

BOLETÍN DE LA SEA

Editores

Iñigo Arregui Uribe-Echevarría
Nicolás Cardiel López
Xavier Luri Carrascoso
Belén López Martí
Ignasi Ribas Canudas
Jaime Zamorano Calvo

Portada

Benjamín Montesinos Comino

Comité editorial

Agustín Sánchez Lavega
Antonio Alberdi Odriozola
Fernando Moreno Inertis
Rafael Rebolo López
Jaime Zamorano Calvo

Sociedad Española de Astronomía SEA

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

Comisión de información

comi-info@sea.am.ub.es

Ad astra per aspera



En nuestro trabajo de editores del boletín nos encontramos a veces con que algunos números cuestan de llenar, pero éste no es el caso del que tenéis entre manos. Hemos llegado a 48 páginas casi sin proponérselo.

En este número incluimos la triste noticia del fallecimiento de dos conocidos astrónomos: Juan José de Orús Navarro y Willem Wamsteker. En sus obituarios podéis encontrar una perspectiva de sus vidas y obras. Afortunadamente, también tenemos ocasión de incluir mejores noticias, como la casi concluida integración de España en ESO y la buena marcha de las obras del GTC.

También os presentamos un resumen del informe CRECE (Comisiones de Reflexión y Estudio de la Ciencia en España) elaborado por encargo de la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España), de la cual la SEA forma parte. Este estudio, elaborado por un grupo de 54 expertos, recoge propuestas de mejora en la ciencia y tecnología en España con el ánimo de acercarnos a un *“sistema nacional estable e independiente, dotado de competitividad, potenciador de la I+D y motor de una economía basada en el conocimiento”*. Una iniciativa sin duda imprescindible para mejorar el estado de la ciencia en España.

Siguiendo con nuestra serie dedicada a centros de divulgación de la astronomía, dedicamos un artículo a la ciudad de las artes y las ciencias de Valencia. Así mismo, incluimos una contribución sobre la primera red CCD de todo el cielo para registrar bólidos y recuperar meteoritos, la habitual recopilación de reseñas de tesis doctorales y, como eje central del boletín, un magnífico artículo sobre la arqueoastronomía.

Para concluir, quisiéramos recordaros que durante el año 2006 se va a celebrar en Barcelona la VII asamblea científica de la SEA a la cual os invitamos a asistir. Podéis encontrar más información justo debajo de esta editorial.

Saludos cordiales.

Los editores

VII reunión científica de la SEA 2006

Barcelona, del martes 12 al viernes 15 de septiembre de 2006

Han transcurrido quince años desde la fundación en Barcelona de la Sociedad Española de Astronomía (SEA), una sociedad científica hoy totalmente consolidada y cuyo objetivo era y sigue siendo contribuir al desarrollo de la astronomía en España. En este año 2006 la SEA vuelve a reunirse en su ciudad de nacimiento para celebrar su VII asamblea científica. Será un momento de efervescencia para la comunidad astronómica española. Más que nunca, es oportuno un encuentro que permita compartir y debatir proyectos, dar a conocer nuevas ideas o necesidades, intercambiar opiniones y conocimientos que permitan establecer nuevas colaboraciones científicas y, en definitiva, fortalecer la astronomía de nuestro país ante los retos de un futuro muy prometedor.

Esta asamblea dedicará un sesión plenaria a la integración de España en ESO y las nuevas perspectivas que conllevará esta situación. Otra sesión tratará del Grantecan y de su instrumentación. Se pretende también dedicar una atención especial a la colaboración con los físicos de altas energías en diferentes facetas de la astrofísica. Las contribuciones científicas se agruparán en varias sesiones paralelas dedicadas a los bloques temáticos.

El SOC y el LOC quieren animar a todos los miembros de la comunidad astronómica de este país a participar activamente en esta reunión científica.

Para más información véase: <http://sea.am.ub.es/reunion/>

La imagen que ilustra la portada es el bien conocido calendario azteca, civilización que pobló México desde el siglo XII hasta aproximadamente 1520. El artículo de Juan Antonio Belmonte que aparece en este número nos introduce en el fascinante área de la Arqueoastronomía, una disciplina, como el autor apunta, que no sólo tiene un interés puramente astronómico sino también social, antropológico y arqueológico.

JUAN JOSÉ DE ORÚS NAVARRO (1921-2005)

IMPULSOR DE LA ASTRONOMÍA



El Dr. Orús al piano el día de su homenaje en octubre de 1987

El pasado 11 de septiembre de 2005 recibimos la triste noticia del fallecimiento de nuestro maestro Juan José de Orús, al que todos conocíamos como “el Dr. Orús”. Aunque la noticia no nos sorprendió, dado que contaba con 84 años de edad y desde hacía varios meses estaba muy delicado de salud, sentimos una gran sensación de desolación ante la desaparición de una gran persona, notable referente para la Astronomía española.

