rayos-X **Jacobo Ebrero Carrero**
- 39** Estudio de discos gaseosos en sistemas binarios **Miguel de Val Borro**
- 41** Estudio de flujos horizontales en regiones solares activas basado en técnicas de alta resolución para reconstrucción de imágenes **Santiago Vargas Domínguez**
- 43** Caracterización del índice de CO en 2.3 micrómetros y su aplicación al estudio de poblaciones estelares en galaxias de primeros tipos **Esther Mármol Queraltó**
- 46** Caracterización mineralógica de asteroides cercanos a la Tierra
Julia María de León Cruz

HONORIS CAUSA

- 51** Margaret Geller, doctora Honoris Causa por la Universidad Rovira i Virgili
Equipo “Ella Es Una Astrónoma”

ARTÍCULO INVITADO

- 52** Supernovas y su emisión en radiofrecuencia **I. Martí-Vidal y J.M. Marcaide**

BOLETÍN DE LA SEA

EDITORES

Íñigo Arregui Uribe-Echevarría

Nicolás Cardiel López

Xavier Luri Carrascoso

Belén López Martí

Jaime Zamorano Calvo

Laura Vidal Tur

PORTADA

Laura Vidal Tur

COMITÉ EDITORIAL

Agustín Sánchez Lavega

Antonio Alberdi Odriozola

Fernando Moreno Insertis

Rafael Rebolo López

Jaime Zamorano Calvo

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA

<http://www.sea-astronomia.es>

COMISIÓN DE INFORMACIÓN

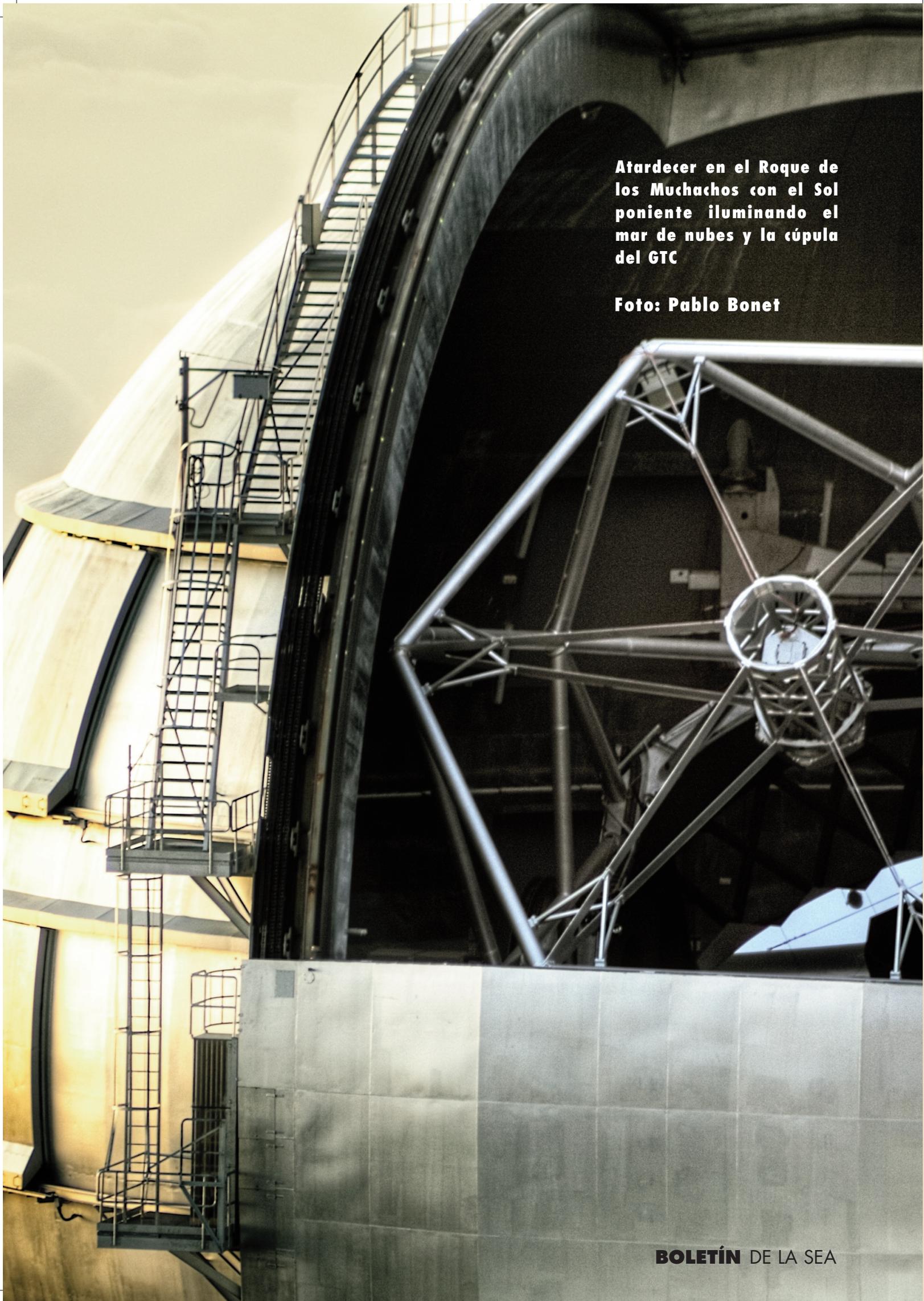
comi-info@sea.sea-astronomia.es

Desde mediados de año, hemos emprendido una tarea de renovación de los elementos de imagen y de comunicación de la sociedad, parte de cuyos resultados tenéis en este boletín. El esfuerzo se ha centrado fundamentalmente en el sitio web de la SEA (que cuenta con un nuevo nombre de dominio más apropiado, www.sea-astronomia.es), cuyo diseño y contenidos se han actualizado, y en el boletín de la sociedad, que ha seguido una evolución pareja. Hemos contado con la ayuda inestimable de Laura Vidal, quien se ha encargado de realizar una propuesta de diseño y estilo que incluye todos los aspectos de comunicación de la SEA; y de Annia Domènech y Anna Boluda, quienes realizaron una propuesta de nuevos contenidos de la web, y también tocaron algunos aspectos del boletín, que ha desarrollado posteriormente Laura.

Como parte de esta renovación de estilo, Laura ha trabajado también sobre el logo de la sociedad, y nos propone dos nuevos, que junto con el actual, forman una terna sobre la que debe pronunciarse la SEA, utilizando para ello las facilidades de la nueva herramienta SEAMOS.

LOGOTIPOS A VOTACIÓN**Explicación de la nueva propuesta de logo (a la derecha)**

Se diferencian las tipografías de “sociedad española” y de “astronomía” porque entiendo que la astronomía es lo importante de esta sociedad. Por esta razón está en mayúsculas. La astronomía nos acerca al espacio, a los planetas. Por eso, las letras, se levantan del suelo. El universo tiene colores, pero quizás el color más predominante es el negro. El pantone solid 402 coated recoge el polvo cósmico. Las formas que cierran el logotipo nos recuerdan a las órbitas, a los anillos planetarios y, en definitiva, a las formas predominantes del espacio.



Atardecer en el Roque de los Muchachos con el Sol poniente iluminando el mar de nubes y la cúpula del GTC

Foto: Pablo Bonet



APUNTES PARA LA HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN ESPAÑA

La historia de la Astronomía en España está llena de vaivenes, de momentos álgidos y de períodos decadentes producidos por diversas circunstancias políticas, sociales y científicas.

Al margen de las manifestaciones astronómicas conocidas desde tiempos prehistóricos (objeto de estudio de la Arqueoastronomía) en la Península Ibérica puede decirse que el primer interés por fomentar los estudios astronómicos comienza en la Edad Media, concretamente sobre el siglo VIII con la invasión de los árabes, civilización muy proclive al avance del conocimiento el cual difundían allá en donde se establecían. En la Europa medieval no se produjeron grandes avances científicos, por lo que la Ciencia que se cultivaba en la Península servía posteriormente de referencia en nuestro continente.

Por aquel entonces, los conocimientos astronómicos eran los provenientes de la época de la Grecia clásica, que

a su vez había heredado buena parte de ellos de, fundamentalmente, las civilizaciones babilónica y egipcia. Dominaba la concepción ptolemaica, con la Tierra en el centro del Universo y los planetas y el Sol girando alrededor de ella en círculos concéntricos a velocidad constante. Para explicar las posiciones de los planetas en el cielo (esfera de estrellas fijas), éstos se movían en unos pequeños círculos denominados epiciclos. El cielo se consideraba “incorrutable”, por lo que la aparición de un cometa, por ejemplo, era un fenómeno inexplicable considerado como algún “aviso divino”.

El problema principal de la Astronomía de la época era la medida del tiempo. Para la Astrología (por entonces prácticamente coincidente con la Astronomía), el principal objetivo era el cálculo de las posiciones futuras de los planetas (efemérides), para determinar el futuro de un monarca o un pueblo.

De esta época, merece la pena mencionar las contribuciones de Maslama de Madrid y de su hija Fátima (siglo X), así como las de Azarquiel (siglo XI). Del primero se conoce

ARTÍCULO INVITADO

una adaptación de las tablas de Al-Jwarizmi y de una traducción y comentarios al *Planisferio* de Ptolomeo, mientras que de Fátima se conoce especialmente su *Tratado del Astrolabio*. De Azarquiel se destaca la elaboración de las tablas de Toledo y varios tratados sobre instrumentos astronómicos.

Posteriormente, en los territorios “reconquistados” se recogen los frutos de esta intensa actividad. Así, en Castilla, el Rey Alfonso X el Sabio (siglo XIII) mandó elaborar unas tablas astronómicas que fueron un referente en Europa (durante casi dos siglos) y con el que el reino castellano consiguió la hegemonía en este campo. Además, recopiló todo el conocimiento existente en Astronomía en *Los Libros del Saber de Astronomía*, los cuales, aunque con un fin astrológico, contienen todo lo necesario (con descripción y uso de los principales instrumentos astronómicos) para elaborar las efemérides. Por todo ello, esta rama de la Ciencia alcanzó un momento culminante en la Península.

Tras el fallecimiento del rey sabio se entró en una fase de decadencia producida, quizás,

por la sensación de que el trabajo hecho era insuperable.

Saltando al siglo XV, en Europa comienza la revolución científica focalizada en el campo de la Astronomía en las figuras de Nicolás Copérnico, Tycho Brahe y Johannes Kepler. El primero elaboró un nuevo modelo del Universo colocando al Sol en el centro del mismo y en donde los planetas giraban a su alrededor en órbitas circulares. Con este modelo se podían calcular las posiciones de los planetas más fácilmente que con el sistema ptolemaico. Esta teoría tuvo inicialmente muchos detractores. Brahe era uno de ellos y elaboró un nuevo modelo de compromiso en el que los planetas giraban en torno al Sol y todos ellos a su vez se movían alrededor de la Tierra que estaba en el centro del Universo. Tycho obtuvo las medidas más precisas de la época de las posiciones de Marte con el fin de probar la exactitud de su modelo pero falleció en 1601 sin poder hacerlo. Kepler, copernicano convencido, heredó los datos de Brahe y los utilizó en sus cálculos llegando a la conclusión de que los planetas (incluida la Tierra) giran en

órbitas elípticas alrededor del Sol que ocupaba uno de sus focos. También probó que los planetas se mueven a una velocidad inversamente proporcional a su distancia con el astro rey (posteriormente Isaac Newton explicaría la naturaleza física de estos movimientos con la formulación de la Ley de Gravitación Universal). Además, Galileo Galilei observó el cielo por primera vez con un telescopio en 1609 descubriendo la existencia de satélites en Júpiter, las manchas solares o las fases en Venus, entre otras contribuciones.

Mientras tanto en la Península, a finales del siglo XV, se libraban los últimos años de la “Reconquista” y tras la finalización de la misma se expulsó a árabes y judíos (los que más fomentaban el avance del conocimiento). Todo ello, unido al esfuerzo que desde entonces se promovió por los problemas de la Cosmografía, principalmente desde la Corte de Castilla, provocó la pérdida de la hegemonía conseguida.

Aunque está ampliamente admitido que entre los siglos XV y XVIII (ambos incluidos), apenas se ha desarrollado la Astronomía en la Península

Ibérica, trabajos recientes (y no tan recientes) indican que dicha apreciación no es del todo correcta. Es cierto que no hemos tenido una figura al más alto nivel, pero sí ha habido varias personas que han realizado trabajos de índole astronómica con cierta calidad.

Estos trabajos pueden considerarse, salvo algunas excepciones, como aportaciones de tipo individual. Sin embargo, se ha comprobado que estos personajes estaban ligados a algún tipo de institución que fomentaba en mayor o menor medida estudios de carácter científico, por ejemplo trabajando al servicio de la Corte o para algún mecenas, docentes en universidades (especialmente, catedráticos de astrología de la Universidad de Salamanca) y en otras instituciones como la Academia de Matemáticas (y su “heredero” el Colegio Imperial de Madrid) la Casa de Contratación o el Colegio de San Telmo en Sevilla.

Entre los personajes que deben mencionarse, en el siglo XV, son reseñables los trabajos de Abraham Zacuto, de origen salmantino, aunque sus aportaciones (especialmente su *Almanach Perpetuum*) tuvieron

una mayor acogida y trascendencia en Portugal.

En el XVI podemos destacar las aportaciones de Jerónimo Muñoz, quien estudió la “nova” de 1572 en el *Libro del nuevo cometa*, deduciendo su carácter supralunar, y las de Diego de Zúñiga, quien en su obra *In Job Commentaria* (1584) hace una defensa del copernicanismo (esta obra sería declarada herética en 1616).

El siglo XVII parecía que iba a ser favorable para el desarrollo de la Astronomía en España, dadas las importantes contribuciones de astrónomos en otros lugares de Europa al comienzo del mismo. Además, en los Estatutos de la Universidad de Salamanca (de 1625) se ordenaba leer a Copérnico y las Tablas Pruténicas de Reinhold. Sin embargo, el pensamiento contrario de la Inquisición al copernicanismo frenó ese avance que se esperaba. No obstante, encontramos en estos años figuras destacadas como las de Benito Daza de Valdés, Juan Caramuel, Vicente Mut y José de Zaragoza. De Daza de Valdés se destaca su obra *Uso de los anteojos* (1623) con conte-

nidos de óptica. Juan Caramuel publicó varias obras de física y de matemáticas entre 1638 y 1644. Vicente Mut se caracterizó por una gran precisión en sus observaciones destacando sus cálculos de la trayectoria del cometa de 1664. José de Zaragoza escribió en 1675 el libro *Fábrica y uso de varios instrumentos matemáticos*, referente a 14 instrumentos que él mismo construyó con ayuda de varios colaboradores.

A finales del siglo XVII (y principios del XVIII), en Valencia, cultivaron los temas matemáticos y astronómicos Juan Bautista Corachán y Tomás Vicente Tosca, entre otros. Estos personajes, a los que se les ha denominado “novatores”, pretendieron en aquel momento “poner al día” los conocimientos matemáticos y astronómicos en el territorio peninsular, y disminuir así el atraso científico que se venía padeciendo. Del primero se conocen varios manuscritos que no fueron publicados en su momento y el segundo es autor del *Compendio Matemático*, una obra de carácter enciclopédico que contiene un amplio tratado de Astronomía.

Ya entrado en el siglo XVIII, las contribuciones más notables en España han sido las proporcionadas por Jorge Juan y Santacilia y Antonio de Ulloa. Ambos se formaron con importantes astrónomos franceses durante la expedición que tuvo lugar en Ecuador para la medida del arco meridiano.

Poco a poco, la nueva concepción copernicana (y en general la nueva Ciencia) se va imponiendo en España y en el resto de Europa a pesar de instituciones como la Inquisición. La mejor comprensión de los fenómenos celestes con esta visión y los constantes errores del modelo ptolemaico contribuyeron a ello.

Sin embargo, la entrada de la Ciencia moderna no se pudo hacer en un principio desde la universidad, a pesar del empeño que pusieron en ello los monarcas ilustrados. La “regeneración científica” llegó a España, en un primer momento, gracias a que se crearon instituciones científicas no universitarias, ya que en éstas no se plasmaba el cambio. Nos referimos a instituciones como la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, las Sociedades Económicas de

Amigos del País, Seminarios de Nobles, Tertulias y Academias, Observatorios Astronómicos, Juntas de Comercio, etc. Además de las instituciones señaladas, hay que añadir las Escuelas Militares y ya en el siglo XIX las Escuelas Especiales de Ingenieros.

En Europa, entre los siglos XV al XVIII, hay que reseñar que se observa una relación directa en los Estados (especialmente en Inglaterra y Francia) que han promovido la investigación astronómica en centros específicos (como por ejemplo la Royal Society -1660-, Observatorio de Greenwich -1675-, Academia de Ciencias de París -1666-, Observatorio de París -1669-), con un avanzado conocimiento científico y un alto grado de beneficio económico y social. En España, ese interés del Estado por la Ciencia llegó mucho más tarde que en otras regiones. Así, no se crearía el primer Observatorio Astronómico oficial (el Real Observatorio de Cádiz dependiente de la Academia de Guardias Marinas) hasta 1753 (y posteriormente el de Madrid en 1790).

El primer Observatorio mencionado fue creado a instancias de Jorge Juan (como réplica al Observatorio de Greenwich) para el estudio de los problemas de la navegación en alta mar y el segundo (a semejanza del Observatorio de París) más enfocado a las tareas de la Mecánica Celeste y la Cartografía.

Tras un período de decadencia que se inicia con la guerra de la independencia y se prolonga en el reinado de Fernando VII, no será hasta mediados del convulso siglo XIX español cuando la actividad científica cogió nuevo auge. Lentamente, las actividades en los dos observatorios mencionados fueron creciendo en intensidad y calidad gracias a la formación de buenos astrónomos y a la diversa instrumentación adquirida. Por otra parte, en la universidad española poco a poco los contenidos científicos van introduciéndose en los planes de estudio y en los últimos años del XIX aumenta el número de catedráticos dedicados a disciplinas como la Cosmografía y la Geodesia.

¿Y en Europa? A pesar de que en los distintos países

europeos también se vivieron momentos difíciles, la extensa red de instituciones científicas y observatorios astronómicos que se constituyeron permitieron seguir con los descubrimientos. Entre la segunda mitad del XVIII y el siglo XIX se han construido telescopios cada vez más potentes con los que se han divisado nuevos cuerpos no contemplados anteriormente. Además, se generaliza el uso de la fotografía astronómica, se desarrolla la fotometría y la espectroscopía, permitiendo el nacimiento de una nueva disciplina: la Astrofísica.

Además de las técnicas comentadas que han permitido un despegue significativo en el conocimiento astronómico en Europa, tenemos que hablar de importantes avances en los campos de la Mecánica Celeste, Astrometría y Astronomía de posición.

Entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX se produce en España otro salto hacia delante en el campo de la Astronomía. Esto es debido a distintos factores entre los que podemos destacar la sucesión de varios fenómenos astronómicos singulares que tuvieron

lugar en territorio español (tres eclipses totales de Sol en 1900, 1905 y 1912 así como la aparición del cometa Halley en 1910), la creación de nuevos observatorios astronómicos (Cartuja, Fabra, Ebro y los universitarios de Barcelona y Valencia), el comienzo del amateurismo y la consolidación de la presencia de la Astronomía en los planes de estudio en la Universidad.

En cuanto a la hegemonía en el campo de la Astronomía, los Estados Unidos desbancaron a Europa gracias, entre otras circunstancias, a la instalación de telescopios de gran tamaño financiados por mecenazgos que ansiaban notoriedad.

Volviendo a España, entre 1920 y 1936 se vivieron años de grandes avances en los que se destaca la participación del Observatorio de Marina en proyectos de calado internacional (como la elaboración de la Carta del Cielo), el comienzo de actividades astrofísicas en el Observatorio de Madrid y los descubrimientos de Josep Comas Solà y Ramón María Aller, entre otras contribuciones.

La guerra civil truncó el progreso obtenido hasta entonces y en la posguerra la

situación de la Astronomía en España dejaba bastante que desear a pesar de los esfuerzos de los catedráticos de Astronomía de la época (José María Torroja Menéndez en Madrid, Ramón María Aller Ulloa en Santiago de Compostela, Rafael Cid Palacios en Zaragoza y Juan José de Orús Navarro en Barcelona) y de la creación de nuevos observatorios como el Observatorio Astronómico de la Universidade de Santiago de Compostela o el Observatorio del Teide.

De José María Torroja se destacan sus trabajos sobre eclipses y de cálculo de órbitas de asteroides y cometas durante los años cuarenta y cincuenta (posteriormente abandonó los trabajos astronómicos para dedicarse fundamentalmente a la Geodesia). Ramón María Aller Ulloa (al margen de su actividad previa en su Observatorio privado de Lalín) trabajó fundamentalmente en la observación y cálculo de estrellas dobles y creó en Santiago de Compostela una importante escuela de astrónomos, Rafael Cid Palacios fue el padre de la Mecánica Celeste en España y formó a una veintena de discípulos que han ocupado puestos docentes tanto en la Universidad de Zaragoza como en otras universidades. Juan José de Orús, se esforzó por abrir nuevas líneas de actuación en la Universitat de Barcelona y de crear un núcleo amplio y fuerte de investigación astronómica en la misma. En el Observatorio del Teide se realizaron en los sesenta trabajos de prospección del cielo nocturno a cargo del doctor Francisco Sánchez Martínez.

La década de los setenta supone el relanzamiento de la Astronomía española a modo de intento por recuperar aquel entusiasmo de las décadas de los veinte y comienzos de los treinta. En esta década se crearon nuevos centros de investigación e instalaciones astronómicas como el Centro Astronómico Hispano Alemán (CAHA) auspiciado por la Sociedad Max Planck de Astronomía de Heidelberg, el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) promovido por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) —creado mediante Acuerdo entre la Universidad de la

Laguna, el CSIC y los cabildos insulares- y la Estación de Seguimiento de Satélites de Villafranca del Castillo (VILSPA) auspiciada por la ESA. En el CAHA los astrónomos españoles dispusieron inicialmente de un 10% del tiempo de sus telescopios (a cambio de instalarlos en suelo español), en el IAA se trabajó en un principio en fotometría estelar y aeronomía, en el IAC en física solar y estudios de alta atmósfera (posteriormente también en trabajos de astronomía infrarroja) y en VILSPA se aprovecharon las visitas de importantes astrónomos especialistas en el ultravioleta.

Además en estos años el Observatorio de Madrid comienza una importante expansión y adquiere nuevo instrumental que se localizaría en Yebes (Guadalajara) y en Calar Alto (Almería) formándose así en su conjunto el Observatorio Astronómico Nacional (OAN). Ese cambio de denominación no es algo anecdótico, es la personificación de una institución distinta que ha derivado sus líneas de investigación hacia la Radioastronomía (disciplina que nació en la década de los

treinta). También en este período se inicia la recuperación del Observatorio Astronómico de la Universitat de Valencia, se organizan los primeros congresos destinados específicamente a la incipiente comunidad astronómica y se crean las primeras cátedras y agregadurías en Astrofísica en la universidad española (la de la Laguna en Canarias fue la pionera) separadas de la enseñanza de la Astronomía clásica, en las secciones de Física de las Facultades de Ciencias.

Sobre el análisis de la enorme evolución de la Astronomía española acaecida desde entonces hasta la actualidad, tradicionalmente se ha venido afirmando que ha sido debida a la instalación de nueva instrumentación astronómica de distintos países en suelo español (con la consecuente llegada de personal de alto nivel científico del exterior), sin embargo, se tiende a olvidar que también han existido una serie de personas que tras finalizar sus estudios, viajaron al extranjero para formarse y realizar fuera sus tesis doctorales. Otros, en cambio, tuvieron que formarse en la España de entonces con el esfuerzo que ello suponía.

Unos y otros contribuyeron a crear escuela y formar a su vez a nuevos astrónomos. Es obvio que todo esto no sería posible sin la presencia (cuestionada o no) de los catedráticos de la época quienes les tocó vivir una época muy difícil y aún así su aportación ha sido crucial y a veces no valorada para poder llegar a donde estamos ahora.

Por lo tanto, el despegue de la Astronomía española entendemos que no puede sólo atribuirse a la calidad del cielo de Canarias o de Andalucía, sino también al mayor contacto internacional y sobre todo al esfuerzo de muchas personas.

Fue un momento en el que la Astrofísica comenzó a imponerse a las ramas clásicas de la Astronomía como la Astrometría o la Mecánica Celeste. Este fenómeno se dio en España en una época muy tardía con respecto a otros países de nuestro entorno. Ello se debió a varios hechos. Un motivo fue que en la posguerra el Observatorio de Madrid se dedicó principalmente a realizar tareas propias de la Astronomía de posición. Las causas fueron el exilio de algunos astrónomos, la formación más matemática de los científi-

cos que trabajaron durante aquellos años y también la responsabilidad que tuvo este Observatorio de elaborar las efemérides de pequeños planetas lo que le consumió buena parte de su esfuerzo. Dicho encargo fue muy importante pues ayudó a evitar la expulsión de España de la International Astronomical Union (IAU). Otro motivo a tener en cuenta fue la penuria económica de aquellos años. Bastante se hacía con tener los instrumentos existentes en funcionamiento y a nadie se le ocurría pensar en nueva instrumentación de calidad. Apenas se recibían publicaciones internacionales y las salidas al extranjero para asistencia a congresos o reuniones de organismos internacionales eran una odisea. El país vivía en una autarquía, las contribuciones científicas se plasmaban en publicaciones nacionales como *Urania*, *Las Ciencias*, o los boletines de los distintos centros (*boletín del Observatorio de Madrid*, *boletín mensual del Observatorio del Ebro*, *boletín mensual del Observatorio de Cartuja...*). Esa era la cultura del momento.

Por todos estos hechos, se ha formado una imagen de una Astronomía española en dichos años como rancia. Como la Astronomía que se cultivaba era la relativa a las ramas clásicas, éstas han sufrido a nuestro entender un cierto desprestigio que no se merecen. Otras partes de la Astronomía, como la Astrofísica o la Cosmología, merecían una mayor atención durante aquellos años pero las circunstancias no lo permitieron.

En la década de los ochenta también tienen lugar sucesos que merecen ser destacados. Son unos años en los que se produce una gran expansión en el número de docentes en la universidad española, gracias entre otras actuaciones, a las pruebas de idoneidad celebradas en 1984 al amparo de la Ley de Reforma Universitaria (LRU). La más beneficiada en este sentido fue la Universitat de Barcelona que pudo estabilizar a un buen número de astrónomos para el hoy denominado Departamento de Astronomía y Meteorología. Además, en el ámbito universitario hay que destacar la recuperación científica del Observatorio Astronómico de la Universidad de Santiago de Compostela

(desde 1983 con la denominación de Observatorio Astronómico Ramón María Aller) y la creación del Grupo de Mecánica Espacial en la Universidad de Zaragoza. También es de destacar el cambio de status del IAC que pasó a tener rango de Consorcio Público de Investigación (lo que le concedió una mayor autonomía) y la entrada de España como miembro de pleno derecho en el Instituto de Radioastronomía Milimétrica (IRAM) en el año 1990. En cuanto a la Astronomía Espacial, España poco a poco fue teniendo un papel más relevante. Así, han surgido grupos especializados en el diseño y fabricación de instrumentación espacial y también de grupos científicos cuyo campo de trabajo sería la explotación de los datos obtenidos en estas misiones.

La década de los noventa trae consigo la creación de nuevos centros de investigación como el Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF), el Instituto de Física de Cantabria (IFCA), el grupo de Astrofísica dentro del Instituto de Estructura de la Materia (hoy

Departamento de Astrofísica Molecular e Infrarroja

–DAMIR–), el Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC) y la División de Astrofísica del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). También en estos años se constituye la Sociedad Española de Astronomía (SEA) y se crea el Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica (PNAYA), una herramienta de financiación de proyectos científicos de gran importancia, en especial para los pequeños grupos de investigación de las universidades.

En el terreno científico se abren nuevos campos de investigación como la búsqueda de exoplanetas, la Astrobiología y se aplican nuevas técnicas como la Robótica.

Ya en el presente siglo tenemos que destacar la creación del Centro de Astrobiología (CAB) y también de redes temáticas de trabajo para una mayor cooperación y aprovechamiento de los recursos astronómicos. Ejemplos de trabajo en coordinación los tenemos, por ejemplo, en la Red Española de Bóridos y Meteoritos (SPMN), la Red

Española de Planetas (REP) o el proyecto ASTRID en la Comunidad de Madrid. Es recientemente cuando se pone en marcha el Gran Telescopio de Canarias (GTC) y cuando al fin se ve colmada una vieja aspiración de la Astronomía española: la entrada de España en el European Southern Observatory (ESO). En el año 2008 se han producido también las inauguraciones de dos nuevas instalaciones como el Observatori de Aras de los Olmos y del Observatori del Montsec. En el aspecto académico, ha aumentado considerablemente el número de universidades en las que en mayor o menor medida se imparte docencia y se investiga en Astronomía.

Todo ello sin olvidarnos de las actividades realizadas en las últimas décadas en centros clásicos como el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), el Observatori Fabra, el Observatori de l'Ebre o el Instituto de Astronomía y Geodesia.

La presencia de españoles en cargos científicos de la IAU debe ser también digna de mención. Desde que en 1976 Alberto Orte Lledó tuviese el

mérito de ser el primer español en presidir una Comisión de la IAU (Hora), no se había producido otra situación similar hasta 2006 en que Valentín Martínez Pillet tuvo la responsabilidad de dirigir la Comisión de Estructura y radiación solar. También en 2006, Álvaro Giménez fue nombrado presidente de la División V de Estrellas Variables.

En 2009, coincidiendo con el Año Internacional de la Astronomía, nuestro país tendrá a una astrónoma y dos astrónomos en la presidencia de tres comisiones de la IAU.

Por último, y en clave de futuro hay proyectos muy interesantes en suelo español como el del Observatorio de Javalambre que también hay que tener en cuenta. En el campo internacional, los astrónomos españoles esperan con optimismo su participación en proyectos como ALMA o el E-ELT.

Lo aquí expuesto constituye un brevísimo resumen de la tesis doctoral de quién suscribe (Aproximación histórica al desarrollo de la Astronomía en España), leída recientemente, bajo la dirección del profesor José Ángel Docobo, en la

Universidade de Santiago de Compostela (USC). El trabajo completo está a disposición de los/las interesados/as en formato CD en el Servicio de Publicaciones de la USC.

Ivan Fernández



Fig. 1. Logo del Año Internacional de la Astronomía

AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA

SEIS MESES DEL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA

Una celebración mundial de la astronomía

En diciembre de 2007 las Naciones Unidas declararon el 2009 Año Internacional de la Astronomía (AIA-IYA2009), para conmemorar el cuarto centenario de aquel año en que Galileo Galilei utilizó el telescopio por primera vez para estudiar el Cosmos. Los resultados de aquéllos estudios marcaron un antes y un después en nuestra comprensión del Universo. Así comenzó una extraordinaria historia de descubrimientos que continúa en nuestros días. Se trata de una iniciativa impulsada a nivel mundial

por la Unión Astronómica Internacional y UNESCO en la que participan 141 países. En España, la puesta en marcha es el fruto de la colaboración de todas las instituciones relacionadas con la Astronomía, como el MICINN, el CSIC, la Sociedad Española de Astronomía (SEA), la Real Sociedad Española de Física (RSEF) y FECyT con la coordi-

nación general de la Comisión Nacional de Astronomía (CNA).

Multitud de entidades públicas y privadas (sólo en España hay implicadas más de 200) participan en la organización de actividades de naturaleza muy diversa. A través de la mayor red de divulgación jamás creada, hombres y mujeres dedicados a la investigación, a la enseñanza, profesionales de museos y planetarios, medios de comunicación, astrónomos aficionados y todos los amantes de la astronomía comparten con público de todas las edades su pasión por descubrir el Universo y adentrarse en sus misterios.

Más de 2000 actividades en seis meses

Con motivo de esta conmemoración, en la primera mitad del 2009 se han organizado en nuestro país más de 2000 actividades de divulgación de la astronomía y cada mes ha habido al menos 200 actividades en marcha, superando las 300 en marzo, abril y mayo.

En estos meses se han logrado muchas cosas. Hemos dado la vuelta al mundo en 80

telescopios, participando en una iniciativa mundial en la que astrónomos profesionales nos han mostrado a través de internet cómo se trabaja en los observatorios astronómicos profesionales (Fig.2).



Fig. 2. España participó en "La vuelta al mundo en 80 telescopios" con 11 conexiones incluyendo retransmisiones desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, el Observatorio del Teide, el Observatorio de Calar Alto y el Radiotelescopio de 30 metros de IRAM. Se realizaron además conexiones a los satélites XMM-Newton e INTEGRAL desde ESAC y el Radiotelescopio de 40m del OAN en Yeves.



Coordinados por la Agrupación Astronómica Áster y el equipo del AIA-IYA2009, profesores y alumnos de más de 600 centros escolares de toda España midieron el 26 de marzo el radio de la Tierra en una experiencia sencilla y didáctica, adaptación de aquella que realizó por primera vez el sabio griego Eratóstenes en el siglo III a.C. (Fig. 3).



Fig.3. Alumnos y profesores de más de 600 centros escolares midieron el radio de la Tierra el 26 de marzo.

El 2 de julio se presentó en el Palau de la Música de Valencia el libro “Astronomía made in Spain”, en el que se recopilan los trabajos más punteros desarrollados por astrónomos españoles durante las últimas tres décadas. Un aportación especial de la SEA al Año Internacional de la Astronomía (Fig. 4).

Fig. 4. Los trabajos más punteros de la investigación astronómica española de las tres últimas décadas publicados en un libro, contribución especial de la SEA al AIA-IYA2009.

Cientos de astrónomos aficionados han salido a la calle con sus telescopios para celebrar fiestas de estrellas nacionales (una mundial), y mostrar al público las maravillas del cielo. Se han producido dos programas de planetario especiales para el AIA-IYA2009. “Evolución” (Planetario de Pamplona, Casa de las Ciencias de A Coruña y Museo de las Ciencias de Castilla la Mancha) que rinde homenaje a Darwin y Galileo, se estrenó el 24 de abril y se mostrará en muchos planetarios de España a lo largo del año. “Jors, Jars, Jurs y los Galigalitos” se estrenó el 30 de junio en el Museo de las Ciencias y el Cosmos de Tenerife (Fig. 5). Se trata de un programa infantil en que los personajes, marionetas del tipo “Epi y Blas”, viajan por la Vía Láctea en una nave espacial muy desastrosa con el objetivo de salvar de la extinción especies en planetas en peligro.



Fig.5. Jors, Jars, Jurs y los Galigalitos, un programa de planetario infantil producido por el Museo de las Ciencias y el Cosmos de Tenerife



Cientos de actividades planeadas para el resto del Año

Los meses próximos se presentan también repletos de hitos importantes para el AIA-IYA2009. En el otoño, el equipo “Ella es una Astrónoma” finalizará el primer estudio estadístico y sociológico completo sobre la representación de la mujer en la Astronomía profesional española, así como la exposición “Mujeres astrónomas” que estará disponible en versión digital a través del portal web del Año. Podrá ser montada además en formato físico por todas las instituciones interesadas en mostrarla sin ánimo de lucro.

El equipo ya existente de más de 150 astrónomos profesionales seguirá escribiendo artículos, impartiendo charlas y participando en diferentes programas de divulgación de la Astronomía en un afán por compartir los resultados de la investigación que se realiza especial, pero no únicamente, en España. De especial interés es el proyecto “U4: una Universidad, un Universo”, coordinado por el Grupo Especializado de Astrofísica de

la RSEF que tiene como objetivo llevar la astronomía a las más de 75 universidades españolas en formato de charlas, rompiendo la tradicional dicotomía ciencias vs. letras.

El 11 de octubre se estrenará el programa de planetario para invidentes “El cielo en tus manos” en L’Hemisféric, un proyecto impulsado por el equipo responsable de coordinar actividades del AIA-IYA2009 dirigidas a personas discapacitadas.

Los astrónomos amateur organizarán varias fiestas de estrellas más a nivel nacional (una mundial, entre el 22 y el 24 de octubre), para acercarnos más a nuestro objetivo de que durante 2009 el mayor número posible de personas mire a través de un telescopio. Todo ellos coordinado desde la Sociedad Malagueña de Astronomía.

Y cientos de otras actividades que se celebrarán por todo el país.

Una web de referencia

Por otro lado, la web del Año Internacional de la Astronomía (www.astronomia2009.es), constituye la prin-

cipal herramienta para dar a conocer las actividades previstas hasta finales de año. Además de poder consultar los diferentes proyectos puestos en marcha por la organización y todas las noticias relacionadas con la celebración del año, la página pone a disposición del público diverso material y recursos con fines educativos y divulgativos.

En tan sólo seis meses, el portal se ha convertido en un referente en el ámbito de la divulgación astronómica, algo que viene avalado por las más de 260.000 visitas que ha recibido en la primera mitad del año por usuarios procedentes en su mayoría de España, México, Colombia y Argentina

Conclusión

Un Año Internacional de la Astronomía ocurre sólo una vez y en España hemos asumido desde el principio que el 2009 es una oportunidad única para llevar al astronomía a la sociedad. Todo lo que se ha logrado no hubiera sido posible sin el apoyo de las instituciones y la implicación de cientos de astrónomos profesionales y amateur, en la mayoría de

los casos de manera desinteresada. Conseguimos así llevar a la sociedad una rama de la ciencia que ha inspirado al ser humano en culturas de todas las épocas y lugares, desde sus orígenes hace miles de años hasta el día de hoy, en que la revolución tecnológica nos permite vivir una época dorada para la Astronomía.

Montserrat Villar

es científica titular del CSIC en el Instituto de Astrofísica de Andalucía y coordinadora del Año Internacional de la Astronomía en España



EL INTERÉS DE LA SOCIEDAD MODERNA POR LA ASTRONOMÍA, MEDIDO A TRAVÉS DE LOS DICCIONARIOS DE LA REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

Ocuparse del lenguaje es una forma fundamental de ocuparse del ser humano

Gerhard Rühm

Suele llamar la atención del público en general el hecho de que algunas civilizaciones del pasado tuvieran conocimientos astronómicos importantes o, mejor dicho, “interés” en estos objetos celestes que definimos “astros”. No importa si en el origen de esta curiosidad hubo una inquietud científica, filosófica o si fue impulsada por la inseguridad y el miedo a lo desconocido, o por superstición, o si sus raíces estuvieron en la necesidad de dominar el ciclo de las estaciones. Lo que destaca es que estos hombres invirtieran tiempo y recursos para conocer el movimiento de los astros en el cielo o simplemente decorar con ellos las bóvedas de sus sepulcros.

Sin embargo, hubo por lo menos una civilización rica en medios y técnicamente avanzada que durante una larga parte de su historia no mostró mayor “interés” por los astros; más precisamente me refiero a la civilización romana. Plinio el Viejo relata que, después de la toma de Catania (263 a.C.), el cónsul Valerio Messalla trasladó a Roma el gnomon de la ciudad griega, y aquí fue instalado sin variar la inclinación, error que los romanos subsanaron 99 años después (Historia Nat. VII, 213). Lo que más destaca es que en aquella época los romanos ya poseían instrumentos de medida y de cálculo sofisticados como para obras de ingeniería viaria. De hecho, la “via Appia”, una de las vías mejor conservada, empezó a construirse a partir del 312 a. C., 50 años antes que la toma de Catania. Podemos concluir simplemente que en aquella época el Senado y el pueblo de Roma no tenían suficiente “interés” en el conocimiento de los astros como para invertir en ello el tiempo y los recursos necesarios.

Conociendo estas anécdotas y a partir de la observación de

que en diferentes culturas, y dentro de una misma a lo largo de distintas épocas, la curiosidad por los astros ha sufrido variaciones hasta el total desentendimiento, me he preguntado si habría una forma de medir el grado de “interés” que la sociedad moderna tiene en relación con el que mostraron nuestros antepasados recientes.

Para ello es preciso proporcionar una definición operativa de “interés”. Creo que estaríamos de acuerdo en decir que es intuitivo y de carácter muy general definir el “interés” o “grado de interés en algo” como la cantidad de recursos empleados en obtener, incrementar o mantener un bien en relación con los recursos totales poseídos. Por “recursos” se entiende tanto posibilidades económicas como tiempo disponible, o espacio en un periódico o en un diccionario. Es decir, algo limitado que tenga medida física y que pueda utilizarse, consumirse o gastarse. Por otro lado, el “bien” objeto del interés puede ser un objeto físico, conocimientos o informaciones en general. Puesto que en nuestro caso hablamos de “interés en el conocimien-



to”, es conveniente refinar la definición anterior a fin de poder utilizarla más fácilmente. Definimos el grado de interés de una comunidad por medio del número de informaciones que se intercambian alrededor de un determinado argumento, en relación con una referencia en un tiempo limitado.

Ahora, a partir de lo anterior, observamos que el instrumento natural para el intercambio de informaciones en una comunidad es el lenguaje, y el conjunto de las palabras de un idioma son uno de los elementos básicos que lo definen. Por otro lado, las palabras que se utilizan dentro de un idioma están recopiladas en los diccionarios, que tienen un recurso de espacio limitado y, por lo tanto, recopilan sólo palabras realmente utilizadas por la comunidad de los hablantes. Las palabras necesarias para hablar de un determinado argumento cuando éste carezca de interés común carecerán a su vez de utilidad, caerán en desuso y pronto desaparecerán de los diccionarios. En este sentido podemos considerar que los diccionarios son un espejo de los intereses de la sociedad que

los determina, y por ello me pareció sugestivo investigar la evolución de nuestra atención hacia los astros a través del estudio de las transformaciones semánticas.

La Real Academia Española ha hecho un esfuerzo ejemplar, único en Europa, por dejar públicos y fácilmente accesibles en Internet todos los diccionarios a partir de 1726 (<http://buscon.rae.es/ntlle/SrvltGUILoginNtlle>), lo que ha permitido que la colección de los diccionarios de la RAE fuese el instrumento ideal para el análisis que me había propuesto. Para ello, he elegido dos palabras de relevancia astronómica, y para cada una de ellas he averiguado cuánto espacio se le dedica en los diccionarios de diferentes épocas, en comparación el espacio empleado en describir el sentido de dos palabras que definimos “neutras”.

En principio, se podría tener una visión más completa, incluyendo un número mayor de lemas. Sin embargo, puesto que este trabajo no tiene más transcendencia que una simple anécdota, me pareció razonable

limitarlo al seguimiento de tan solo dos palabras.

He elegido “Sirio”, que es “la más brillante de las estrellas fijas en la constelación del can mayor” (RAE, 1936) y es aún visible en el cielo de las ciudades contaminadas, junto al Sol y la Luna.

Luego, he elegido “Orión”, una constelación muy llamativa. Ambos “objetos” han tenido su importancia en la mitología y en las culturas del pasado. Sin embargo, los he elegido en primer lugar por ser bien visibles y por ser definidos por medio de una sola palabra, un lema, fácil de incluir y buscar en los diccionarios.

El análisis se basa en contar cuántas informaciones de carácter “astronómico” se dan para cada uno de ellos y compararlas con el número de informaciones proporcionadas para las palabras definidas “neutras”. Con el término neutro me refiero a palabras cuyo valor o interés permanece constante durante los años. Por ejemplo, lemas tan básicos como las letras del alfabeto “A”, “B”, “C”... o el pronom-

bre relativo “que”, y la conjunción “y”, que nunca podrán perder valor en el idioma español al ser elementos constitutivos del mismo, necesarios para construir cualquier información que con ese lenguaje se quiera transmitir.

En casi todos los diccionarios, el lema “A” ocupa una o dos páginas de los mismos y por lo tanto representaría una comparación incómoda. Sin embargo, al lema “C”-“tercera letra del abecedario español, y segunda de sus consonantes...” (RAE, 1992) se le resta protagonismo, y con sus 5-6 informaciones en promedio se convierte en una buena referencia a la hora de comparar con las 2-3 informaciones que se encuentran en la definición de “Sirio”. Otro lema que considero es “que” en la acepción de pronombre: “Partícula relativa que se sigue siempre a algún nombre, y equivale a El qual. Es una de las concordancias gramaticales, y sirve al singular y plural, y preguntando se antepone las mas veces. Lat. Quis vel qui, quae, quod...” (RAE, 1737). En esta definición destacamos 7 informaciones siendo la última la etimología latina.