El hecho de que el Dr. Orús ocupase la Cátedra de Astronomía de la Universidad de Barcelona entre 1964 y su jubilación (anticipada a los 66 años por la LRU) en 1987 hace que prácticamente la totalidad de los actuales astrónomos numerarios de la UB y parte de los que actualmente trabajan en otros centros, hayamos sido sus discípulos directos tanto como profesor de Astronomía, como director de las tesis doctorales. Algunos, además, pudimos

disfrutar de la amistad personal de un científico que en muchos aspectos se adelantó a su tiempo.

El Dr. Orús tuvo siempre claro que el futuro de la Astronomía Española pasaba por un lado por la apertura de la Astronomía clásica matemática (era titular de la Cátedra de “Astronomía General y Topografía y Astronomía Esférica y Geodesia”) a otros ámbitos de la ciencia astronómica, por lo que impulsó decididamente el desarrollo de la Astrofísica y la Radioastronomía. Tuvo también claro que el desarrollo de la Astronomía sólo podría tener lugar si se podía contar con suficiente número de profesionales, por lo que se dedicó sistemáticamente a ampliar la plantilla de astrónomos de la UB, luchando siempre por conseguir nuevas plazas y por estabilizarlas. Tuvo, por tanto, la habilidad de formar a su alrededor varios equipos de trabajo en diversas líneas de la Física del Cosmos (Astronomía propiamente dicha, Cinemática y Dinámica Galáctica, Astrofísica y Radioastronomía), grupos que han llegado a adquirir entidad propia dentro del actual Departamento de Astronomía y Meteorología de la UB. Gracias a su esfuerzo, la Universidad de Barcelona cuenta actualmente con una de las plantillas de astrónomos profesionales estables más numerosa de nuestro país.

El Dr. Orús también se adelantó a su tiempo en aspectos personales lo cual le conllevó no pocos sinsabores, incluso en el terreno profesional, en la puritana sociedad española de los años 50. La muerte de su esposa, de la cual estaba profundamente enamorado, hace dos años le sumió en una gran tristeza.

Desde el punto de vista curricular, el Dr. Orús, después de superar el entonces Examen de Estado con Premio Extraordinario, cursó en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona las Licenciaturas en Ciencias Matemáticas y en Ciencias Físicas, graduándose en la primera, en 1946, también con Premio Extraordinario. A los cinco años, en 1951, obtuvo el Doctorado en la Universidad de Madrid (en aquel tiempo todas las tesis doctorales se debían leer en Madrid) con una tesis titulada “Contribución a la teoría de Chandrasekhar sobre la Dinámica de los Sistemas Estelares” que mereció, igualmente, la máxima calificación. La sólida estructuración de dicha tesis llamó poderosamente la atención en los ambientes de las Secciones de Matemáticas y Físicas de la Facultad de Ciencias

por la extrema concordancia entre la forma prevista para los tipos de nebulosas estudiados y los perfiles realmente observados. Por dicho trabajo le fue asignado el Premio Alfonso X el Sabio, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Posteriormente a las titulaciones en Matemáticas y en Ciencias Físicas, obtuvo el título de Perito Industrial Mecánico, así como el de Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona.

Prácticamente toda su actividad docente se desarrolló en la antigua Facultad de Ciencias y ahora Facultad de Física de la Universidad de Barcelona, primero como Ayudante, después como Profesor Adjunto por oposición y finalmente como Catedrático. El único paréntesis fue debido a que en 1960 ganó en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Oviedo, la citada cátedra de “Astronomía General y Topografía y Astronomía Esférica y Geodesia”. En 1964 pasó, por concurso de traslado, a ser titular de la cátedra de igual denominación en la Universidad de Barcelona, cátedra que desempeñó hasta su jubilación.

En enero de 1986 ingresó como Académico Numerario de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona en la sección primera (Matemáticas y Astronomía) a la que perteneció hasta su muerte. Previamente el Dr. Orús había estado ya vinculado a la Academia de Ciencias ya que durante largo tiempo, entre los años 1946 y 1960 perteneció a la plantilla del Observatorio Fabra de esta institución, donde desarrolló una intensa labor de observación astrométrica. El discurso de ingreso en la Academia versó sobre “Herschel, Músico y Astrónomo” lo cual da una idea sobre su tercera gran pasión (tras su esposa y la Astronomía): la música, ya que el Dr. Orús era un gran melómano y excelente pianista.