En el caso de Sirio, la definición de 1992 destaca por su concisión y por el número de informaciones (cuatro) proporcionadas: “Estrella de primera magnitud, la más brillante de todo el cielo, en la constelación del Can Mayor”.

Mientras que particularmente hermosa es la definición que se dio de Orión en 1737: “Una de las diez y seis constelaciones celestes que llaman Austráles. Consta segun el P. Zaragoza de setenta y una estrellas conocidas, entre las cuales hai una mui notable de primera magnitud en el pié izquierdo, llamada Rigél: otra en el hombro izquierdo, que según algunos tambien lo es, y tres mui lucidas de segunda magnitud en el cingulo, à quien el vulgo llama Báculo de Santiago...”.

Tanto más valiosa es esta definición por ser meticulosa y detallada en comparación con la más reciente que hemos encontrado (RAE 1989): “Constelación ecuatorial, una de las más hermosas del cielo, situada a oriente del Toro y al occidente del Can Menor y del Mayor”. Y más aún si añadimos que en la edición actual

del diccionario de la RAE no hay ninguna referencia.

A Sirio le tocó la misma suerte y si en 1791 se escribía: “Nombre que dan los astrónomos á la estrella llamada comúnmente canícula”, en el diccionario actual (2008) ahora leemos :

“sirio, adj. Natural de Siria.”

Para obtener una visión de conjunto de lo que hasta ahora he descrito con palabras presento la figura 1. En la gráfica, por cada lema considerado se representa el número de informaciones proporcionadas en función del año de edición del diccionario.

Fig.1 En abscisas se representan los años de publicación de los diccionarios considerados; en ordenadas, el número de informaciones proporcionadas por cada lema.

A partir de un breve análisis de la gráfica podemos advertir cómo los astros suscitaron el mayor “interés” alrededor de 1800, mientras que en la actualidad desaparecen tanto la definición de Sirio como la de Orión. Se podría justificar esta reciente desaparición con el hecho de que estos lemas representan nombres propios y, por lo tanto, no deberían aparecer en los diccionarios. Sin embargo, esta regla no valió hasta 1989 y sigue sin valer para lemas como “Sol” y “Luna”, que también son nombres propios.

Finalmente, en este artículo hemos querido averiguar el interés que la sociedad moderna tiene en relación con los astros, donde el “interés”, por la manera en que lo hemos definido no es necesariamente de tipo científico. Sin embargo, no podemos ocultarnos la rea-

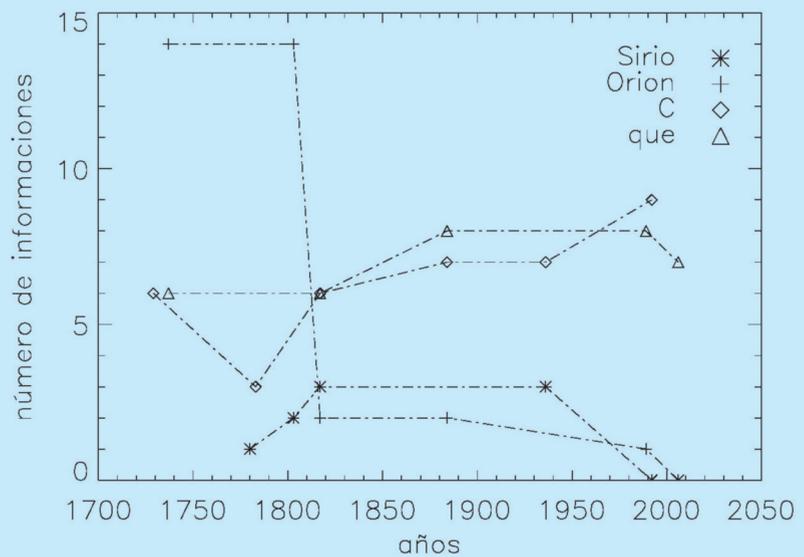
lidad de que la sociedad moderna en su mayoría percibe la ciencia como algo extraño, lejano y superfluo: Ésta es una disciplina que necesita estudio y dedicación en términos de tiempo. Pero, por un lado, las palabras “estudio” y “estudiante” se encuentran a un nivel de desprestigio tales que, por ejemplo, muchos propietarios no quieren alquilar pisos a estudiantes. Por otro, los investigadores, que en el pasado representaban una categoría socialmente reconocida, se han convertido en trabajadores precarios sin una clara perspectiva de futuro profesional. En los propios institutos de investigación se da preferencia y se facilitan más las carreras administrativas o de ingeniería,

y fuera de ellos el nivel de estudio doctoral se convierte casi en una desventaja.

Es evidente que la sociedad pide ganancias rápidas, con lo cual el conocimiento en sí, que sí es enriquecedor pero más a largo plazo, se devalúa. Y ello se refleja en el contenido astronómico de los diccionarios de la lengua. Por eso la cuestión final que planteo es: ¿Qué podemos hacer los científicos para estimular el interés de la sociedad moderna por la Astronomía?

Corrado Giammanco

(Instituto de Astrofísica de Canarias)



OBITUARIO DRA. CATALÀ



El pasado viernes 4 de Julio, fallecía, a la edad de 83 años, la Dra. Assumpció Català i Poch. Profesora emérita de la Universitat de Barcelona, la Dra. Català fue la primera astrónoma profesional en obtener una plaza de profesora en una universidad española. En abril de este mismo año había recibido la Creu de Sant Jordi, una alta distinción del Gobierno catalán, como reconocimiento a su carrera científica y académica.

Nacida en Barcelona en 1925, la Dra. Català estudió Matemáticas en la Universidad de Barcelona. Comenzó a trabajar en astronomía en 1952, una época marcada por la penuria de medios y la ausencia

casi completa de mujeres en las universidades de nuestro país. Desde los inicios de su carrera profesional compaginó la enseñanza de la Astronomía, la Física y las Matemáticas con la investigación y la dirección de numerosas tesis doctorales y de licenciatura. Publicó diversos libros de docencia universitaria, entre los que destaca la coautoría del libro “Astronomía Esférica y Mecánica Celeste” en versiones impresa y de Internet (http://www.publicacions.ub.es/liberweb/astrologia_esferica/) y realizó varios estudios de historia de la ciencia, en particular, de historia de la Astronomía. Destacan también sus trabajos de divulgación astronómica, tarea que siguió desarrollando hasta su fallecimiento. Además, durante 15 años fue representante española en la Comisión 46 para la Enseñanza de la Astronomía de la IAU.

Recientemente, tuvimos ocasión de escuchar sus experiencias como mujer y astrónoma en una entrevista realizada para la serie documental “Mujeres en las estrellas” dentro del marco del Año

Internacional de la Astronomía. El equipo “Ella es una astrónoma” del Año de la Astronomía queremos expresar nuestro más sincero pesar por su pérdida.

Equipo

“Ella es una astrónoma”

AIA-2009:

Francesca Figueras (UB),
Josefina Ling (USdC),
Adriana Kiczkowski,
Eulalia Pérez Sedeño (CSIC),
Isabel Márquez (IAA-CSIC),
Josefa Masegosa (IAA-CSIC),
Blanca Troughton (Sociedad Malagueña de Astronomía),
Montserrat Villar (IAA-CSIC),
Belén López Martí (CAB-INTA)

**Francesca Figueras
y Jorge Núñez**

Más información en:

Portada web Año Internacional de la Astronomía 2009:

http://www.astronomia2009.es/Noticias_AIAIYA2009/Assumpcio_Catala_i_Poch_En_memoria.html

Documental **“Mujeres en las estrellas II”**,

producida por la UNED” y el equipo “Ella es una astrónoma”:

http://www.canaluned.com/#frontaleID=F_RC§ionID=S_TE_LUNE&videoID=1804

“Comunicacions” Universitat de Barcelona:

<http://www2.ub.edu/comunicacions/cgi/principal.pl?fitxer=noticies/noticia005063.htm>

Otros:

<http://www.lamalla.cat/digitals/ciencia/article?id=276553>

OBITUARIO DRA. FERRÍN



ANTONIA FERRIN MOREIRAS
(Ourense 1914 – Santiago de
Compostela 2009)

Este verano en Santiago de Compostela, el día de la luna llena de Agosto, se apagó la vida de nuestra primera astrónoma gallega, la Dra. Dña. Antonia Ferrín Moreiras, quien contaba con 95 años, cumplidos apenas 4 meses antes.

Dña. Antonia, la tercera de cuatro hijas de una familia orensana con pocos recursos, supo aprovechar al máximo la única herencia que sus padres pudieron dejarle: unos estudios universitarios.

Efectivamente, con solo 22 años ya era licenciada en

Química y en Farmacia por la Universidad de Santiago de Compostela (USC), había realizado los dos únicos cursos de Ciencias Exactas que ofertaba esta universidad, y además era Maestra Nacional. Toda esta trayectoria académica, llevada a cabo durante la II República, fue desarrollada con la ayuda de becas y con grandes esfuerzos económicos, que la obligaron a establecer una relación muy temprana con la docencia tanto privada como pública.

Tras la guerra civil, en la década de los 40, la profesora Ferrín conoció al Dr. D. Ramón María Aller, sacerdote y fundador del Observatorio Astronómico de la USC, quien la introdujo en el mundo de la Astronomía. Con él comienza su periplo investigador convirtiéndose, durante casi 20 años, en su gran colaboradora, compartiendo casi cada tarde-noche compostelana tanto trabajos de gabinete como de observación. Pronto el manejo de instrumentos astronómicos como el telescopio refractor de 12cm o el antejo de pasos (extraños artilugios para las mujeres de la época) no tuvieron secretos para ella, adqui-

riendo una gran maestría en medidas micrométricas de estrellas dobles, pasos de estrellas por dos verticales u ocultaciones de estrellas por la Luna. Sus resultados se encuentran publicados en la revista española de astronomía “Urania”

Pero además, durante este tiempo, se licenció en Ciencias Exactas en la Universidad Central de Madrid, como alumna libre; obtuvo un puesto de ayudante de investigación del CSIC en el Observatorio Astronómico, ganó una plaza de catedrática numeraria de Matemáticas en la Escuela Normal de Magisterio de Santander y en 1957, al crearse la sección de Matemáticas de la Facultad de Ciencias de la USC, fue la primera mujer profesora.

Fruto de su labor investigadora fue la lectura de su tesis doctoral, en 1963, bajo el título “Observaciones de pasos por dos verticales”, que tuvo además el doble mérito de ser la primera memoria de Astronomía y la primera que se defendió en la Facultad de Matemáticas de la USC. Ese año abandona Galicia al ser nombrada catedrática numera-

ria de Matemáticas de la Escuela de Magisterio “Santa María” de Madrid, puesto que más tarde compaginaría con el de profesora adjunta de la Cátedra de Astronomía de la Universidad Complutense de Madrid, ocupada por el Dr. D. José M. Torroja, quien formó parte del tribunal de su tesis.

El año pasado con motivo de la celebración del 50 aniversario de la Licenciatura de Matemáticas de la USC, fue elegida su madrina y también se puso su nombre a una de las 6 aulas de la Facultad de Matemáticas, compartiendo este homenaje con otros tantos profesores.

Vaya nuestro más cariñoso hasta siempre a la Dra. Antonia Ferrín, un modelo para las futuras generaciones de astrónomas/os.

Josefina F. Ling,

en nombre del Equipo

“Ella es una astrónoma”

AIA 2009

Francesca Figueras (UB),

Josefina Ling (USdC),

Adriana Kiczkowski,

Eulalia Pérez Sedeño (CSIC),

Isabel Márquez (IAA-CSIC),
Josefa Masegosa (IAA-CSIC),
Blanca Troughton (Sociedad Malagueña de Astronomía),
Montserrat Villar (IAA- CSIC),
Belén López Martí (CAB-INTA)



**UN ESTUDIO
COMPARATIVO DE
PROCESOS DE
FORMACIÓN
ESTELAR EN
DISTINTOS
ENTORNOS**

Guillermo F. Hägele
ghagele@uam.es

Tesis doctoral dirigida
por: Ángeles I. Díaz y
Elena Terlevich

Centro: Dpto. de
Física Teórica, Facultad
de Ciencias, Universidad
Autónoma de Madrid

Fecha de lectura:
15 de septiembre de 2008

Esta tesis trata del estudio de dos entornos muy diferentes donde está teniendo lugar formación estelar a gran escala. Uno, asociado con galaxias irregulares enanas de baja metalicidad, llamadas galaxias HII, contiene gas de baja densidad, a temperatura relativamente alta, y muestra al menos un episodio de forma-

ción estelar violenta. Por el contrario, el segundo ambiente, asociado con regiones circunucleares de formación estelar (CNSFRs) en patrones anulares localizados en las zonas centrales (~ 1 kpc) de algunas galaxias espirales barradas de tipo temprano, contiene gas de temperatura baja y densidad relativamente alta, rico en metales.

Hemos propuesto una metodología para realizar un análisis autoconsistente de las propiedades físicas del gas emisor en galaxias HII adecuado a los datos que se pueden obtener con la tecnología del siglo XXI. Esta metodología requiere la producción y la calibración de relaciones empíricas entre las diferentes temperaturas de línea que debería reemplazar los actualmente utilizados basados en secuencias de modelos de fotoionización excesivamente simples y pobremente contrastados.

Como primer paso para alcanzar esta meta hemos obtenido espectros de rendija larga simultáneos desde el azul hasta el rojo lejano de 10 galaxias utilizando espectrógrafos de doble brazo. Estos espectros

cubren el rango desde ~ 3200 hasta ~ 10500 Å, incluyendo las líneas de [OII] $\lambda\lambda 3727, 29$ Å, el doblete [SIII] $\lambda\lambda 9069, 9532$ Å como también varias líneas aurorales débiles tales como [OIII] $\lambda 4363$ Å y [SIII] $\lambda 6312$ Å.

El análisis de estas observaciones nos ha permitido definir una metodología para obtener abundancias elementales precisas de oxígeno, azufre, nitrógeno, neón, argón y hierro en el gas ionizado. Para todos los objetos se han medido por lo menos cuatro temperaturas de línea: $T_e([\text{OIII}])$, $T_e([\text{SIII}])$, $T_e([\text{OII}])$ y $T_e([\text{SII}])$, y una densidad electrónica, $N_e([\text{SII}])$. Con estas medidas y un tratamiento cuidadoso y realista de los errores observacionales, se obtuvieron abundancias totales de oxígeno con una precisión entre 5 y 9%.

Posteriormente presentamos un estudio de las líneas de emisión colisionales intensas en el óptico de Ne y Ar en una muestra heterogénea de nebulosas gaseosas ionizadas para las cuales es posible derivar directamente la temperatura electrónica y por lo tanto las abundancias químicas de neón

TESIS DOCTORALES 2008-09

y argón. Se han calculado nuevos factores de corrección de ionización para estos dos elementos químicos utilizando un conjunto de modelos de fotoionización y se ha estudiado el comportamiento de los cocientes de abundancias Ne/O y Ar/O con la metalicidad.

Mientras que se ha encontrado un valor constante para Ne/O, parece haber alguna evidencia de la existencia de un gradiente radial negativo de Ar/O en los discos de algunas espirales cercanas.

En la siguiente parte de nuestro trabajo presentamos medidas de la dispersión de velocidades en 17 regiones de formación estelar circunnucleares y los núcleos de tres galaxias espirales barradas, NGC2903, NGC3310 y NGC3351, a partir de espectros de alta dispersión. Las dispersiones estelares han sido obtenidas de las líneas del triplete de CaII (CaT) a 118494, 8542, 8662 Å, mientras que las dispersiones de velocidades del gas han sido medidas mediante ajustes gaussianos a las líneas de H β 1 4861 Å y de [OIII] 1 5007 Å. Utilizando las dispersiones de velocidades estelares

y los tamaños derivados a partir de observación del HST, hemos derivado las masas dinámicas para los complejos de formación estelar completos y para los cúmulos estelares individuales.

Hemos encontrado indicaciones de la presencia de dos componentes cinemáticas diferentes en el gas ionizado de las regiones. La componente estrecha parece tener un valor relativamente constante para todas las CNSFRs estudiadas y podría identificarse con gas ionizado en un disco rotante, mientras que las estrellas y la fracción de gas (responsable de la componente ancha) relacionadas con las regiones de formación estelar, estarían mayormente soportadas por presión dinámica.

Como última parte de la tesis se presentan observaciones de rendija larga en el óptico y en el infrarrojo cercano de 12 regiones HII circunnucleares en las galaxias espirales de tipo temprano: NGC2903, NGC3351 y NGC3504 con el propósito de derivar sus abundancias químicas. Sólo para una de las regiones, se detectó

la línea [SIII] 16312 Å, proporcionando un valor de la temperatura electrónica de Te([SIII]). Se presenta un método semiempírico para la derivación de las abundancias en el régimen de alta metalicidad.

Usando este método, se han obtenido abundancias que son comparables con las encontradas en regiones HII de disco de alta metalicidad, con medidas directas de temperaturas electrónicas y que son consistentes con valores solares dentro de los errores. La región con la abundancia de oxígeno más alta tiene alrededor de 1.6 veces solar y la abundancia más baja es de alrededor de 0.6 veces la solar. En todas las CNSFRs observadas la abundancia de O/H está dominada por la contribución de O⁺/H⁺, como es también el caso para las regiones HII de disco de alta metalicidad. Sin embargo, para nuestras regiones observadas, también el cociente S⁺/S²⁺, es mayor que uno, contrario a lo que se encuentra en las regiones HII de disco de alta metalicidad para las cuales, en general, la abundancia de azufre está dominada por S²⁺/H⁺.

Las CNSFRs también muestran parámetros de ionización menores que los de sus contrapartidas de disco, como se deriva a partir del cociente $[SII]/[SIII]$. Sus estructuras de ionización también parecen ser diferentes: las CNSFRs muestran propiedades del campo de radiación más similares a las galaxias HII que a las regiones HII de disco de alta metalicidad.

DIFFRACTION-LIMITED SPECTROPOLARIMETRY OF QUIET-SUN MAGNETIC FIELDS

David Orozco Suárez

d.orozco@nao.ac.jp

Tesis doctoral dirigida por: Jose C. del Toro Iniesta y Luis R. Bellot Rubio

Centro: Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)

Fecha de lectura: 17 de septiembre de 2008

El debate sobre el magnetismo del Sol en calma, y en particular del interior de la red (internetwork), ha sido intenso en las últimas dos décadas. Hasta ahora, la limitada resolución espacial de las medidas de la polarización de la luz procedentes de la fotosfera del Sol en calma realizadas con telescopios desde tierra no han permitido caracterizar de forma precisa los campos mag-

néticos de la internetwork ya que estos muestran señales de polarización débiles y tienen factores de llenado magnético pequeños. Ello ha llevado a los investigadores a obtener distribuciones de intensidades de campo magnético de unos cientos de gauss, a partir de líneas en el infrarrojo cercano, o de kilogauss, si éstas caen en el rango del visible.

En esta tesis presentamos los primeros resultados del análisis de datos espectropolarimétricos de primera luz y de alta sensibilidad y resolución espacial del satélite Hinode1. Éste permite alcanzar resoluciones espaciales cercanas al límite de difracción de su telescopio de 50 cm de diámetro (0.26 segundos de arco o 190 km a $\sim 6000 \text{ \AA}$). El análisis de estos datos nos ha permitido describir de forma fiable la distribución de las intensidades campo magnético y, por primera vez, de la inclinación del campo magnético, en la internetwork mediante el uso de las líneas de Fe I a 630 nm. Los resultados indican que la internetwork está en su mayoría poblada por campos magnéticos del orden de cientos de

TESIS DOCTORALES 2008-09

gauss y preferentemente horizontales. Las densidades medias de flujo magnético longitudinal y transversal resultan ser de 25 y 85 Mx cm⁻², y el campo magnético promedio de 125 G.

La muy alta resolución espacial también ha permitido discriminar, por primera vez, entre gránulos e intergránulos de forma precisa, encontrándose que el campo magnético está igualmente distribuido entre ellos, siendo el porcentaje de ocupación relativo del 25%, en ambos. Además, el vector campo magnético está más inclinado cuando la señal se encuentra en las celdas convectivas y más perpendicular en los intergránulos (véase figura). Finalmente, el factor de llenado magnético inferido medio es 45%, mucho mayor del obtenido a menor resolución espacial en el mismo rango del espectro.

Para lograr nuestro objetivo, los perfiles de Stokes observados por el espectropolarímetro de Hinode han sido analizados mediante un código de inversión de la ecuación de transporte radiativo (ETR) en su

aproximación Milne-Eddington (ME) que hemos desarrollado en la tesis (MILOS). Hemos realizado un estudio detallado de las capacidades y limitaciones de los códigos de inversión basados en atmósferas ME para el análisis de perfiles reales observados a muy alta resolución espacial. Para ello hemos empleado simulaciones magnetohidrodinámicas de la fotosfera solar - que nos proporcionan los modelos de atmósfera- para, en primer lugar, generar perfiles de polarización realistas. A continuación, hemos degradado los perfiles de forma adecuada para simular datos observacionales del espectropolarímetro de Hinode. En la tesis, realizamos un análisis detallado de los efectos que tienen sobre los perfiles simulados, la difracción del telescopio, el pixelado de la CCD y el ruido fotónico. Finalmente, procesamos los perfiles con el código MILOS, siguiendo una estrategia de inversión novedosa, introducida en esta tesis, y que permite, de forma sencilla y efectiva, corregir los efectos de la difracción sobre los perfiles de polarización. Concluimos que el código ME es capaz de

obtener valores correctos de la intensidad e inclinación del campo magnético a partir de los perfiles observados siempre y cuando corriamos los efectos de la difracción del telescopio. Finalmente, hemos examinado la conexión existente entre los modelos ME y las atmósferas reales, y determinando de forma empírica, las alturas en la atmósfera donde los parámetros físicos obtenidos de la inversión ME coinciden con los valores reales, es decir, las alturas de formación de las medidas ME.

En esta tesis presentamos el descubrimiento de una nueva forma de emergencia de flujo magnético a través de celdas convectivas en el Sol en calma. El descubrimiento se ha realizado durante el análisis de series temporales de datos espectropolarimétricos tomadas por Hinode. El estudio de las propiedades intrínsecas de los perfiles de polarización asociados a este nuevo fenómeno magnético muestra que las líneas de campo emergentes en los gránulos tienen orientación vertical (no se hallan indicios de señales de polarización lineal), y que la señal de flujo pro-

viene desde capas mas bajas hacia la superficie. En la tesis discutimos posibles mecanismos físicos que podrían dar lugar a este tipo de fenómeno.

Esta tesis ha contribuido a seleccionar la línea espectral a ser observada por IMAx (del inglés Imaging Magnetograph eXperiment), un magnetógrafo vectorial construido por cuatro instituciones españolas: el IAC, el INTA, el GACE, de Valencia, y el IAA, que irá embarcado en el globo estratosférico Sunrise. Más detalla-

Pérot de IMAx y el limitado muestreo espacial a lo largo de la línea espectral. A continuación hemos analizado los errores que introduce el instrumento en las cantidades físicas que se obtienen a partir de inversiones ME. Los resultados indican que del análisis de datos de IMAx se puede obtener el valor de la intensidad del campo magnético y la velocidad del plasma de forma precisa.

Para terminar, en esta tesis presentamos la deducción analítica y estudio detallado de las llamadas funciones de respues-

turbamos algunos de los parámetros del modelo que las origina. También mostramos una forma efectiva de como podemos seleccionar tanto el número de longitudes de onda como sus respectivas posiciones para ser observadas con magnetógrafos vectoriales, haciendo un uso inteligente de las FR.

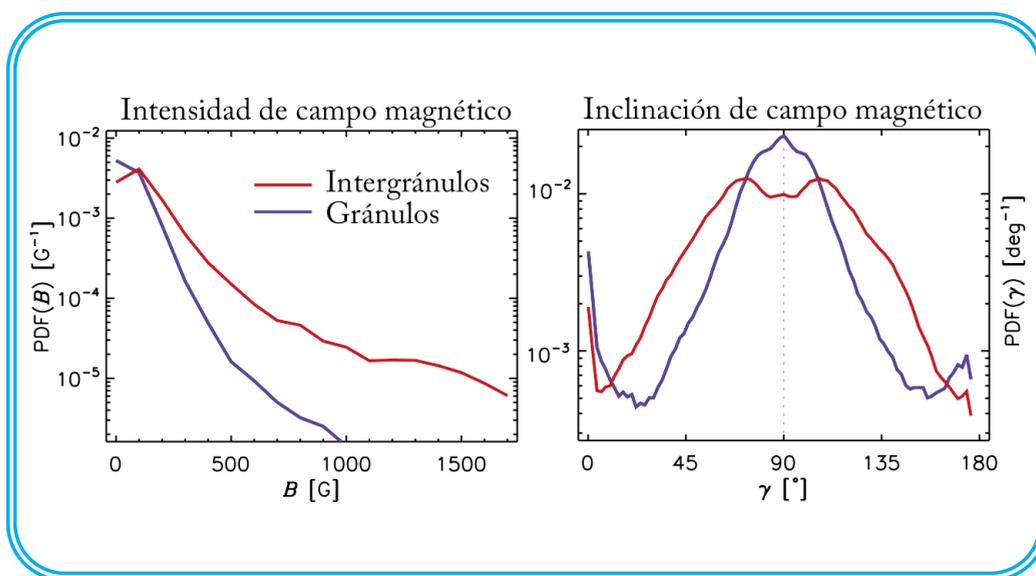


Fig. 1. Funciones de densidad de probabilidad de la intensidad de campo magnético y de la inclinación del campo para los campos magnéticos encontrados en gránulos y en zonas intergranulares. Los

damente, hemos analizado los efectos que la difracción del telescopio y el pixelado de la CCD produce sobre los perfiles de polarización observados, así como aquellos introducidos por el interferómetro Fabry

ta (FR) de las líneas espectrales que se forman en la fotosfera solar utilizando la solución de la ETR en atmósferas ME. Éstas nos permiten analizar los cambios que se producen en las líneas espectrales cuando per-

resultados se han obtenido mediante el análisis de datos espectropolarimétricos de un área del Sol en calma tomados desde el satélite Hinode.

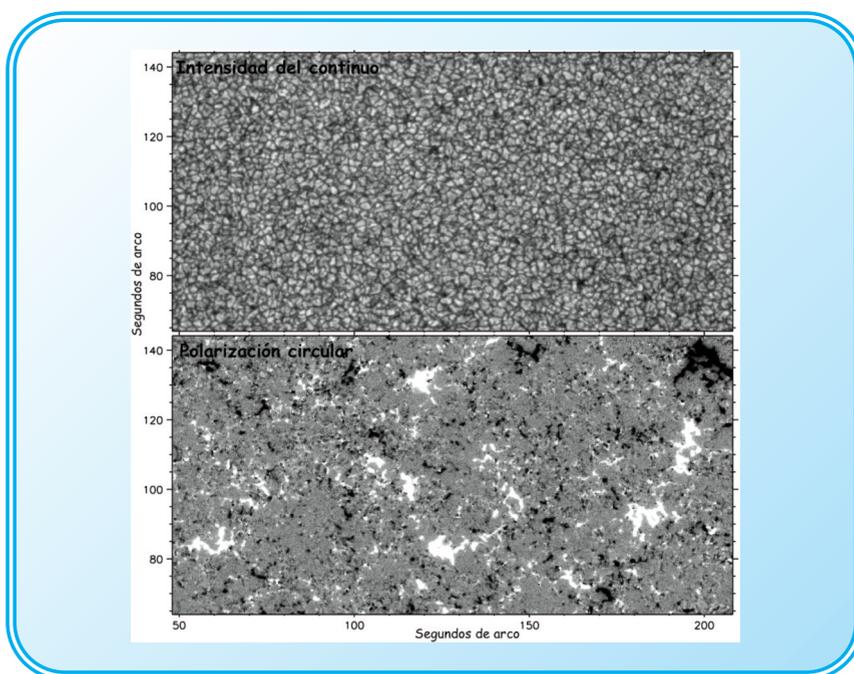


Fig. 2. Mapa de continuo (arriba) y de polarización circular total (abajo).

1 Satélite desarrollado y recientemente puesto en órbita por la agencia espacial Japonesa ISAS-JAXA, en colaboración con el Observatorio Astronómico Nacional de Japón (NAOJ), la NASA y el STFC

ESTUDIO DE LAS MORFOLOGÍAS DE GALAXIAS LEJANAS A PARTIR DE GRANDES CARTOGRAFIADOS CÓSMICOS EN EL INFRARROJO CERCANO MEDIANTE TELESCOPIOS TERRESTRES

Marc Huertas-Company

mhuertas@eso.org

Tesis doctoral dirigida por:

Daniel Rouan,

Geneviève Soucail,

Mariano Moles

Centro:

Observatorio de París-Meudon

Fecha de lectura:

30 de septiembre de 2008

En el Universo local, la distribución de galaxias es bimodal: por un lado, las galaxias elípticas, rojas, están

fomadas esencialmente por estrellas viejas y sostenidas por la dispersión de velocidad de las mismas; y por otro lado, las galaxias espirales, azules, contienen estrellas en rotación y presentan una actividad importante de formación estelar. Una cuestión central en cosmología observacional es la comprensión de los mecanismos que han llevado a dicha dicotomía conocida como secuencia de Hubble.

Con el fin de aportar una respuesta, los cartografiados

de galaxias en épocas (redshifts) diferentes permitiendo así seguir su evolución. Es necesario para ello conocer la morfología de dichas galaxias. La estimación de la morfología de galaxias lejanas de manera fiable sigue siendo, sin embargo, un problema a la hora de analizar e interpretar los datos, principalmente por un problema de resolución, así como de sensibilidad.

En el dominio óptico, los progresos en estos últimos

años se han producido esencialmente gracias al telescopio espacial Hubble (HST). Sin embargo, a $z > 1$, las cámaras ópticas del HST sondan el espectro ultravioleta de las galaxias, lo que puede sesgar la morfología obtenida hacia tipos más tardíos (corrección k morfológica).

Las observaciones en el infrarrojo cercano en torno a $z \sim 1$ son, desde este punto de vista, especialmente interesantes, ya que la luz analizada proviene de estrellas tardías y se ve, por consiguiente, menos afectada por episodios recientes de formación estelar que las observaciones con cámaras visibles. La cámara infrarroja NICMOS, embarcada a bordo del telescopio espacial, no está sin embargo adaptada para un cartografiado sistemático, a causa de su reducido campo y gran tamaño de píxel.

En esta tesis doctoral se plantea, pues, la posibilidad de emplear telescopios terrestres para el análisis de morfologías de galaxias lejanas en el infrarrojo cercano. En un primer lugar se explora la posibilidad del uso de óptica adaptativa

para corregir los efectos de la turbulencia atmosférica en la resolución angular de la imagen. Para ello se analiza una muestra de 79 galaxias observadas con el sistema de óptica adaptativa NACO del Very Large Telescope (VLT). Se obtienen los límites actuales de la técnica mediante simulaciones exhaustivas y se demuestra que la calidad obtenida es similar a la de datos espaciales. Se presenta un primer análisis de la evolución morfológica de los tres principales tipos (espiral, elíptica, irregular) desde $z \sim 1.5$ (Huertas-Company et al., 2007, *A&A*, 468, 937). Se constatan ciertas diferencias con respecto a la distribución obtenida a partir de datos ópticos del telescopio espacial, como un número inferior de galaxias irregulares. Estas diferencias son probablemente consecuencia de efectos de corrección k morfológica; sin embargo, el tamaño reducido de la muestra no permite extraer conclusiones definitivas sobre la naturaleza de dichas diferencias.

Dichas dificultades para obtener muestras significativas con óptica adaptativa (quizás la mayor limitación de dicha téc-

nica para aplicaciones cosmológicas hoy en día), nos condujo a una reflexión sobre los métodos de estimación morfológica, con el fin de extraer información de datos existentes no corregidos. Se presentan, pues, una serie de mejoras aportadas a las técnicas de análisis morfológico no paramétricas, como son el uso de un número ilimitado de parámetros y fronteras no lineales gracias al empleo de máquinas de soporte vectorial (SVM). Se demuestra que estas mejoras permiten la determinación de la morfología sobre datos limitados por el seeing con una tasa de acierto del $\sim 80\%$ (Huertas-Company et al., 2008, *A&A*, 478, 971). El código fuente (galSVM) se ha hecho público y puede ser descargado en:

<http://www.lesia.obspm.fr/huertas/galsvm.html>

Dicho método se emplea a continuación para el análisis de $\sim 50\,000$ galaxias de campo en el área de COSMOS obtenidas con la cámara infrarroja WIRCam (CFHT). Se obtiene la evolución morfológica desde $z \sim 2$ de los dos tipos principales y se estudian los

TESIS DOCTORALES 2008-09

efectos de corrección k morfológica mediante comparación con datos del HST. Se observa en particular un aumento de la fracción de galaxias de tipo precoz desde $z \sim 2$ (20%) hasta hoy (30%). La morfología obtenida está en buen acuerdo con la obtenida con el telescopio espacial en el dominio óptico hasta $z \sim 1$. Más allá, la clasificación infrarroja tiende a encontrar 1.5 veces más de galaxias precoces (Huertas-Company et al., 2008, A&A, enviado), lo que sugiere que los estudios que emplean morfologías obtenidas con el HST pueden estar subestimando la fracción de galaxias precoces.

Quedan abiertos además una serie de trabajos. En particular, se está empleando el método desarrollado para obtener las morfologías de galaxias en reposo hasta $z \sim 1$ en el marco del survey ALHAMBRA. De igual modo, se ha iniciado un estudio en cúmulos situados en torno a $z \sim 0.5$. El estudio de MS 1621.5+2640 ha permitido mostrar que la calidad de la morfología obtenida en estos objetos es similar a la obtenida con el telescopio espacial, lo

que abre las puertas al estudio de una muestra más importante.

LA GALAXIA ANFITRIONA DE LAS GALAXIAS COMPACTAS AZULES

Ricardo Amorín Barbieri

amorin@iaa.es

Tesis doctoral
dirigida por: Casiana
Muñoz Tuñón y
J. Alfonso López Aguerrí

Centro:
Instituto de Astrofísica
de Canarias (IAC)

Fecha de lectura:
27 de octubre de 2008

Las Galaxias Compactas Azules (BCGs) se caracterizan por mostrar intensos brotes de formación estelar que dominan una gran parte de la luz que recibimos de ellas. Sin embargo, para estudiar su origen y estado evolutivo es preciso caracterizar detallada-

mente su galaxia subyacente, que se detecta sólo hacia brillos superficiales débiles. Su estudio, por lo tanto, requiere de un gran esfuerzo observacional y de análisis. El objetivo de esta Tesis es estudiar las propiedades de la galaxia anfitriona por medio de una caracterización basada en modelos fotométricos bidimensionales. Su relación con propiedades globales de la galaxia, como su contenido de gas neutro y molecular y la intensa formación estelar presente, contribuyen al entendimiento de su estructura y su estado evolutivo.

La caracterización de la galaxia anfitriona requiere derivar parámetros estructurales fiables. Para ello, desarrollamos un método de ajuste de componentes en 2D que evita las grandes limitaciones impuestas por la presencia del brote de formación estelar. La técnica permite modelar la distribución de luz de las galaxias ajustando modelos de Sérsic directamente a sus imágenes, haciendo un tratamiento estadístico adecuado y aislando con precisión el brote de formación estelar por medio de máscaras. El funcionamiento y robustez

del método se comprueba ajustando modelos sintéticos, lo que permite analizar y cuantificar en primera aproximación las diversas fuentes de error. El método se aplica luego a una submuestra de ocho galaxias para las que se dispone de resultados obtenidos mediante técnicas alternativas. La comparación de ambos conjuntos de resultados permite determinar criterios de consistencia e incertidumbres típicas. La técnica empleada permite sustraer el fondo de cielo con precisión y obtener parámetros de Sérsic estables con desviaciones menores, en todos los casos, al 30%. El método 2D logra, mediante el refinamiento de las máscaras, maximizar el área ajustada de la galaxia y su rango de brillo superficial, aislando con mayor precisión el brote de formación estelar que en los ajustes 1D previos (Amorín et al. 2007A&A467,541A).

El modelado de la galaxia anfitriona se extiende hasta completar una muestra de 28 BCGs, para las que se dispone de imágenes profundas ($m_B \sim 26-28$ mag arcsec⁻²) en las bandas BVRI. Nuestros criterios de consistencia permiten

clasificar los ajustes por su calidad, lo que permite seleccionar a 20 de las 28 galaxias para su análisis posterior y comprobar las limitaciones del método en las restantes. En promedio, la galaxia anfitriona está bien descrita por un modelo de Sérsic, mostrando colores rojos ($\langle B-R \rangle = 0.95 \pm 0.26$), índices de Sérsic bajos ($0.5 < n < 2$, radios efectivos pequeños ($\langle R_e \rangle = 1.11 \pm 0.74$ kpc) y brillos superficiales altos ($\langle \mu_e \rangle = 22.41 \pm 0.68$ mag arcsec⁻²). Se encuentra que las galaxias más luminosas son más extensas y albergan un brote de formación estelar más extenso y luminoso que las de menor luminosidad. En promedio, las BCGs son ~ 2 magnitudes más brillantes y un factor 2 más compactas que las dIs y dEs de su misma luminosidad. Este resultado se interpreta en función de las posibles conexiones evolutivas entre galaxias enanas (Amorín et al. 2009A&A,501,75A).

Utilizando los colores y luminosidades de los modelos y un cociente masa-luminosidad adecuado, se obtienen masas estelares en el rango $3 \times 10^7 < M_s < 7.8 \times 10^9$ Msol.

Con ellas y el contenido y velocidad de rotación del gas neutro, se estudia la posición de las BCGs en las relaciones Tully-Fisher estándar, estelar y bariónica. Las BCGs ocupan el mismo espacio que el resto de galaxias enanas, desviándose sistemáticamente de dichas relaciones hacia bajas luminosidades. Del análisis de dichas desviaciones se obtiene que las BCGs poseen un contenido bariónico normal. Sin embargo, las BCGs muestran un contenido estelar inferior al predicho por las mismas relaciones de escala en galaxias tardías brillantes, cuando nos movemos hacia el rango de bajas luminosidades, colores más azules y cocientes MHI/LB mayores, de manera similar a las dIs (Amorín et al. 2009A&A,501,75A).

Por sus propiedades, en las BCGs la emisión del gas molecular frío que da lugar a la formación estelar es muy débil, por lo que su detección siempre resulta un reto observacional. En esta Tesis se presentan nuevas observaciones espectroscópicas en el rango milimétrico para 10 objetos de la muestra por medio del telescopio IRAM 30m. Como

TESIS DOCTORALES 2008-09

resultado se detectan las líneas de emisión de las transiciones 1- \rightarrow 0 (115 GHz) y 2- \rightarrow 1 (230 GHz) del CO en 7 de ellas, dos de las cuales no presentan detecciones previas, mientras que para una octava se logra una detección dudosa. A partir del análisis de la emisión integrada y suponiendo un factor de conversión CO-H₂, se derivan la masa ($3 \times 10^6 \text{ Msol} < M_{\text{mol}} < 5 \times 10^9 \text{ Msol}$) y la densidad superficial ($1 \text{ Msol pc}^{-2} < \Sigma_{\text{mol}} < 100 \text{ Msol pc}^{-2}$) del gas molecular presente en las regiones centrales de las galaxias detectadas, y cotas superiores para las restantes. Su relación con las propiedades estructurales y con propiedades derivadas de datos en diversas frecuencias obtenidos de la literatura permite obtener que el contenido de gas molecular es mayor en galaxias más masivas (en gas neutro y en estrellas) y más metálicas. Además, para una dada masa estelar, el contenido molecular no está correlacionado con el ritmo de formación estelar (Amorín et al. 2009, A&A en prep.).

Finalmente, resumimos tres estudios realizados en colaboración durante la Tesis donde se utiliza el método de ajustes

2D desarrollado. En el primero, se obtienen parámetros de Sérsic de una BCG de la muestra, Mrk 35, como parte de un estudio espectro-fotométrico que combina imagen en los filtros anchos BVRIJHK, en el filtro estrecho H α y espectroscopia óptica de rendija, a fin de caracterizar adecuadamente las distintas poblaciones estelares que coexisten en la BCG. Los modelos 2D permiten, junto a estimaciones de extinción interestelar y de la contaminación por líneas de emisión, corregir adecuadamente la fotometría de los brotes de formación estelar, lo que modifica sus luminosidades y colores de manera apreciable (Cairós et al. 2007, ApJ,669,251C). En el segundo, se demuestra que nuestro método 2D permite ajustar con éxito modelos de Sérsic a la galaxia anfitriona de una muestra de 50 BCGs utilizando imágenes del survey público SDSS/DR6. La calidad y homogeneidad de las imágenes permiten ajustar con fiabilidad ($\sigma < 0.2 \text{ mag}$) la distribución de brillo de las galaxias hasta $\mu_B \sim 27 \text{ mag arcsec}^{-2}$. La distribución de parámetros ajustados resulta consistente con la

obtenida de la muestra de 28 galaxias analizada previamente. Además, en 22 BCGs analizadas los modelos 2D mejoran sustancialmente ajustes de Sérsic presentes en la literatura obtenidos con la técnica 1D (Amorín & Sanchez-Janssen 2009 en prep.). Por último, se presenta una búsqueda de candidatos a ser BCGs durante los períodos de calma en su evolución (esto es, antes y después del brote de formación estelar) utilizando el SDSS/DR6. En el, la selección de candidatos se realiza a partir de las propiedades derivadas de nuestros modelos 2D. Tras un estudio estadístico, los resultados revelan que una de cada tres galaxias en el Universo Local puede ser una BCG en calma, y que estas a su vez, son unas 30 veces más abundantes que las BCGs (Sánchez Almeida et al. 2008, ApJ685,194S).

LA CÁMARA ÓPTICA OMC-INTEGRAL: MONITORIZACIÓN DE FUENTES DE ALTAS ENERGÍAS

Daniel Risquez

risquez@strw.leidenuniv.nl

Tesis doctoral dirigida por:
José Miguel Mas-Hesse

Centro:
CAB-LAEFF (CSIC-INTA)

Fecha de lectura:
24 de noviembre de 2008

Este trabajo de doctorado se ha realizado bajo la supervisión del Dr. José Miguel Mas-Hesse, en las instalaciones del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF), situadas en Villafranca del Castillo (Madrid). Actualmente el LAEFF forma parte del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) a través del Centro de Astrobiología (CAB).

El trabajo se centra principalmente en la cámara óptica OMC (Optical Monitoring Camera), que es un instrumento instalado a bordo del obser-

vatorio espacial INTEGRAL. Este observatorio, perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA), se dedica fundamentalmente a la observación de rayos gamma, disponiendo para ello de un instrumento que toma imágenes en rayos gamma (IBIS) y otro que toma espectros gamma (SPI). El satélite incluye además un monitor en rayos X (JEM{X}), y el monitor óptico OMC.

La investigación se compone de cinco partes principales. La parte fundamental ha consistido en un estudio detallado de OMC. Se presentan los procedimientos que han sido desarrollados para su verificación y calibración fotométrica. Se ha estudiado el comportamiento del instrumento a largo plazo, especialmente su posible degradación en el entorno espacial. Se han conseguido de este modo obtener los mejores resultados posibles del instrumento.

En segundo lugar se describen los algoritmos elaborados para la extracción semiautomática de la fotometría óptica de fuentes de altas energías. El software desarrollado en este

trabajo ha permitido mejorar el procesado de los datos de OMC, así como extenderlo a más casos y validarlo por métodos independientes.

Asimismo se presenta un primer catálogo de las propiedades de contrapartidas ópticas de fuentes de rayos gamma y rayos X observadas con INTEGRAL.