Dentro de la labor científica del Dr. Orús, destacan la publicación de un número importante — para la época — de trabajos pero, especialmente, la cincuentena de tesis doctorales y tesis de licen-

ciatura realizadas bajo su dirección. Sin embargo, la publicación más conocida del Dr. Orús sea, probablemente, sus “Apuntes de Astronomía”, un texto docente de Astronomía General y Astronomía Esférica. Muchos de nosotros hemos estudiado con el Tomo I de dicha obra y, actualmente, está a punto de aparecer en formato electrónico y consultable por internet gratuitamente desde cualquier parte del mundo, la obra completa (Tomos I y II). Una de las últimas cosas de las que el Dr. Orús pudo gozar en vida fue ver las pruebas en Web de dicha obra que creemos será una referencia obligada entre los textos docentes astronómicos en castellano de Astronomía Esférica.

Se puede añadir, para concretar más, que entre 1967 y 1987 fue Director del Departamento de Física de la Tierra y del Cosmos de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona, desempeñando los cargos de Presidente de la Sección de Físicas de la antigua Facultad de Ciencias y de Decano de la nueva Facultad de Física durante los años 1974 y 1975. También era miembro de la Unión Astronómica Internacional y de la Académie Internationale d’Histoire des Sciences, fue vocal de la Comisión Nacional de Astronomía y, asimismo, miembro del Consejo Asesor Científico del Max-Planck Institut für Astronomie de Heidelberg y de la Comisión de Programas del Centro Astronómico Hispano-Alemán de Calar Alto.

Permitidme acabar esta reseña con una anécdota ilustradora del respeto y aprecio que todos le dispensábamos: al Dr. Orús le gustaba ver a la gente bien vestida y siempre comentaba, graciosamente, que lo mejor de dirigir tesis doctorales era ver el día de la lectura al doctorando, por una vez, con traje y corbata. Pues bien, el día del homenaje, tras su jubilación, en 1987, los miembros del Departamento decidimos hacerle un pequeño regalo: nos pusimos todos de acuerdo para acudir a la comida con traje y, los hombres, con corbata.

Descanse en paz.

Jorge Núñez

jorge@am.ub.es

WILLEM WAMSTEKER (1942–2005)



Los editores el Boletín de la SEA nos han pedido que escribamos una pequeña nota recordando a Willem Wamsteker, fallecido el pasado día 25 de noviembre. A pesar de que sabíamos de su agravamiento en los últimos días, su muerte nos ha pillado a todos por sorpresa. Quizás fuera porque él era un luchador nato y, hasta los últimos momentos, se mostró optimista y tomó su enfermedad como uno más de los retos de su vida.

A quienes le conocieron, no es necesario recordarles su amplia carrera profesional ni su singular personalidad. No es éste ni el momento ni el lugar para una reseña biográfica o científica, pero quizás hay gente joven que sólo conocía su nombre de oídas y sólo tiene una vaga idea de sus actividades. Wi-

llem llegó a VILSPA (ahora ESAC) desde Chile a principios de los 80 y aquí se jubiló hace ahora un año.

A lo largo de estos más de veinte años Willem impulsó muchos y muy distintos proyectos. Todos ellos tienen en común dos aspectos que, creemos, han marcado sus iniciativas. Por un lado, más que de proyectos, quizás habría que hablar de retos; retos con una importante componente de innovación tecnológica e involucrando a amplios y diversos grupos investigadores. Pero cuyo objetivo final iba siempre más allá de lo puramente tecnológico o científico, llegando a un plano sociológico: una nueva manera de hacer Ciencia.

Por otro lado, Willem siempre dejó muy clara su voluntad de colaborar en el desarrollo de la Astronomía en España buscando la implicación de la comunidad astronómica española en todos estos proyectos.

Muchos de nosotros recordamos que, en los tiempos en que la infraestructura en el área de Madrid era manifiestamente mejorable, VILSPA puso a nuestra disposición sus recursos tanto técnicos como humanos. Desde su puesto de Director del Observatorio IUE, Willem promovió decididamente la presencia de estudiantes en la Estación. Gracias a ello, un gran número de Tesinas y Tesis Doctorales han sido realizadas bajo la supervisión de los astrónomos de la Agencia Espacial Europea en Villafranca.

Nosotros hemos tenido la suerte de trabajar con Willem a lo largo de muchos años, y bajo diversas circunstancias. Para él los problemas no eran sino alicientes. Recordaremos la determinación con que emprendía cada uno de los nuevos proyectos (que tantos consideraban descabellados) y la fuerza con la que transmitía su entusiasmo y con que defendía sus convicciones. Y que no hay que perder nunca el sentido del humor.