En cuarto lugar se desarrolla también la contribución del equipo OMC en el Grupo de Monitorización del Bulbo Galáctico, que se está llevando a cabo con INTEGRAL. Se está realizando un procesado de los datos y la consiguiente supervisión de las curvas de luz casi en tiempo real, proporcionando resultados públicos para la comunidad científica.

Dentro de este programa se han analizado en profundidad varias fuentes. IGR J17544-2619 ha resultado tener una contrapartida óptica de magnitud constante dentro de la precisión alcanzada, 1E 1743.9-2809 es una binaria eclipsante de la cual se ha obtenido una muy buena curva de luz, y AX J1742.5-2845 estaba clasificada

TESIS DOCTORALES 2008-09

erróneamente como binaria eclipsante de tipo b Lyr.

Por último, se ha realizado un estudio de diversas fuentes observadas con OMC. Se ha aprovechado la ventaja de la misión INTEGRAL, que permite la obtención de datos simultáneos en rayos gamma, rayos X, y óptico.

Se han observado binarias de rayos X como Cyg X-1 (realizando un seguimiento de dos periodos orbitales en rayos gamma y óptico), GX 301-02 (se han realizado curvas de luz en rayos gamma y óptico que confirman el modelo existente para esta fuente), SS 433, LSI +61° 303, Sco X-1 (histograma de magnitudes que confirma observaciones previas de otros autores), Her X-1 (observaciones ópticas que confirman el modelo existente, ver Figura 1).

Además se ha realizado un seguimiento de variables cataclísmicas, como SS Cyg; y de galaxias de núcleo activo (AGN) como 3C 273, 3C 279, NGC 4151, y ESO 328-36.

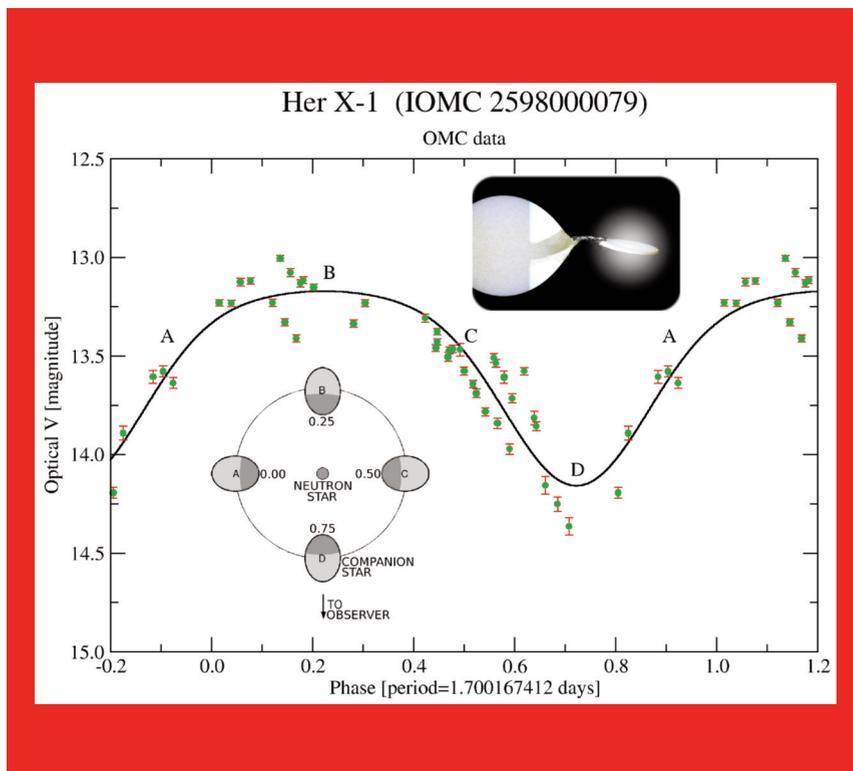


Figura 1 - Curva de luz y esquema de la fuente Her X-1. IOMC 2598000079 es el identificador dentro del Catálogo de Entrada de OMC. Se muestran los puntos fotométricos con sus barras de error, una curva simple de ajuste, un esquema del sistema binario (sin estar a escala ni incluir el disco de acrecimiento), y una visión artística del conjunto (esta última cortesía de R. Haynes).

En conclusión, por un lado esta investigación aquí presentada muestra resultados fotométricos de fuentes que han sido observadas simultáneamente en el óptico y en altas energías. Por otro lado, este trabajo proporciona un mayor conocimiento del comportamiento de detectores CCD ópticos en el espacio, y permitirá una mejora de futuras misiones.

Nota: Las actividades que están relacionadas con OMC-INTEGRAL están siendo patrocinadas desde 1993 por el Plan Nacional del Espacio (MEC/MICINN).

EVOLUCIÓN Y AGRUPAMIENTO A GRAN ESCALA DE UNA MUESTRA DE FUENTES EXTRAGALÁCTICAS EN RAYOS-X

Jacobo Ebrero Carrero

ecarrero@ifca.unican.es

Tesis doctoral dirigida por:
Francisco J. Carrera Troyano

Centro:
Instituto de Física de
Cantabria (CSIC-UC)

Fecha de lectura:
11 de diciembre de 2008

Los Núcleos Galácticos Activos (AGN, en sus siglas en inglés) son las fuentes persistentes más brillantes conocidas en el Universo. Se trata de galaxias que se caracterizan por emitir cantidades ingentes de energía desde una pequeña región del núcleo, superando ésta en brillo en varios ordenes de magnitud a la emisión integrada del resto de la galaxia en que se aloja. El único fenómeno físico capaz de explicar las altísimas luminosidades y la rápida variabilidad observada en los AGN es

el acrecimiento gravitatorio de materia sobre un agujero negro supermasivo. Aunque los AGN emiten en todas las longitudes de onda, estos objetos se caracterizan especialmente por su intensa emisión en el rango de los rayos X. Gracias al gran poder de penetración en la materia de los fotones X, los AGN observados en este rango pueden ser observados a distancias cosmológicas sin verse apenas afectados por la absorción.

En esta tesis hemos estudiado las propiedades evolutivas y de agrupamiento a gran escala de una muestra de fuentes extragalácticas de rayos X a flujos medios (muestra AXIS), siendo los AGN la población dominante. En primer lugar calculamos la distribución en flujo (relaciones $\log N - \log S$) de las fuentes detectadas en distintas bandas de energía, en combinación con otras muestras más y menos profundas

encontradas en la literatura para abarcar un mayor rango de flujos. Estas distribuciones dependen de las propiedades cosmológicas de las fuentes y pueden ser descritas por un modelo empírico. Las distribuciones en flujo se ajustaron a una doble ley de potencias, con un cambio de pendiente a flujos $\sim 10^{-14}$ erg cm⁻² s⁻¹, mediante un método de máxima verosimilitud. Los parámetros así obtenidos se usaron para estimar la contribución de las fuentes a la emisión del fondo cósmico de rayos-X (FCX). De esta forma resolvimos hasta un 90% del FCX como la emisión integrada de fuentes puntuales. Extrapolando nuestra distribución en flujo a flujo cero no saturamos el FCX, comprobando que una población dominante de galaxias por debajo el flujo límite de nuestra muestra sería suficiente para reproducir el FCX usando únicamente fuentes puntuales. Además, observamos que la mayor contribución fraccional al FCX se produce a flujos en torno a $\sim 1 \times 10^{-14}$ erg cm⁻² s⁻¹ (hasta un 50% del mismo), mostrando así la importancia de muestreos a flujos medios, como AXIS, para el estudio de la evolución

TESIS DOCTORALES 2008-09

de la emisión X por debajo de 10 keV.

También exploramos la estructura cósmica subyacente en el Universo en rayos-X mediante la función de correlación angular entre pares de fuentes. Encontramos fuertes evidencias de agrupamiento angular a gran escala en rayos-X blandos (0.5-2 keV) con una significancia de 99.9%. Hemos comprobado que la señal de agrupamiento está extendida por todo el cielo, no limitándose a unos pocos campos. Esto implica que, si esta estructura tiene origen cosmológico, debe provenir de desplazamientos al rojo ≤ 1.5 , el pico de la distribución de desplazamientos al rojo de muestras a flujos medios. Por otra parte, las fuentes detectadas en rayos X duros (2-10 keV) ofrecen resultados consistentes con una distribución aleatoria. Hemos comprobado que esto puede ser debido a la baja densidad de fuentes por campo en esta banda, que puede diluir la señal de agrupamiento hasta hacerla indetectable aunque exista.

Haciendo uso de una submuestra limitada en flujo de

AXIS (muestra XMS), de la que disponemos de información espectral detallada y que se haya identificada en un 96%, hemos modelado su absorción intrínseca como función de la luminosidad y el desplazamiento al rojo. Encontramos que la fracción de AGN absorbidos disminuye al incrementarse la luminosidad, y aumenta con el desplazamiento al rojo en la banda 2-10 keV. Lo mismo sucede en rayos-X muy duros (4.5-7.5 keV), aunque la dependencia con el desplazamiento al rojo obtenida no es significativa, debido a la escasa estadística y a que la mayoría de fuentes detectadas en esta banda se encuentran a $z \leq 1$.

La evolución de los AGN no está bien descrita asumiendo que únicamente su luminosidad evoluciona con el tiempo. Hemos comprobado que el modelo que mejor se ajusta a las observaciones es aquel en el que existe evolución tanto en la luminosidad como en la densidad comóvil de objetos. Gracias al gran número de fuentes involucradas en nuestro análisis, hemos mejorado la precisión en la determinación de los parámetros de este

modelo con respecto a trabajos anteriores. Además, hemos estudiado por primera vez la función de luminosidad intrínseca (corrigiendo por la absorción) de las fuentes más duras (4.5-7.5 keV), encontrando que estas presentan una evolución significativamente más fuerte a desplazamientos al rojo bajos que el resto de AGN. El total de materia acreta en el Universo actual ($z = 0$) predicha por nuestro modelo coincide con la estimación de la densidad de agujeros negros supermasivos en el Universo local hecha por otros autores empleando otros métodos como la función de masa local de agujeros negros.

En todas las bandas de energía estudiadas, los AGN más luminosos ($\log L_X > 44$) se forman antes que los menos luminosos ($\log L_X < 44$), alcanzando un máximo en la densidad de objetos a desplazamientos al rojo de ~ 1.5 , mientras que los segundos lo hacen a desplazamientos al rojo menores (~ 0.7). Esto indica que los AGN más luminosos acretaban materia más eficientemente que los menos luminosos en las etapas tempranas



del Universo, encontrándose plenamente formados a desplazamientos al rojo de $\sim 1.5-2$. Este comportamiento confirma que la evolución de la función de luminosidad observada a lo largo del tiempo cósmico no está causada por variaciones en el entorno absorbente de rayos-X, sino por variaciones intrínsecas en la tasa de acreción de materia sobre el agujero negro supermasivo.

ESTUDIO DE DISCOS GASEOSOS EN SISTEMAS BINARIOS

Miguel de Val Borro

mdeval@cfa.harvard.edu

Tesis doctoral dirigida por:

Dr. Pawel Artymowicz

Centro:

Stockholm University

Fecha de lectura:

15 de diciembre de 2008

Hasta el año 1995 las teorías de formación planetaria se basaban en nuestro conocimiento de los planetas del Sistema Solar. Ahora hay más de 300 planetas extrasolares observados a través de técnicas de velocidad radial y fotométricas, mostrando una gran variedad de masas, composiciones y parámetros orbitales. Comprender cómo estos planetas se forman y evolucionan en el seno de los discos protoplanetarios es un problema crucial. No obstante la interacción entre el planeta y el disco no se puede estudiar analíticamente y simulaciones numéricas son necesarias en este problema.

En la primera parte de esta tesis estudiamos la interacción gravitatoria entre un disco gaseoso y un planeta por medio de simulaciones hidrodinámicas. Los tests estándar para códigos hidrodinámicos son considerablemente diferentes de la situación de un disco protoplanetario interactuando con un planeta. Por tanto hemos realizado una comparación de códigos en el problema de un planeta masivo incrustado en un disco protoplanetario usando varios esquemas numéricos. La densidad superficial, vorticidad, perfiles promediados angularmente en función del tiempo y torques gravitatorios actuando sobre el planeta son comparados. Hay un buen acuerdo entre nuestros códigos para planetas de tamaño cercano a Neptuno y Júpiter y discos inviscidos y con viscosidad física. Los perfiles de densidad superficial coinciden en un 5% para los esquemas basados en malla, mientras que los códigos de partículas tienen menor resolución en las zonas de baja densidad y brazos espirales más débiles.

En el segundo artículo estudiamos inestabilidades



TESIS DOCTORALES 2008-09

hidrodinámicas en discos con planetas. Se forman vórtices cerca del anillo abierto por el planeta en nuestras simulaciones, en acuerdo con los resultados del análisis lineal semi-analítico. Los vórtices ejercen una fuerte perturbación en el planeta cuando se mueve alrededor del disco que puede cambiar la tasa de migración del planeta. Además, la viscosidad del disco puede cambiar debido a la presencia de vórtices.

La segunda parte de esta tesis estudia el intercambio de material en sistemas simbióticos y binarias T-Tauri cercanas. Estudiamos los efectos dinámicos sobre vientos de estrellas en fases finales debido a la influencia gravitatoria de un compañero. En particular, investigamos el intercambio de material y la formación de discos de acrecimiento alrededor de la estrella secundaria en sistemas formados por una estrella en fase AGB y un compañero compacto. Los flujos de masa son estudiada en función de la tasa de pérdida de masa de la estrella donante, temperatura del viento estelar y parámetros orbitales. Nuestras

simulaciones muestran flujos masivos y tasas de acreción altas sobre el componente compacto. El intercambio de material a través de viento estelar en sistemas binarios simbióticos puede explicar la formación de estrellas químicamente peculiares o estrellas de Bario.

En el último artículo estudiamos líneas de emisión de los flujos de acrecimiento sobre los componentes de un sistema binario joven en función de la fase orbital. Estimamos los perfiles de las líneas de emisión usando cuatro componentes procedentes de distintas regiones del material acretado hacia las estrellas desde el disco circumbinario, en acuerdo cualitativo con observaciones de líneas de hidrógeno del sistema T-Tauri V4046 Sgr.

La tesis completa está disponible en el URL:

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:su:diva-8337>

ESTUDIO DE FLUJOS HORIZONTALES EN REGIONES SOLARES ACTIVAS BASADO EN TÉCNICAS DE ALTA RESOLUCIÓN PARA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES

Santiago Vargas Domínguez

svargas@iac.es

Tesis doctoral dirigida por:
José Antonio Bonet y
Valentín Martínez Pillet

Centro:
Instituto de Astrofísica de
Canarias

Fecha de lectura:
18 de diciembre de 2008

Este trabajo de tesis se enmarca en un concepto más general denominado “Alta resolución en física solar”. El trabajo consiste de dos partes claramente definidas. La primera parte trata sobre el desarrollo instrumental para observaciones solares, y la segunda está dedicada a la explotación científica de datos solares obtenidos con instrumentación solar puntera.

En la primera parte de la tesis se trabaja el tema de la alta resolución y la restauración de imágenes para la obtención de una alta calidad de imagen. Se comienza con una revisión teórica del problema que representan la turbulencia atmosférica y las aberraciones instrumentales en la formación de imágenes. Esto plantea la necesidad de implantar técnicas de restauración postfacto, que junto con las correcciones en tiempo real de la óptica adaptativa, nos den imágenes cada vez más cercanas al objeto verdadero en estudio.

Un esfuerzo por realizar observaciones solares sin el efecto contraproducente de la atmósfera terrestre es la misión SUNRISE, una colaboración entre la Agencia Espacial Alemana, DLR, la Estadounidense NASA y el Programa Nacional Español del Espacio. Este proyecto lanzará un globo aerostático con un telescopio de 1 metro

de apertura que tendrá durante 15 días la posibilidad de observar ininterrumpidamente el Sol con resolución espacial, temporal y espectral sin precedentes. El objetivo principal de SUNRISE es el estudio de la formación de estructuras magnéticas en la atmósfera solar y su interacción con los flujos convectivos de plasma. Para cumplir este objetivo se cuenta con el instrumento Imaging Magnetograph eXperiment (IMaX), un magnetógrafo desarrollado enteramente por instituciones españolas, lideradas por el Instituto de Astrofísica de Canarias, en el cual he realizado el presente trabajo. Este instrumento será capaz de producir mapas del campo magnético en regiones extensas de la superficie solar. Como miembro del equipo de IMaX, he desarrollado un método de calibración en vuelo para caracterizar las aberraciones que afectarán las imágenes en IMaX. La descripción del método de calibración, así



TESIS DOCTORALES 2008-09

como también las pruebas de su robustez, constituyen el núcleo de la primera parte de esta tesis doctoral.

En la segunda parte de la tesis nos centramos en el tema del estudio de flujos horizontales en regiones solares activas. Se utilizan datos de observaciones solares desde Tierra y desde el espacio y se aplica el método de reconstrucción de imágenes expuesto en la primera parte para restaurar el material observado. Estudiamos los movimientos propios de estructuras dentro y fuera de regiones solares activas. A través de técnicas de correlación local y los subsiguientes mapas de flujo que generamos, podemos cuantificar los flujos horizontales en las

regiones observadas.

La primera región activa estudiada corresponde a un complejo grupo de manchas solares de configuración Δ . Se infiere el campo de velocidades horizontales (ver Figura 1) utilizando una serie temporal de alta resolución, y a partir de este mapa de velocidades se encuentra una correlación entre la presencia de flujos de gran velocidad alrededor de las manchas solares hacia afuera y la existencia de penumbra. La zona afectada por estos flujos se denomina foso (en inglés moat). Se sugiere una relación entre flujos radiales hacia afuera a lo largo de los filamentos penumbrales (flujo Evershed) y los flujos fotosféricos, también radiales, en la granulación circundante a las

manchas solares. Para confirmar este resultado, se estudia una muestra mas amplia de manchas solares con gran variedad de configuraciones penumbrales, y nuevamente se encuentra la misma dependencia foso-penumbra. En las áreas donde las umbras son adyacentes a la granulación circundante no hay evidencias de presencia de estos flujos a gran escala, ni tampoco en la dirección transversal a los filamentos. Otro resultado del análisis de algunas de estas manchas es la inhibición de los flujos de foso por la presencia de líneas neutras.

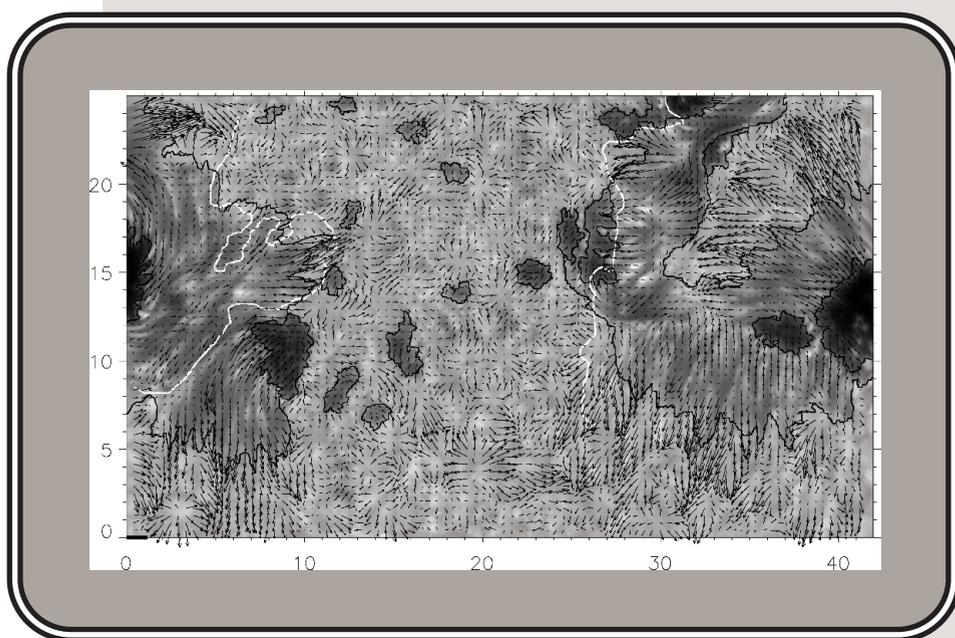


Figura 1 - Mapa de velocidades horizontales (promedio de 71 minutos) para una mancha solar de configuración Δ observada con el telescopio SST el 9 Julio 2005. Las líneas blancas corresponden a líneas neutras. La longitud de la barra negra en las coordenadas (0,0) corresponde a 4 km s⁻¹ . Las coordenadas se expresan en Mm.



Finalmente se estudia el campo de velocidades horizontales alrededor de poros (manchas solares sin penumbra). Se trabaja con imágenes restauradas de alta resolución, que conforman una serie temporal estable y de larga duración, sobre la cual se estudian nuevamente los movimientos propios en todo el campo de observación y sus propiedades alrededor de poros solares. Como resultado relevante, no se encuentra ninguna evidencia de flujo de foso alrededor de los poros, resultado coherente con el descrito anteriormente sobre el hecho de que los flujos de foso están asociados a la existencia de penumbra.

CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE CO EN 2.3 MICRÓMETROS Y SU APLICACIÓN AL ESTUDIO DE POBLACIONES ESTELARES EN GALAXIAS DE PRIMEROS TIPOS

Esther Mármol Queraltó
emq@astrax.fis.ucm.es

Tesis doctoral dirigida por:
Nicolás Cardiel López

Centro:
Universidad Complutense
de Madrid

Fecha de lectura:
13 de enero de 2009

Uno de los retos de la Astrofísica moderna es llegar a conocer la composición de las galaxias y comprender los mecanismos por los cuales se nos presentan tal y como las observamos hoy en día. Debido a las limitaciones técnicas en la observación de objetos lejanos y débiles, el estudio de las poblaciones estelares de galaxias está limitado, generalmente, a la luz integrada procedente de las galaxias

como un todo. Por ello, necesitamos métodos que nos permitan entre las distintas poblaciones que conviven en ella, de manera que podamos llegar a obtener más información sobre la historia, procesos de formación y evolución, composición química o edad de los complejos objetos que observamos. Para obtener información sobre la población estelar completa de la galaxia debemos tener en cuenta que en cada intervalo espectral unos tipos de estrellas influyen más que otros. En el caso del infrarrojo cercano, la mayoría de la luz procede de estrellas rojas supergigantes y masivas, estrellas de masa intermedia que evolucionan a lo largo de la AGB (rama asintótica de las gigantes) y estrellas poco masivas cerca del tip (punto más alto) de la RGB (rama de las gigantes rojas), mientras que las estrellas de la secuencia principal alrededor del punto de giro y las estrellas en la base de la RGB dominan la luz en el óptico. Por tanto, es fundamental realizar un estudio combinado de las características espectrales presentes en las diferentes ventanas observacionales.