Esperemos haber aprovechado algo de sus enseñanzas.

Rosario González Riestra

Rosario.Gonzalez@sciops.esa.int

Pedro Rodríguez Pascual

Pedro.Rodriguez@sciops.esa.int

EL INFORME CRECE

Eduard Salvador

eduard@am.ub.es

El pasado mes de mayo tuvo lugar en la Moncloa la presentación oficial del informe CRECE (Comisiones de Reflexión y Estudio de la Ciencia en España), elaborado por encargo de la COSCE (Confederación de Sociedades Científicas de España) por un grupo de 54 personas de renombre en los campos de la ciencia, la política, la empresa, las finanzas, el periodismo y la divulgación científica, en el que se recogen propuestas de mejora en la ciencia y tecnología en España con el ánimo de acercarnos a un *“sistema nacional estable e independiente, dotado de competitividad, potenciador de la I+D y motor de una economía basada en el conocimiento”*. El trabajo aborda cinco aspectos de gran calado: “estructuras e instrumentos de la política científica”, “recursos humanos en la investigación”, “ciencia y empresa”, “España en Europa” y “ciencia y sociedad”, abordados por otras tantas ponencias presididas respectivamente por Andreu Mas-Colell, Catedrático de Economía y ex-Conseller de la Generalitat de Catalunya en Ciencia y Tecnología y Sociedad de la Información, Luis Oro, Catedrático de Química Inorgánica y ex-Secretario de Estado de Ciencia y Tecnología, Amparo Moraleda, Presidenta de IBM España y Portugal, Federico Mayor Zaragoza, Catedrático de Bioquímica y Biología Molecular y ex-Presidente de UNESCO, y Rafael Pardo, Profesor de Investigación del CSIC y Director de la Fundación BBVA. Con la presente reseña no pretendo tanto informar acerca de la elaboración de dicho informe como animar a todo el mundo a consultarlo en las páginas web de la COSCE — a las que se accede fácilmente desde el portal de la SEA: <http://sea.am.ub.es> — y, lo que es más importante, a opinar sobre el mismo, criticarlo, proponer cambios y mejoras, etc, utilizando el espacio preparado a tal fin en esas mismas páginas.

Es importante que los astrónomos manifestemos en bloque nuestra opinión al respecto en primer lugar para dejar patente que constituimos uno de los colectivos científicos más activos del país. Conviene recordar que la propia creación de la COSCE fue promovida desde la SEA a fin de establecer un canal de comunicación con el resto de la comunidad científica española y contar, entre todos, con el peso suficiente para ser escuchados por el Gobierno. Sería pues de esperar que la SEA fuera también una de las sociedades que mayor interés mostrara

en las iniciativas llevadas a cabo por la confederación. Diría más, no sólo es esperable sino muy conveniente. Nuestra sociedad, una de las 54 que constituyen actualmente la COSCE, no es precisamente de las que cuentan con mayor número de socios. La SEA tiene sólo unos 300, mientras que otras sociedades, como la de Bioquímica y Biología Molecular de la que procede Joan Guinovart, el actual Presidente de la COSCE, superan los 9000. No es pues de extrañar que, a pesar de contar con José Miguel Rodríguez Espinosa en la Junta Directiva, a pesar de que la astronomía tiene un gran impacto social ampliamente reconocido por todo el mundo y que ocupa un puesto relevante dentro del panorama de infraestructuras científicas españolas, hecho que queda bien reflejado en el propio informe CRECE, tan sólo un astrónomo y ni siquiera investigador en activo, Javier Armentia, figure entre los 54 ponentes. Conviene pues no bajar la guardia y seguir trabajando día a día a fin de mantener una presencia destacada en el seno de la confederación y conseguir así que las acciones emprendidas por la misma redunden en beneficio de la astronomía.

Pero la principal razón por la que debemos opinar sobre el informe CRECE no es táctica sino práctica. Al haber sido promovido desde la COSCE, dicho informe aparece ante el Gobierno, los medios de comunicación y la sociedad en general como un documento que recoge el sentir de la comunidad científica española o, por lo menos, que cuenta con su asentimiento, cuando en realidad los científicos no sólo no hemos intervenido para nada en su elaboración sino que no hemos tenido acceso a su contenido hasta una vez hecho público y ni siquiera hemos podido opinar sobre los ponentes invitados. La dirección de la COSCE es plenamente consciente de este problema y aduce a cuestiones de visibilidad y oportunidad para justificar la forma un tanto extraña en que se ha procedido. Al tratarse de la primera acción pública realizada por la confederación, convenía que tuviera el máximo impacto mediático y social, de ahí que se pensara en destacadas personalidades para participar en las ponencias, las cuales habrían exigido a su vez gozar de total libertad de acción. Por otro lado, la precipitación a la hora de hacer público el informe se debería a la conveniencia de adelantarse a la reunión anual de la COTEC —que al final tendría lugar tan sólo una semana después— así como a la elaboración de los presupuestos generales del Estado para el próximo año. Por todo ello, el documento CRECE debe considerarse en realidad como un