TESIS DOCTORALES 2008-09

En esta tesis doctoral hemos realizado un análisis de las poblaciones estelares en galaxias de primeros tipos utilizando para ello el infrarrojo cercano, y en particular la banda K, una ventana espectral muy poco explotada hasta la fecha para este tipo de estudios y en la que se encuentra la banda de absorción debida al CO en $2.3 \mu\text{m}$, una de las características espectrales más prominentes en este intervalo espectral. Para llevar a cabo esta tarea, hemos desarrollado ciertas herramientas necesarias en el estudio de poblaciones estelares de las que no disponíamos hasta el momento. En primer lugar, hemos observado una biblioteca de 220 estrellas que mejora el recubrimiento en el espacio de parámetros atmosféricos estelares (temperatura efectiva, gravedad y metalicidad) de trabajos previos para poder tener una muestra lo más amplia posible de estrellas de diferentes tipos espectrales. Los espectros han sido obtenidos con el espectrógrafo OMEGA-CASS en el telescopio de 3.5 m del observatorio de Calar Alto (Almería), y con el instrumento NICS situado en el Telescopio

Nazionale Galileo en el observatorio de Roque de los Muchachos (La Palma). Para medir de forma objetiva estas líneas de absorción, hemos definido un nuevo índice, el DCO, que se caracteriza principalmente por ser muy poco sensible a la resolución espectral (o dispersión de velocidades).

Este nuevo índice también es robusto frente errores de calibración en flujo y en longitud de onda (o a incertidumbres en las velocidades radiales de los objetos). Sobre los espectros de las estrellas de la nueva biblioteca hemos medido este índice y hemos calculado las funciones empíricas de ajuste que expresan de forma matemática la dependencia del índice DCO con los parámetros estelares básicos de las estrellas. Estas funciones de ajuste son el ingrediente fundamental de los modelos de síntesis evolutiva que se utilizan para derivar los parámetros de la población de una galaxia, como su edad y su metalicidad. Las funciones empíricas calculadas para el DCO han sido introducidas en los modelos de síntesis evolutiva del Dr. A. Vazdekis, quien ha proporcionado unas predicciones pre-

liminares de este índice que nos ha permitido comprender el comportamiento de esta característica espectral en las galaxias observadas. La evolución temporal del DCO indica que para edades muy jóvenes el índice presenta valores muy altos, disminuyendo rápidamente hasta edades de ~ 3 Gaños, donde el índice se estabiliza hasta alcanzar un valor aproximadamente constante para edades viejas. Las predicciones de estos modelos señalan que el índice DCO es sensible a la metalicidad, alcanzando valores mayores de DCO cuanto más alta es la metalicidad de la población estudiada. Por otro lado, el índice también es sensible a la pendiente de la función inicial de masas (IMF), en el sentido de que pendientes de la IMF menores producen valores superiores del índice.

La última parte de esta tesis doctoral se ha centrado en la aplicación de estas herramientas a una muestra de galaxias de primeros tipos. Como parte de este proyecto, se han obtenido espectros de rendija larga de una muestra de 14 galaxias, 12 de ellas en entornos de baja densidad y 2

pertenecientes al cúmulo de Fornax, durante dos noches de observación con el instrumento ISAAC en el telescopio de 8.2 m UT1/Antu en el VLT (Cerro de Paranal, Chile). Estos datos han sido analizados paralelamente con la muestra de 11 galaxias de Fornax observada por Silva et al. (2008). Los índices infrarrojos se han revelado como una excelente herramienta para el estudio de poblaciones estelares. Su análisis, combinado con el de los índices en el óptico, nos ha permitido establecer que el índice DCO es un buen trazador de la población estelar de edad intermedia y que el índice NaI, que mide la segun-

da característica más importante en esta banda, es un indicador metálico tan bueno como el índice C4668 en el óptico. Por último, hemos encontrado que las galaxias en entornos de baja densidad de $\sqrt{\sigma} < 200 \text{ km s}^{-1}$ presentan valores del NaI y DCO mayores que las galaxias de Fornax de $\sqrt{\sigma}$ similares, lo que nos indica que las galaxias en entornos de baja densidad estudiados en este trabajo han experimentado una historia de la formación estelar más extendida que las del cúmulo de Fornax.

En resumen, esta tesis doctoral ha demostrado la viabilidad y, sobre todo, la utilidad de

realizar observaciones en la banda K para el estudio de poblaciones estelares de edad intermedia en galaxias de primeros tipos. Las características espectrales más notables en esta banda se han revelado como excelentes herramientas que permiten profundizar en el conocimiento actual de la historia de la formación estelar en este tipo de galaxias.

Silva D., Kuntschner H.,
Lyubenova M,
2008, ApJ, 674, 194

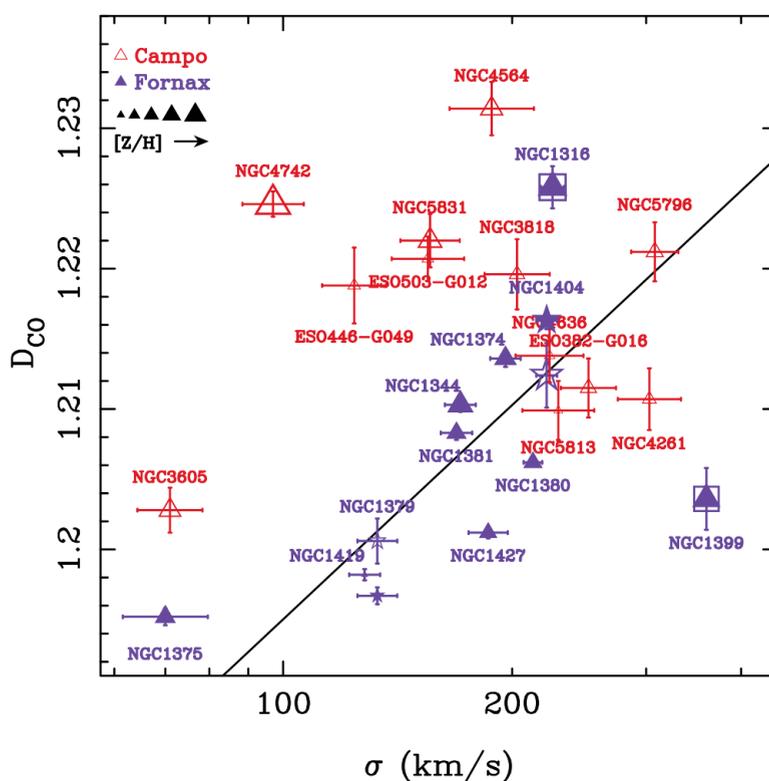


Fig. 1. - Índice DCO frente a la dispersión de velocidades para las galaxias analizadas en esta tesis doctoral. Los triángulos abiertos rojos representan las galaxias en entornos de baja densidad (campo), mientras que las galaxias de Fornax están representadas por los triángulos rellenos azules. El tamaño de los símbolos indica la metalicidad de las galaxias.

CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE ASTEROIDES CERCANOS A LA TIERRA

Julia María de León Cruz

jmlc@iac.es

Tesis doctoral dirigida por:
Javier Licandro Goldaracena y
Miquel Serra-Ricart

Centro:
Instituto de Astrofísica de
Canarias

Fecha de lectura:
4 de marzo de 2009

De forma sencilla, los asteroides pueden definirse como objetos que no poseen atmósfera cuyo tamaño es menor que el de los planetas y que orbitan alrededor del Sol. La teoría de formación más aceptada hoy en día asume que se trata de planetesimales que no llegaron a acretar en cuerpos de mayor tamaño debido a la influencia gravitacional de Júpiter en las primeras etapas de formación del Sistema Solar. La principal población de estos objetos se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter, en el denominado “cinturón principal”

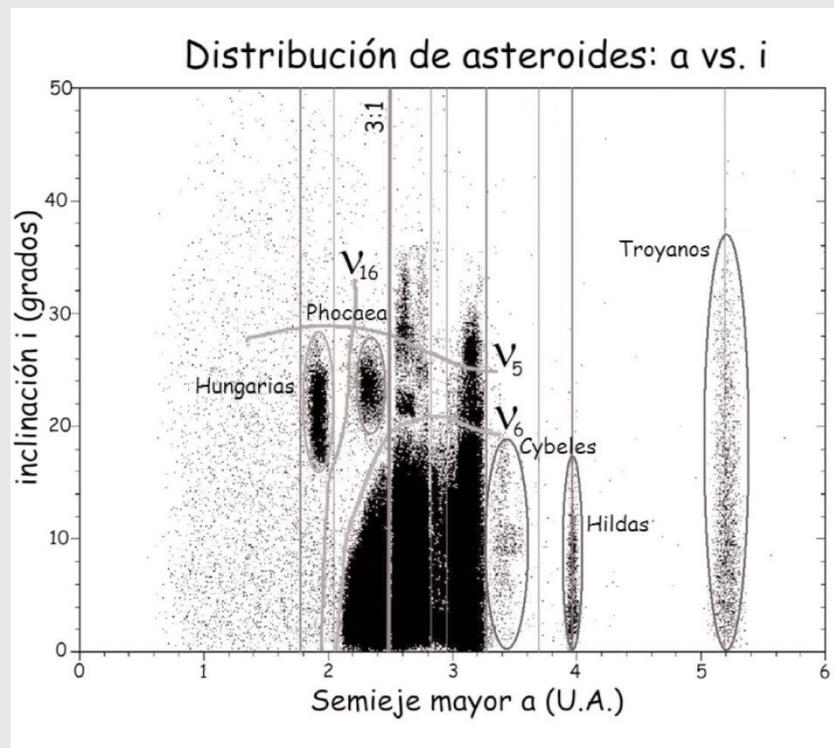


Fig. 1. Distribución de los asteroides del cinturón principal en el espacio de parámetros orbitales a-i. Se muestran las resonancias seculares más importantes (v_6 , v_5 y v_{16} para $e = 0.05$), así como las reso-

(main belt, MB). Dentro de los asteroides son de especial interés los asteroides cercanos a la Tierra, o NEAs (near-Earth asteroids), no sólo por sus probabilidades de impacto con nuestro planeta, sino porque el análisis de sus propiedades físicas y su com-

nancias de movimiento medio con Júpiter (líneas verticales). La combinación de ambas resonancias contribuye a la formación de grupos de asteroides como los Hildas, los Phocaea o los Cybeles.

posición superficial nos permite comprender mejor las condiciones iniciales de la nebulosa solar.

Los NEAs son además, por su tipo de órbita, los objetos precursores más evidentes de los meteoritos, los cuales podemos estudiar en detalle

en el laboratorio. Los modelos de dinámica indican que los NEAs provienen fundamentalmente del MB interior y central, y que alcanzan sus orbitas cercanas a la Tierra al ser introducidos en resonancias gravitacionales (principalmente $\Omega 6$ y 3:1, ver Fig. 1). Esta zona del MB está dominada por asteroides de tipo espectral S y Q, que son también los tipos espectrales más comunes entre los NEAs ($\sim 60\%$), y que corresponden a objetos compuestos de silicatos. Sus espectros de reflexión presentan bandas de absorción muy características que permiten realizar análisis mineralógicos utilizando diferentes métodos. Estas bandas de absorción están presentes también en los espectros de los meteoritos más abundantes ($\sim 80\%$), las condritas ordinarias, por lo que históricamente los NEAs se han considerado los objetos precursores más probables de estos meteoritos. Así pues, es particularmente interesante comprender mejor la conexión entre estos tres grupos de objetos (condritas ordinarias, NEAs y MBs), y este ha sido

el principal objetivo de esta tesis doctoral

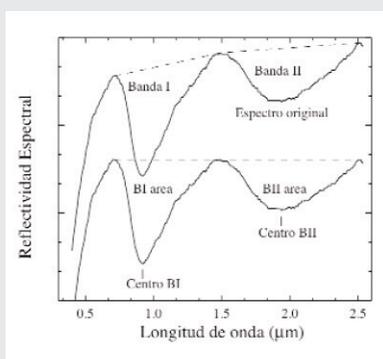


Fig. 2. Parámetros espectrales que se calculan para el análisis mineralógico. La línea continua corresponde a la curva de reflectividad espectral de un separado de olivina-hipersteno de una condrita ordinaria L4 (Bald Mountain). Se observan claramente las bandas de absorción típicas de los silicatos. Se muestran tanto el espectro original (parte superior) como el espectro una vez extraído un continuo lineal (parte inferior). En dicho espectro se calcula tanto el cociente de las áreas (Band Area Ratio, BAR) como la posición del centro de la primera banda de absorción.

Para ello, hemos llevado a cabo un survey espectroscópico de NEAs entre los años 2002 y 2007, empleando los telescopios e instrumentación del Observatorio del Roque de los Muchachos, operado por el Instituto de Astrofísica de Canarias. El survey comprende espectros en el rango visible e infrarrojo cercano (0.5-2.5 μm) de un total de 105 asteroides y ha generado

además un subprograma observacional de MBs localizados específicamente en las regiones de procedencia de los NEAs, que se encuentra actualmente en marcha.

TESIS DOCTORALES 2008-09

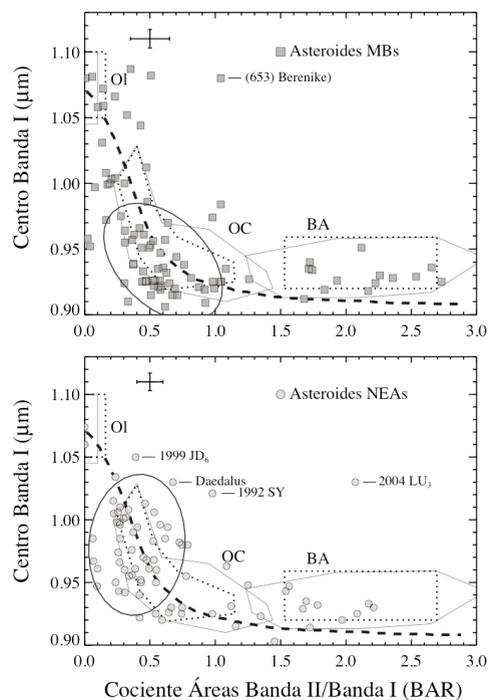


Fig. 3. Comparación del cociente de las áreas (BAR) y el centro de la Banda I de los MBs (arriba) y los NEAs (abajo). Las barras de error promedio asociadas a ambos conjuntos de datos se muestran en la esquina superior izquierda de cada gráfico. Las regiones encerradas por líneas continuas corresponden a los valores de BAR y

Centro de Banda I obtenidos para la muestra de condritas ordinarias (OC) y acondritas basálticas (BA). Tal y como se indica con las elipses, los NEAs se concentran hacia regiones de BAR más pequeñas y centros de banda mayores que los MBs, sugiriendo una composición más rica en olivina para esta población.

Hemos aplicado un método de análisis mineralógico basado en parámetros espectrales a nuestra muestra de NEAs, así como a una muestra de comparación de MBs y de condritas ordinarias,

recopiladas de diferentes bases de datos. Basándonos principalmente en el estudio del cociente de las áreas (BAR) y el Centro de la Banda I (ver Fig. 3 para más detalle), encontramos una diferencia

composicional significativa entre los NEAs, las condritas ordinarias y los MBs. Los NEAs parecen tener en promedio una composición más rica en olivina que los MBs (tal y como se muestra en la Fig. 3) y sorprendentemente, ni los NEAs ni los MBs ocupan completamente la región OC, asociada a las condritas ordinarias. Si comparamos con los tres subgrupos de OCs por separado (condritas H, L y LL), encontramos que son las condritas LL, las más ricas en olivina, las que presentan una distribución más similar a la de los NEAs. No obstante, este subgrupo constituye apenas el 8% del total de las condritas ordinarias. Asimismo, y como muestra la Fig. 4, la mayoría de los NEAs analizados provienen de la región interna del cinturón principal (resonancia secular Ω_6). En esta zona se localiza la familia colisional Flora. Estudios recientes muestran que dicha familia está compuesta por asteroides con composición rica en olivina, y sugiere que dichos objetos son los progenitores más probables de las condritas LL.

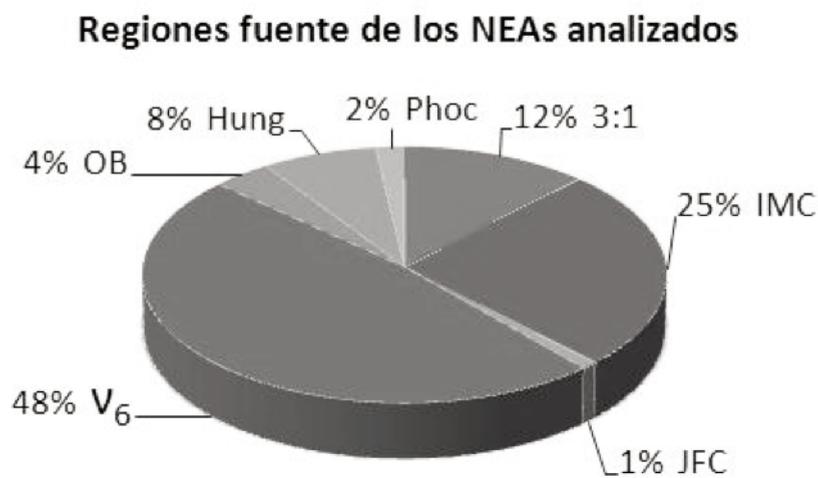


Fig. 4. Distribución de la probabilidad de procedencia de distintas regiones fuente de los NEAs estudiados en esta tesis. Las regiones fuente mostradas corresponden a 5 regiones primarias (3:1, IMC, JFC, 6 y OB) más 2 regiones secundarias

Este resultado sugiere que los NEAs tipo S no son los progenitores más probables de las condritas ordinarias, como se creía hasta ahora. La principal diferencia entre los espectros de reflexión de asteroides tipo S y condritas ordinarias se encuentra en la pendiente espectral, siendo esta mayor para los asteroides. Este enrojecimiento es debido a la exposición continua de su superficie a los efectos del clima espacial o space weathering (viento solar, bom-

(Hung y Phoc), definidas por Bottke et al. (2002a). Los valores de probabilidad para cada objeto se obtienen de forma que la probabilidad total sume 1 (Dr. Alessandro Morbidelli, comunicación personal).

bardeo de micrometeoritos, etc.). Sin embargo, recientes experimentos de laboratorio han logrado reproducir con éxito estos fenómenos e indican que ninguno de los dos parámetros espectrales utilizados para obtener las diferencias composicionales cambia con el space weathering.

Planteamos pues como posible explicación a esta diferencia composicional la diferencia en los rangos de tamaños de los meteoritos, los NEAs y los MBs. Mientras

que los NEAs y los asteroides de la familia Flora tienen diámetros parecidos (<10 km), los meteoritos son mucho menores, del orden de metros. El efecto Yarkovsky, relacionado con la inercia térmica de los objetos en el espacio al estar sometidos a la radiación solar, produce desplazamientos en el semieje mayor de la órbita de los asteroides. Este desplazamiento es mucho mayor y más rápido ($\sim 10^5$ años) para los objetos más pequeños, mientras que para objetos con diámetros del orden de kms, este mecanismo es poco eficaz. Por tanto, es posible que los NEAs no estén muestreando los objetos progenitores de las condritas ordinarias. Los objetos progenitores de los NEAs, debido a su tamaño, tendrían que estar situados cerca de una resonancia poderosa (como la Ω_6), de manera que los pedazos resultantes de una colisión fueran introducidos en ella relativamente rápido (como es el caso de la familia Flora). Por el contrario, los objetos más pequeños (los progenitores de los meteoritos), se verían

TESIS DOCTORALES 2008-09

desplazados de forma más eficiente y rápida por el efecto Yarkovsky, con lo que no tendrían que estar tan cerca de una resonancia fuerte para ser transportados hacia la Tierra. Así, los trozos más pequeños resultantes de las colisiones que forman las diferentes familias de asteroides en el cinturón principal interior y central, y que tienen una mayor variedad composicional, alcanzarían las resonancias en esa región más fácilmente. Esto explica el hecho de que tanto los NEAs como los asteroides de la familia Flora sean más ricos en olivina que los MBs o las condritas ordinarias, y que se asemejen composicionalmente a un grupo reducido de condritas (LL).



Margaret Geller, doctora Honoris Causa por la Universidad Rovira i Virgili



Equipo

Ella es una astrónoma*

28 de Septiembre, 2009

Margaret Geller, investigadora del Smithsonian Astronomical Observatory (SAO), fue nombrada Doctora Honoris Causa por la Universidad Rovira i Virgili el pasado 17 de junio, convirtiéndose así en la primera mujer astrónoma en recibir esta distinción de una Universidad española.

La doctora Geller fue, con sus colegas John Huchra y Valérie de Lapparent, pionera en el mapeado a gran escala del universo vecino. Sus mapas mostraron por primera vez que las galaxias no se distribuyen uniformemente en el espacio, sino de manera estructurada

en forma de filamentos en torno a grandes huecos, como la materia de una esponja. Fue la segunda mujer en recibir la McArthur Fellowship en 1990 por la Universidad de Princeton y es miembro de la Academia Americana de Artes y Ciencias y de la Academia Nacional de Ciencias, entre otras distinciones.

En la actualidad se ocupa principalmente del estudio de las estrellas hiperveloces, las cuales son expulsadas a gran velocidad del centro galáctico y pueden servir para trazar la distribución de la materia en la Galaxia.

Margaret Geller siempre ha estado comprometida e ilusionada por mostrar y divulgar la Astronomía a la sociedad, lo que la ha llevado a participar en numerosos programas de

HONORIS CAUSA

radio y televisión, debates públicos, etc. Su vídeo *Where the Galaxies Are*, realizado en 1989, fue el primer viaje gráfico por el Universo basado en observaciones y ha sido exhibido en los principales museos de ciencia de todo el mundo. Otra película suya, *So Many Galaxies... So Little Time*, ha cosechado innumerables premios, tanto por su contenido como por la tecnología gráfica utilizada, y se exhibe también en diversos museos, entre otros, en el Museo Nacional del Aire y el Espacio.

Geller, que a lo largo de su carrera ha luchado contra la discriminación de las mujeres en el ámbito académico, participó, el día previo a su investidura, en un debate sobre mujeres científicas organizado por el Observatorio de Igualdad de la Universidad Rovira i Virgili, durante el cual tuvimos ocasión de comprobar su gran dimensión humana y científica.

* Integrado por:

F. Figueras (coordinadora), A. Kiczowski, J. Ling, B. López Martí, I. Márquez, J. Masegosa, E. Pérez Sedeño, B. Troughton y M. Villar.



SUPERNOVAS Y SU EMISIÓN EN RADIOFRECUENCIA

I. Martí-Vidal

Max-Planck-Institut für
Radioastronomie, Bonn
(Alemania)

J. M. Marcaide

Departament d'Astronomia i
Astrofísica, Universitat de
València (España)

ABSTRACT

Repasamos brevemente los distintos tipos de explosiones supernova, haciendo hincapié en las supernovas de colapso gravitatorio, las únicas que se detectan en banda radio. A partir del análisis de las curvas de luz en la banda radio y de la expansión de la radioestructura de las supernovas, puede extraerse información detallada sobre la hidrodinámica del choque en expansión, así como del perfil de densidad de los materiales eyectados y del medio circunestelar. Describimos el modelo estándar de radioemisión de supernovas y nos centramos en el caso de SN1993J, la supernova mejor estudiada en banda radio.

1. Introducción

Las explosiones supernova son eventos tan dramáticos como interesantes. En ellas entran en juego, en unas condiciones límite, las teorías que actualmente forman los pilares de la Física Moderna, desde la Relatividad General hasta la Teoría Cuántica de Campos. Además, hoy es sabido que las supernovas jugaron un papel esencial en etapas todavía poco conocidas de la evolución del Universo, como fue la *era de la reionización*. Las explosiones supernova también son las responsables de la formación de agujeros negros y estrellas de neutrones, así como de la existencia de elementos más pesados que el helio en el medio interestelar, lo que a su vez es necesario para la existencia de vida en el Universo. Muchos de los átomos de los que están hechas las páginas de esta revista, o el cerebro que en estos momentos está procesando las palabras aquí escritas, formaron parte de una explosión supernova hace varios miles de millones de años.

Las explosiones supernova no están todavía del todo bien entendidas. Cuando pretendemos dilu-



cidar algunos detalles de la teoría, nos encontramos con varios modelos que pretenden explicar los mismos fenómenos, no habiendo a primera vista ningún resultado observacional que nos ayude a discernir definitivamente entre un modelo u otro. Es por ello que el buen análisis del mayor número de datos posible relacionados con este tipo de fenómenos extremos es esencial para el futuro avance de la teoría.

En banda radio, SN 1993J ha sido sin duda el mejor caso de estudio de una explosión supernova. Quizás dentro de algunos años nos sorprendamos con otra explosión similar a ésta, o incluso con una supernova dentro de nuestra propia galaxia, pero hasta que eso ocurra será SN 1993J la referencia a tomar en cuanto a los estudios de radioemisión en supernovas.

En la siguiente sección haremos un resumen de la clasificación de los distintos tipos de supernovas. En la Sección 3, repasaremos el modelo de explosión actualmente aceptado para las supernovas de colapso gravitatorio (las que se detectan en banda radio). En la Sección 4, nos centraremos en el estudio de la radioemisión de supernovas. Finalmente, en la

Sección 5 consideraremos el caso especial de la supernova SN 1993J.

2. Clasificación de supernovas

Cada supernova tiene características especiales que la convierten en un caso único. La clasificación de las distintas supernovas en tipos es, por tanto, un tema delicado, y en varias ocasiones han tenido que cambiarse o ampliarse los esquemas de clasificación. La clasificación de las explosiones supernova en distintos tipos se realiza actualmente por un criterio observacional, principalmente en base a las distintas líneas espectrales (en emisión o absorción) que pueden observarse superpuestas a su emisión continua, y secundariamente en base a las curvas de luz en el óptico (esto es, a la evolución temporal de su brillo).

De este modo, las supernovas de tipo I son las que no muestran líneas de emisión propias del hidrógeno en sus espectros. Se consideran tres subclases: Ia, Ib y Ic. Las de tipo Ia muestran una profunda línea de absorción del silicio ionizado cuando su brillo se acerca al máximo; más tarde, su espectro pasa a estar dominado por líneas de hierro y cobalto. Las de tipo Ib no muestran la línea de SiII, pero sí otras líneas de absor-

ción propias del helio neutro (HeI) que no aparecen, o bien son muy débiles, en las supernovas Ia; más tarde, empiezan a ser muy visibles las líneas de emisión de multitud de elementos de masa intermedia, como el oxígeno o el calcio. Por otra parte, las de tipo Ic no muestran, ni la línea de silicio, ni las del helio neutro a lo largo de la evolución de su brillo. Al igual que las de tipo Ib, estas supernovas también muestran al cabo del tiempo líneas de emisión de elementos de masas intermedias. En contraste a sus espectros, las curvas de luz de estas supernovas son muy similares entre sí. Al principio van aumentando su brillo durante unas pocas semanas hasta llegar a un máximo. Tras el pico de emisión, el brillo empieza a decaer desaceeleradamente.

Las supernovas de tipo II son las que muestran líneas espectrales propias del hidrógeno en sus espectros. Tales líneas se mantienen en los espectros durante períodos muy largos de tiempo. Las curvas de luz de este tipo de supernovas alcanzan sus máximos muy rápidamente, en días o incluso en horas. Además, las curvas de luz producidas en estas explosiones son de formas más variadas que las correspondientes a las de



tipo I. Las supernovas de tipo II se subdividen de acuerdo a la forma de sus curvas de luz, principalmente en tipo II-L (curvas de luz similares a las de tipo I) y II-P (en las que se mantiene un nivel de brillo constante tras el máximo, para empezar a decaer en unos meses). En la actualidad, existen más subclases de supernovas de tipo II, pero una descripción más detallada de la tipología de estas supernovas escapa a los objetivos del presente trabajo.

3. Escenario físico de las supernovas de colapso gravitatorio

Las supernovas de tipo I se dan en escenarios muy dispares. De hecho, las supernovas de tipo Ib y Ic (en gran contraste a las de tipo Ia) ocurren en escenarios muy similares a las de tipo II. Se cree que las supernovas de tipo Ib, Ic y II son el producto del colapso gravitatorio de estrellas muy masivas, al que dedicamos la presente sección. No trataremos el caso de las supernovas de tipo Ia, producto de explosiones termonucleares en sistemas estelares binarios.

Durante su vida, las estrellas sintetizan en su núcleo, por fusión nuclear, elementos pesados a par-

tir de elementos más ligeros. Gracias a estas reacciones nucleares, las estrellas generan una presión radiativa suficientemente grande como para poder ayudar a la presión del gas a compensar la fuerza gravitatoria y evitar el colapso.

Los distintos elementos químicos generados en la fusión se van estructurando dentro de la estrella a medida que ésta va pasando por las distintas etapas de evolución estelar correspondientes a la síntesis de cada uno de dichos elementos. A medida que transcurre el tiempo, la estrella acaba adquiriendo, en su parte más interna, una estructura en capas, similar a una cebolla, donde los elementos más pesados quedan en las partes más internas y los más ligeros quedan en las capas externas.

Cuando en el núcleo de la estrella llega a generarse hierro (^{56}Fe) la estrategia de la fusión nuclear para liberar energía deja de funcionar, dado que cualquier reacción de fusión a partir del hierro es endotérmica. Por lo tanto, en el momento en que la masa de hierro en el núcleo de la estrella llegue al límite de Chandrasekhar¹, no exis-

tirá ninguna configuración termodinámica que equilibre hidrodinámicamente al núcleo estelar; en el núcleo no habrá presión suficiente para compensar su auto-gravedad e inevitablemente comenzará el colapso gravitatorio.

Durante esa caída libre hacia la destrucción del núcleo estelar, tanto la presión como la densidad y temperatura aumentan hasta alcanzar valores descomunales. Esas enormes presiones y temperaturas deberían inhibir parcialmente el colapso, pero en estas condiciones extremas empiezan a producirse fotodisociaciones de átomos de hierro y capturas de electrones que, justamente al contrario, catalizan de manera muy eficiente el colapso gravitatorio. Todo este proceso de colapso ocurre en un tiempo del orden de 1 segundo.

La fotodisociación del hierro es un proceso mediante el cual los fotones suficientemente energéticos rompen todos los núcleos atómicos en protones, neutrones y partículas α . Esto empieza a ocurrir a temperaturas del orden de $10^9 - 10^{10}$ K. Dado que éste es un proceso endotérmico, las fotodi-

¹ Cuando se sobrepasa la masa de Chandrasekhar, la presión de degeneración de los electrones, debida al Principio de Exclusión de Pauli y al limitado espacio físico de estas partículas, no es capaz de soportar la fuerza gravitatoria generada por la propia masa.

sociaciones del hierro enfrían el núcleo estelar, acelerando por lo tanto el colapso.

Las capturas de electrones se deben a los protones (ya sean libres, en núcleos atómicos o en partículas α), que se asocian con electrones para formar neutrones. Esto produce un déficit de electrones en el núcleo colapsante que disminuye la presión de degeneración y acelera, más aún, el colapso gravitatorio del núcleo. Además, este colapso continuado incrementa la energía de Fermi de los electrones (al haber menos espacio fásico), lo cual favorece nuevas capturas de electrones, dado que hay una mayor sección eficaz para estos procesos. La captura de electrones también libera una enorme cantidad de neutrinos, una fracción de los cuales acaba escapando del núcleo colapsante.

Cuando la densidad en la parte interna del núcleo colapsante sobrepasa los $\sim 3 \times 10^9 \text{ gr cm}^{-3}$ [S94], la sección eficaz de dispersión de neutrinos es ya suficientemente alta como para impedir que éstos escapen del núcleo en un tiempo inferior a la duración del colapso gravitatorio. Empieza a

formarse entonces un mar de neutrinos en el interior del núcleo, conocido como neutrinosfera, que puede eventualmente frenar las capturas electrónicas cuando se llegue a la degeneración de los neutrinos. Estos neutrinos acabarán escapando del núcleo de manera explosiva, llevándose consigo la práctica totalidad de la energía de la supernova (del orden de 10^{53} erg).

Hidrodinámicamente, el núcleo colapsante puede dividirse en dos partes bien diferenciadas. La parte más interna (y en la que las condiciones termodinámicas son más extremas) colapsa de manera subsónica y homóloga (i.e., velocidad proporcional al radio); la parte más externa colapsa supersónica y aceleradamente [Y83]. Llega un momento en que la densidad de la parte interna del núcleo se acerca a las densidades típicas de los núcleos atómicos. En ese momento, el potencial nuclear fuerte (enormemente repulsivo a escalas nucleares) frena súbitamente el colapso del núcleo interno. La parte más externa del núcleo en colapso se encuentra entonces con un núcleo interno rígido, contra el que rebota de forma extremadamente vio-

lenta². En un tiempo del orden de una milésima de segundo [Y83], se forma una onda de choque muy energética que empieza a barrer todo el material estelar, desde las capas más externas del núcleo colapsante (y, a su vez, más internas de la estrella) hasta las capas más externas de la estrella.

Sin embargo, hay problemas en la modelización teórica de la expansión de esta onda de choque. En principio, al llegar a la parte más externa del núcleo colapsante, gran parte de la energía de esta onda debería perderse al producir las fotodisociaciones de los átomos que aún se encontrasen en la zona [M90]. Además, los protones libres tienen una mayor sección eficaz de captura de electrones, por lo que las fotodisociaciones deberían aumentar las capturas electrónicas, disminuyendo esto la presión de degeneración en la región del choque. Por estas razones, el choque debería perder gran parte de su energía antes de llegar a las capas externas del astro, algo contrario a las observaciones.

Quizás la enorme cantidad de neutrinos atrapados en la zona haga que el choque sobreviva a su

² El lector puede producir un rebote cualitativamente similar a éste dejando caer al suelo un vaso de plástico lleno de agua. Cuando el vaso choque contra el suelo, el agua saldrá disparada hacia arriba a gran velocidad.

expansión en el núcleo [BW85] [S94]. Los neutrinos podrían alimentar al choque mediante procesos de absorción por neutrones (lo cual produciría protones y electrones), así como de aniquilación (lo cual produciría pares electrón-positrón) y de dispersión con electrones. Aunque es una posibilidad bastante plausible, cabe decir que el recalentamiento del choque en virtud del transporte de neutrinos es un proceso que aún no está bien entendido teóricamente. Además, algún otro mecanismo, como el calentamiento del choque por ondas acústicas, podría también ayudar a producir la explosión supernova [B07].

La onda de choque generada en el rebote acaba finalmente barriendo todo el material estelar, produciendo multitud de elementos (radiactivos algunos de ellos) mientras la temperatura del choque lo permita ($T > 2 \times 10^9$ K) [A89]. Este proceso se conoce como *nucleosíntesis explosiva*. Cuando el choque llega hasta la superficie de la estrella, todos los materiales chocados se expanden contra el medio circunestelar a velocidades del orden de decenas de miles de km/seg.

El destino del núcleo colapsante dependerá de su masa.

Si ésta sobrepasa el llamado Límite de Tolman-Oppenheimer-Volkoff³, entre 2 y 3 masas solares (e.g. [V96]), la presión de degeneración de los neutrones que forman el núcleo tras todas las capturas electrónicas no será suficiente para vencer a la gravedad, por lo que el colapso continuará hasta formar una singularidad en el espacio-tiempo: un agujero negro. En el caso de que no se supere este límite, el núcleo se estabilizará tras la explosión supernova, formándose una estrella de neutrones. Ésta es una versión simplificada de lo que puede ocurrir realmente. El núcleo colapsante podría quizás pasar por toda una serie de fases antes del colapso gravitatorio final. El limitado espacio fásico del mar de Fermi de neutrones podría dotar a éstos de energía suficiente para generar mares de Fermi de otras partículas, incluso exóticas, y podría llegar un momento en el que, a energías suficientemente altas, la aproximación de partones fuese aplicable y el astro se convirtiese en una *sopa de quarks*.

En las supernovas de tipo II, las líneas espectrales del hidrógeno se producirían cuando el material eyectado llegase a la capa más externa de la estrella, donde se encuentra el elemento más ligero de todos cuanto forman el astro: el hidrógeno. Las supernovas de tipo II-P se producirían cuando la envoltura de hidrógeno de la estrella fuese muy extensa, con una masa del orden de varias masas solares. Este enorme conglomerado de hidrógeno tardaría varios meses en enfriarse, dando esto origen al “plateau” observado en las curvas de luz de este tipo de supernovas.

Las supernovas tipo Ib (en las que no se observan líneas del hidrógeno) y Ic (en las que tampoco se observan líneas del helio) ocurrirían, entonces, en sistemas binarios en los que la estrella compañera hubiera robado por acrecimiento el material de las capas más externas de la estrella colapsante, o bien en estrellas cuyo viento solar fuera lo suficientemente grande como para poder lanzar las capas externas del astro al medio interestelar antes de la explosión.

³ Esencialmente, este límite es análogo al de Chandrasekhar, con la diferencia de que en esta ocasión son los neutrones los que generan la presión de degeneración.

4. Radioemisión en supernovas

Las supernovas de colapso nuclear son las únicas en las que se ha detectado emisión en radio y, de hecho, son también las únicas en las que tal emisión puede detectarse, según los modelos teóricos. La emisión en banda radio procedente de estas supernovas es un fenómeno ocasional. De hecho, en los últimos 20 años sólo se ha detectado radioemisión en poco más de 20 casos, de entre un total de más de cien supernovas observadas [W02].

En el caso afortunado de que se produzca emisión en radio, tenemos la oportunidad de conocer los detalles íntimos de la estructura del material eyectado de la supernova, así como del medio circunestelar que el viento solar de la estrella generó en su etapa pre-supernova.

La manera en la que podemos estudiar el material eyectado y el medio circunestelar en base al estudio pormenorizado de la radioemisión en supernovas es mediante el llamado *modelo de Chevalier* [C82a] [C82b], también conocido como modelo estándar de emisión de supernovas. En la siguiente sección presentamos este modelo.

4.1. El modelo de Chevalier

El modelo de Chevalier relaciona la estructura y la evolución de la radioemisión de una supernova con los parámetros de la modelización hidrodinámica de la interacción de los materiales eyectados con el medio circunestelar.

El modelo hidrodinámico usado por Chevalier describe la expansión del material eyectado (se supone simetría esférica) como un choque compuesto por una discontinuidad de contacto (que separa físicamente al material eyectado del medio circunestelar) y dos ondas de choque que se alejan de la discontinuidad de contacto en sentidos opuestos; una de las ondas choca al medio circunestelar (es el llamado choque frontal o *forward shock*) y la otra onda choca al material eyectado (es el llamado choque retrocedente o *reverse shock*). Mostramos un esquema de este modelo hidrodinámico de interacción en la Figura 1.

Puede demostrarse que la evolución de un choque de este tipo es autosimilar, siempre que la densidad del medio circunestelar esté estructurada radialmente en la forma $\rho_{CS} \propto r^s$ (con $s = 2$ en el modelo original de Chevalier) y en la región cercana a la discontinuidad de contacto el material eyecta-

do tenga una distribución radial de densidad del tipo $\rho_{ej} \propto r^n$. En estas condiciones, y suponiendo que $n > 5$ y $s < 3$, la expansión se rige por la ley $R(t) \propto t^m$, donde m es el llamado *parámetro de expansión* y depende de n y s . Este parámetro está definido entre $2/5$ (máxima desaceleración manteniendo autosimilitud) y 1 (caso límite con expansión libre). Para todos los valores intermedios de m , la expansión es desacelerada.

En la zona circunestelar chocada, que es unas 4 veces más densa que el medio circunestelar, pueden alcanzarse temperaturas del orden de 10^9 K. Por contra, la zona chocada del material eyectado, centenares de veces más densa que la circunestelar, es más fría (temperaturas del orden de $10^6 - 10^7$ K) y decenas de veces más estrecha. Es en la zona chocada del material eyectado donde eventualmente podría producirse emisión en el óptico, UV e incluso rayos X, siempre que la opacidad de los materiales chocados lo permita. Esto depende del valor de n . A mayor n (es decir, distribución radial de densidad más abrupta) menor enfriamiento radiativo de la región chocada y, por lo tanto, menor opacidad y más misión procedente del choque

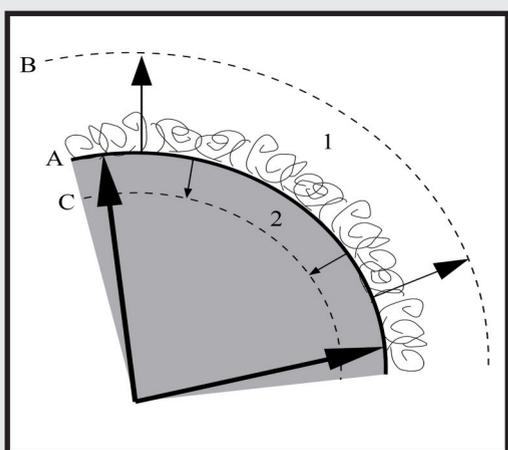


Figura 1: Esquema del modelo de Chevalier. La zona sombreada corresponde al material eyectado. La región 1 es la zona circunestelar chocada (donde se produce la radioemisión) y las líneas irregulares representan las inestabilidades de Rayleigh-Taylor. La región 2 corresponde a la zona chocada del material eyectado. La línea A es la discontinuidad de contacto y las líneas B y C son el choque frontal y el choque retrocedente, respectivamente. Las flechas indican, a nivel cualitativo, los sentidos y módulos de las velocidades de las distintas fuentes de choque.

retrocedente. La emisión en radio proviene no obstante de la zona circunestelar chocada, como explicamos a continuación.

Debido a la desaceleración de la discontinuidad de contacto, parte de estos materiales se introduce en el medio circunestelar, liberándose energía en forma de turbulencias. Esto es debido a que la densidad del material eyectado es muy superior a la del medio circunestelar. El tipo de turbulencias generadas bajo estas condiciones recibe el nombre de turbulencias de Rayleigh-Taylor⁴. En virtud de ciertos procesos magneto-hidrodinámicos, los campos magnéticos del medio circunestelar pueden amplificarse notablemente (más de dos o tres órdenes de magnitud, hasta llegar al orden de 1 Gauss) en las zonas turbulentas, debido a las vorticidades generadas en el plasma. Los campos magnéticos

turbulentos, tanto en el choque frontal como en las vecindades de la discontinuidad de contacto, pueden acelerar netamente a los electrones del medio circunestelar por medio de colisiones y resonancias (Efecto Fermi Estadístico; e.g. [P70]), pasando éstos a adquirir energías relativistas.

Estos ingredientes (campos magnéticos amplificados del orden de una fracción importante de Gauss y una población de electrones relativistas en la zona) son los necesarios y suficientes para que se produzca emisión sincrotrón en la región del medio circunestelar chocado [C82b]. En resumen, según el modelo de Chevalier, éste sería el origen de la radioemisión observada en las supernovas: radiación de tipo sincrotrón producida por la interacción de electrones relativistas del medio circunestelar chocado con campos

magnéticos amplificados por turbulencias Rayleigh-Taylor. La intensidad de los campos magnéticos amplificados, así como la densidad de población de electrones relativistas, escalan en correspondencia con las variables hidrodinámicas del choque en expansión, dado que el tiempo característico de los procesos involucrados en la radioemisión es mucho más corto que el tiempo característico de evolución hidrodinámica del choque.

Aunque el modelo de Chevalier es capaz de reproducir bastante bien las curvas de luz de la mayoría de las radiosupernovas observadas, aún quedan por esclarecer multitud de detalles con respecto al origen de la radioemisión. Por ejemplo, es del todo desconocida la distribución de brillo dentro del medio circunestelar chocado, o incluso si la emisión tiene lugar

⁴ El flujo turbulento producido por una gota de aceite al caer (y empezar a desacelerar) dentro de un vaso de agua sería un ejemplo de este tipo de fenómenos turbulentos.



cerca de la discontinuidad de contacto o más bien en la zona del choque frontal. Para esclarecer estos puntos harán falta muchas más observaciones de jóvenes radiosupernovas a alta resolución angular y, a ser posible, con una alta relación señal-ruido. Esto es prácticamente imposible en la actualidad, dado el relativamente bajo brillo de este tipo de fuentes (el flujo registrado en los radiotelescopios suele del orden de 1 mJy^5), así como las distancias extragalácticas que nos separan de ellas (en nuestra galaxia aún no se ha detectado ninguna supernova desde hace más de 400 años).

5. El caso especial de SN 1993J

La supernova SN 1993J fue descubierta por Francisco García, astrónomo aficionado de Lugo, el 28 de Marzo de 1993 [R93] en la galaxia M81, a unos 11 millones de años-luz de la Tierra. Ni sus espectros ni su curva de luz permitieron encasillarla en la clasificación de tipos I y II hasta entonces aceptada.

Un par de semanas después del primer máximo en la curva de luz, se detectó un segundo máximo, seguido de una monótona caída del brillo⁶. Además, el espectro de emisión tras los primeros días de la explosión se correspondía claramente con una supernova de tipo II, dadas las intensas líneas del hidrógeno que se observaron. No obstante, tiempo después, las líneas del hidrógeno desaparecieron, siendo sustituidas por otras intensas líneas correspondientes al helio.

Este nuevo tipo de comportamiento en la evolución de una supernova fue el que hizo que SN 1993J fuese catalogada como una supernova de **tipo IIb**, ya que pasó de ser una supernova de tipo II a “convertirse” en una de tipo Ib⁷.

El escenario físico donde se cree que tuvo lugar esta supernova es un sistema binario en el que la estrella que explotó perdió gran parte de su envoltura de hidrógeno por acrecimiento de su compa-

ñera (e.g. [FMH93]). En el año 2004, esta teoría recibió un espaldarazo con el descubrimiento de la estrella compañera de la precursora de SN 1993J [M04]. La presencia de una estrella compañera, que robó por acrecimiento la práctica totalidad de la capa de hidrógeno, permitió explicar la transición de emisión de líneas de hidrógeno a líneas de helio, dado el rápido enfriamiento de la fina capa de hidrógeno tras el paso de la onda de choque. Este rápido enfriamiento sería también el responsable de la aparición del primer pico de brillo en la curva de luz. El segundo pico sería producido por la radiación proveniente de níquel radiactivo, creado a partir del hierro durante la explosión supernova.

5.1. Estudio de la radioemisión de SN 1993J

Varias son las razones que hacen de SN 1993J un caso único. Hasta la fecha, ha sido la más intensa, con un pico de brillo de unos 100 mJy (dos órdenes de magnitud por encima de los típicos brillos máxi-

⁵ El Jy es la unidad típica de densidad de flujo (i.e., potencia por unidad de superficie y frecuencia) usada en Radioastronomía, y corresponde a $10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$.

⁶ Un comportamiento similar a éste (una curva de luz con dos máximos) sólo se había observado una vez, en SN1987A, aunque la evolución de SN1993J entre los dos máximos fue unas cuatro veces más rápida que en SN1987A [RSS93].

⁷ Si bien la primera supernova en la que se observó esta metamorfosis entre tipo II y tipo Ib fue SN1987K [FMH88], la supernova SN1993J fue la primera de este tipo en la que se observaron dos máximos en la curva de luz, algo característico de las supernovas IIb. En el caso de SN1987K, la falta de mediciones de luminosidad suficientemente tempranas impidió seguramente la detección del primer máximo.

mos observados en otras supernovas). Además, su situación en el cielo (M81 es circumpolar para la mayoría de los grandes radiotelescopios del Hemisferio Norte) la convirtió en un objetivo ideal para las observaciones en banda radio. La relativa cercanía de M81 también hizo que la estructura de SN 1993J fuese fácilmente detectable con la técnica VLBI, con la que las señales de muchos radiotelescopios a lo largo y ancho del planeta se combinan para sintetizar un único instrumento de observación, con una resolución angular del orden del milisegundo de arco.

Estas características, combinadas, permitieron que por primera vez pudiera observarse directamente la forma y la expansión de los materiales expelidos en una explosión supernova. Un grupo internacional liderado desde la Universitat de València, obtuvo la primera imagen de tipo corteza esférica de esta supernova [M95a], tal y como predecía el modelo de Chevalier, y mostró la primera *película* de su expansión [M95b], a partir de la cuál pudo estudiarse la autosimili-

tud y la desaceleración de la estructura en expansión de acuerdo con las predicciones del modelo de Chevalier⁸. En la Figura 2 mostramos una tira de imágenes de SN 1993J, en la que puede observarse la expansión de la radioestructura durante el primer año y medio tras la explosión.

Posteriormente, otro grupo internacional liderado desde la Universidad de York, en Canadá, corroboró estos hallazgos [B02] [BBR03] y extendió su estudio al análisis de posibles cambios en el índice de expansión m (hasta 4 índices distintos fueron reportados por estos autores), debidos posiblemente a cambios en la historia del viento estelar de la estrella precursora de SN 1993J. En efecto, tales cambios en m se podrían traducir a cambios en el perfil de densidad del medio circunestelar contra el que se expande el choque, por lo que el estudio de la expansión de SN 1993J podría usarse para estudiar la evolución de la tasa de pérdida de masa y del viento estelar de la estrella precursora a lo largo de miles de años.

No obstante, en una investigación más reciente [M08] [M09] [M09a] encontramos importantes discrepancias con los principales resultados de este grupo. Según nuestros análisis, la expansión de la supernova ocurre a ritmos distintos para distintas frecuencias.

Esto es, tanto el tamaño como la velocidad de expansión dependen de la frecuencia de observación. Puesto que el otro grupo incorporó los datos de la supernova a todas las frecuencias disponibles en un único ajuste, esto pudo traducirse en una artificiosa complejidad en la curva de expansión. Si el análisis de la expansión se hace de forma separada para cada frecuencia de observación, las curvas de expansión resultantes son más sencillas. De hecho, según nuestro modelo [M09], la expansión de la supernova, al menos durante la primera década tras la explosión, puede describirse en base a un único índice m^9 . Los distintos ritmos de expansión observados a distintas frecuencias podrían entonces explicarse en base a distintos efectos físicos e instrumen-

⁸ El lector puede encontrar una versión actualizada de esta película en la dirección <http://www.uv.es/radioastronomia/radiosupernovas>

⁹ Tras un análisis más minucioso de todas las observaciones de VLBI disponibles de esta supernova, las nuestras y las del otro grupo reanalizadas, llegamos a la conclusión de que durante los primeros 400 días tras la explosión, la supernova se expandía casi libremente, con $m = 0.93$, tras lo cuál el índice m decreció hasta su valor definitivo ($m = 0.87$).

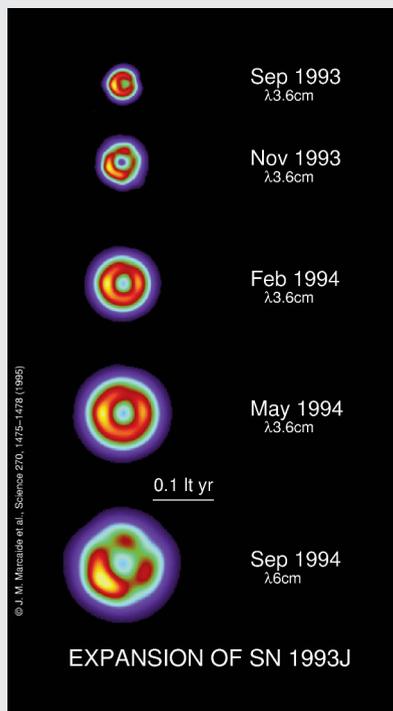


Figura 2: Tira de imágenes de VLBI de SN 1993J a lo largo del primer año y medio tras la explosión.

tales [M09] [M09a] que se pueden resumir como:

- Una paulatina disminución de la opacidad (asimismo, dependiente de la frecuencia) de los eyecta a la radioemisión procedente de la cara oculta de la radioestructura.
- Una disminución de la intensidad de los campos magnéticos en función de la distancia a la discontinuidad de contacto, combinada con la sensibilidad finita de los interferómetros usados en las observaciones.

Estos efectos podrían explicar las anomalías espectrales encontradas

en la curva de expansión, así como también las anomalías encontradas en las curvas de luz en radio. En una publicación reciente [W07], un grupo liderado desde el Naval Research Laboratory en EEUU, reportó un conjunto muy completo de curvas de luz en radio, cubriendo la banda desde 300 MHz hasta 90 GHz. Estas curvas de luz pudieron ajustarse satisfactoriamente a un modelo analítico relativamente sencillo [W02], basado en el modelo de Chevalier. No obstante, algunos efectos encontrados en las curvas de luz, como un ligero incremento de la emisión a frecuencias altas a partir del día 1500 tras la explosión, o una súbita caída de brillo a partir del día 3100, quedaron sin una explicación satisfactoria. De acuerdo a nuestro modelo de radio emisión, implementado en un elaborado software de simulación de la evolución de los electrones relativistas en el choque en expansión [M08] [M09b], los efectos físicos listados anteriormente podrían explicar también las anomalías encontradas en las curvas de luz. Por una parte, la disminución de la opacidad originaría el incremento de brillo a partir del día 1500; por otra parte, la caída radial del campo magnético, unida a una súbita disminución de la densidad del medio circun-

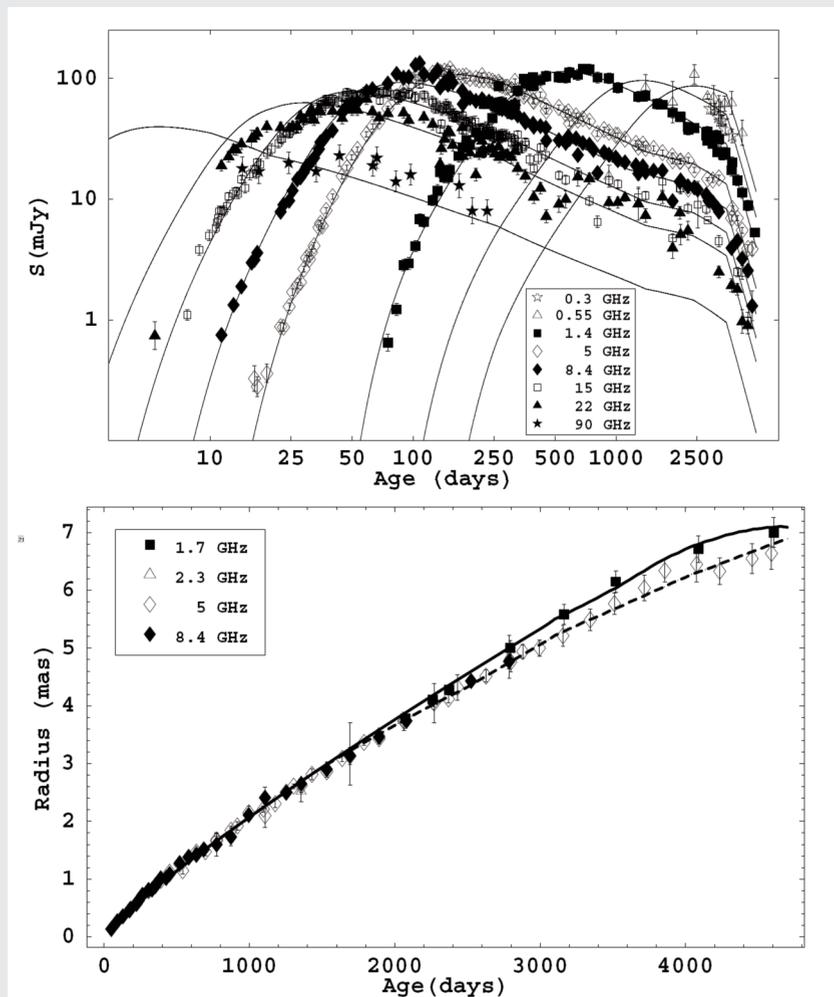
telar a partir del día 3100, explicarían el resto de efectos encontrados tanto en la curva de expansión como en la evolución del brillo de la supernova. En la Figura 3 mostramos el ajuste simultáneo de nuestro software a las curvas de luz y a la curva de expansión de SN 1993J.

A todo esto hay que añadir que nuestro software modela todos los datos suponiendo $s = 2$, es decir, un viento estelar y una tasa de pérdida de masa constante para la estrella precursora. Esto confirma los resultados reportados por otros autores [FB98], aunque también entra en conflicto con las fuertes evidencias en favor de $s \sim 1.6 - 1.7$ obtenidas a partir del análisis de las curvas de luz en radio tempranas y de la evolución de los rayos X [FLC96] [IAW01]. Permanece por lo tanto abierta la incógnita sobre el verdadero valor de s , que tiene su importancia, ya que marca el comportamiento de los vientos estelares de la estrella precursora en su etapa de supergigante. Los vientos estelares en supergigantes es algo de lo que aún no se tiene información observacional detallada.

6. Conclusiones

La emisión en banda radio ocurre de forma ocasional en las explosiones supernova. En el caso de que tal emisión se detecte, puede extraerse información detallada de la hidrodinámica del choque en expansión, así como de los perfiles de densidad de los materiales eyectados en la explosión y del medio circunestelar [C82a] [C82b].

De entre todas las supernovas detectadas en banda radio (del orden de unas pocas decenas), SN 1993J es el mejor caso de estudio. Su inusual brillo, relativa proximidad y ventajosa posición en el cielo, permitieron la observación detallada de su estructura en expansión, así como un intenso monitoreo de la evolución de su brillo a varias frecuencias. Gracias a esto, se dispone de un conjunto detallado de curvas de luz y de una completa curva de expansión que abarca más de una década. Varias predicciones del modelo estándar de radio emisión de supernovas pudieron chequearse gracias a la buena calidad de las observaciones de VLBI obtenidas durante los primeros años tras la explosión. En concreto, se encontró la estructura de tipo corteza esférica [M95a] y se determinó su expansión autosimilar y desacelerada [M95b].



Diversos son los modelos que se han ajustado a las curvas de luz de SN 1993J (e.g. [FLC96], [FB98], [W07]), así como a la curva de expansión (e.g. [B02],

[M09]), todos ellos basados en análisis de conjuntos parciales de datos. Por primera vez, hemos realizado un análisis completo de todos los datos disponibles de esta supernova en banda radio, ajustando de forma simultánea la curva de expansión y las curvas de luz. Para ello, hemos creado un nuevo software que modela la emisión de supernovas en banda radio en base

Figura 3: Ajuste simultáneo de las curvas de luz (arriba) y de la curva de expansión (abajo) de SN 1993J, usando un nuevo software de simulación de la radio emisión de supernovas [M08] [M09b]. En esta figura se muestran los resultados correspondientes a todos los datos disponibles de SN1993J en banda radio.

al modelo estándar de radio emisión de supernovas. No obstante, hemos tenido que incorporar nuevos efectos al modelo para poder ajustar satisfactoriamente todos los datos de SN 1993J.

A partir de nuestro ajuste simultáneo, concluimos que la expansión de la supernova tuvo lugar en un medio circunestelar descrito por un índice de estructura $s=2$, al menos hasta el día 3100 tras la explosión (unos 8000 años en términos de la historia de pérdida de masa de la estrella precursora), lo que implica un viento estelar constante de la estrella precursora. Nuestro modelo también considera el efecto de la opacidad de los materiales eyectados a la radioemisión procedente de la cara oculta de la supernova. Según nuestro modelado, la opacidad fue del 100% para todas las frecuencias hasta el día ~ 1500 , cuando empezó a disminuir para todas las frecuencias superiores a 1.7 GHz. Estos efectos de opacidad permiten explicar simultáneamente ciertos efectos sistemáticos encontrados en las curvas de luz y en la curva de expansión. Un campo magnético dependiente de la distancia a la discontinuidad de contacto, combinado con la sensibilidad finita de los interferómetros usados en las observaciones, también ayuda a explicar los efectos sistemáticos en los datos correspondientes a la etapa más tardía de la expansión.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado con el proyecto AYA2009-13036-C02 de DGICYT y Prometeo/2009/104 de la Generalitat Valenciana. IMV es becario postdoctoral de la Fundación Alexander von Humboldt.

Referencias

- [A89] Arnett, W. D., Bahcall, J. N., Kirshner, R. P. & Woosley, S. E. 1989, *A&A*, 27, 269
- [B95] Baron, E., Hauschildt, P. H., Branch, D., Austin, S., Garnavich, P., Ann, H. B., Wagner, R. M., Filippenko, A. V., Matheson, T. & Liebert, J. 1995, *ApJ*, 441, 170
- [B02] Bartel, N., Bietenholz, M. F., Rupen, M., Beasley, A. J., Graham, D. A., Altunin, V. I., Venturi, T., Umana, G., Cannon, W. H. & Conway, J. E. 2002, *ApJ*, 581, 404
- [BBR03] Bietenholz, M. F., Bartel, N. & Rupen, M. P. 2003, *ApJ*, 597, 374
- [BW85] Bethe, H. A. & Wilson, J. R. 1985, *ApJ*, 295, 14
- [B07] Burrows, A., Livne, E., Dessart, L., Ott, C. D., & Murphy, J. 2007, *ApJ*, 655, 416
- [C82a] Chevalier, R. A. 1982a, *ApJ*, 259, 302
- [C82b] Chevalier, R. A. 1982b, *ApJ*, 258, 790
- [FMH88] Filippenko, A. V., Matheson, T. & Ho, L. C. 1988, *AJ*, 96, 1941
- [FMH93] Filippenko, A. V., Matheson, T. & Ho, L. C. 1993, *ApJ*, 415, L103
- [FLC96] Fransson, C., Lundqvist, P. & Chevalier, R. A. 1996, *ApJ*, 461, 993
- [FB98] Fransson, C. & Björnsson,

- C.-I. 1998, *ApJ*, 509, 861
- [IAW01] Immler, S., Aschenbach, B., & Wang, Q. D. 2001, *ApJ*, 561, L107
- [M04] Maund, J. R., Smartt, S. J., Kudritzki, R. P., Podsiadlowski, P. & Gilmore, G. F. 2004, *Nature*, 427, 129
- [M95a] Marcaide, J. M., Alberdi, A., Ros, E., Diamond, P., Schmidt, B., Shapiro, I. I., Baath, L., Davis, R. J., de Bruyn, A. G., Elósegui, P., Guirado, J. C., Jones, D. L., Krichbaum, T. P., Mantovani, F., Preston, R. A., Ratner, M. I., Ruis, A., Rogers, A. E. E., Schilizzi, R. T., Trigilio, C., Whitney, A. R., Witzel, A. & Zensus, A. 1995a, *Nature*, 373, 44
- [M95b] Marcaide, J. M., Alberdi, A., Ros, E., Diamond, P., Shapiro, I. I., Guirado, J. C., Jones, D. L., Krichbaum, T. P., Mantovani, F., Preston, R. A., Rius, A., Schilizzi, R. T., Trigilio, C., Whitney, A. R. & Witzel, A. 1995b, *Science*, 270, 1475
- [M09] Marcaide, J. M., Martí-Vidal, I., Alberdi, A., Pérez-Torres, M. A., Ros, E., Diamond, P. J., Guirado, J. C., Lara, L., Shapiro, I. I., Stockdale, C. J., Weiler, K.W., Mantovani, F., Preston, R. A., Schilizzi, R. T., Sramek, R. A., Trigilio, C., Van Dyk, S. D. & Whitney, A. R. (2009), *A&A*, en prensa (ArXiv:0903:3833v3)
- [M08] Martí-Vidal I. 2008, PhD. Thesis, Universitat de València (Spain)
- [M09a] Martí-Vidal I., Marcaide, J. M., Alberdi A., Guirado, J. C., Pérez-Torres M. A., Ros, E. 2009, *A&A*, enviado
- [M09b] Martí-Vidal I., Marcaide, J. M., Alberdi A., Guirado, J. C., Pérez-Torres M. A., Ros, E. 2009, *A&A*, en preparación
- [M90] Myra, E. S. & Burrows, A. 1990, *ApJ*, 364, 222
- [P70] Pacholczyk, A. G. (1970), *Radio Astrophysics*, Freeman, San Francisco
- [RSS93] Ray, A., Singh, K. P. & Sutaria, F. K. 1993, *JAA*, 14, 53
- [R93] Ripero, J., García, F., Rodríguez, D., Pujol, P., Filippenko, A. V., Treffers, R. R., Paik, Y., Davis, M., Schlegel, D., Hartwick, F. D. A., Balam, D. D., Zurek, D., Robb, R. M., Garnavich, P. & Hong, B. A. 1993, *LAUC*, 5731, 1
- [S94] Suzuki, A. 1994, en *Physics and Astrophysics of Neutrinos*, Springer-Verlag, New York
- [V94] Van Dyk, S., Weiler, K. W., Sramek, R. A., Rupen, M. & Panagia, N. 1994, *ApJ*, 432, 115
- [V96] Vassiliki, K. & Gordon, B. 1996, *ApJ*, 470, 61
- [W02] Weiler, K. W., Panagia, N., Montes, M. J. & Sramek, R. A. 2002, *ARA&A*, 40, 387
- [W07] Weiler, K. W., Williams, C. L., Panagia, N., Stockdale, C. J., Kelley, M. T., Sramek, R. A., Van Dyk, S. D., & Marcaide, J. M. 2007, *ApJ*, 671, 1959
- [Y83] Yahil, A. 1983, *ApJ*, 265, 1047