borrador o una guía sobre la que basar la discusión que ahora debiera tener lugar en el seno de la COSCE. Es pues probable que algunas de las ideas recogidas en dicho informe acaben modificándose, no tanto en los aspectos de “ciencia y empresa”, “España en Europa” y “ciencia y sociedad”, como en los de “estructuras e instrumentos de la política científica” y “recursos humanos en la investi-

gación”. Algunas de las propuestas formuladas en estos dos campos con evidentes implicaciones en el futuro de nuestra labor investigadora me parecen efectivamente cuanto menos discutibles. Así pues, convendrá debatirlas tranquilamente pero en profundidad. Contar con la opinión de un gran número de miembros de las sociedades confederadas sería de gran ayuda.

¡ESO A LA VISTA!

Xavier Barcons xavier.barcons@mec.es

La entrada de España en ESO está a la vista. Quizás sea éste el hecho aislado más importante que la pujante Astronomía Española vaya a experimentar desde sus inicios. Ha sido ésta una ambición justamente reclamada y deseada por los astrónomos españoles desde hace muchos años. La anomalía que representa que España esté fuera del mayor Organismo dedicado íntegramente a la Astronomía, y referencia de la Astronomía terrestre en Europa parece estar en sus últimas fases.

Quiero recordar aquí que en la Asamblea de la SEA de San Sebastián de 1996, se apoyó decididamente la entrada en ESO (véase la reseña de Benjamín Montesinos en el Boletín de Febrero de 1997) junto a la construcción del Gran Telescopio Canarias, otro gran hito que también se vislumbra en el futuro. También la Comisión Nacional de Astronomía remitió al Ministerio en marzo de 2003 un escrito con su apoyo a la entrada de España en ESO. Finalmente, el vigente Plan Nacional de I+D+i 2004-2007 recogía la entrada de España en ESO como uno de los objetivos del mismo.

No ha sido éste el primer intento de conseguir la entrada de España en ESO. El hecho de que España sea una potencia en la Astronomía mundial (más del 5% de los artículos en Astronomía de todo el mundo están escritos por investigadores en centros españoles), y de que después de la entrada del Reino Unido en ESO, España fuera el único país europeo con potencial Astronómico importante fuera de ESO, implicaban tanto la necesidad de materializar esta entrada como el hecho de que la negociación no iba a ser trivial. Afortunadamente la negociación con ESO, que ha sido larga, está llegando a buen puerto. Hay una gran confianza en este momento y el Ministerio de Educación y Ciencia tiene tal empeño en este tema, que todo apunta a que la entrada formal de España en ESO se producirá durante 2006, probablemente a mediados. Quedan todavía pasos por dar y trámites por cumplir (baste recordar que se precisa la aprobación del Consejo de Ministros y del Parlamento) y por tanto hay que mantener la cautela. Sin embargo, tengo la convicción personal que este proceso culminará con éxito.

¿Qué representa entrar en ESO?

La entrada en ESO representará múltiples beneficios para la Astronomía Española. Aunque para los miembros de la SEA estos beneficios nos sean bien conocidos, no estará de más recordarlos.

En primer lugar, tendremos acceso en igualdad de condiciones a los observatorios de ESO. Aquí se incluyen el observatorio de Paranal, con el VLT/VLTI y su gran variedad de instrumentación astronómica. También el observatorio de La Silla con los telescopios NTT, 3.6m y 2.2m. En la última ronda (P77) se ha ofrecido por primera vez la antena APEX. España ya forma parte del proyecto ALMA desde 2002, y nuestra posición dentro de dicho proyecto permanecerá inalterada por nuestra entrada en ESO.

Así que el primer y quizás más importante impacto de la entrada en ESO es que los astrónomos españoles veremos ampliada nuestra oferta de observatorios en los que obtener datos para nuestras observaciones, con una amplia gama de posibilidades. Debo remarcar aquí que tan pronto como se materialice la entrada en ESO, todas esas instalaciones serán también nuestras. Debemos pues prepararnos desde ya mismo para que los observatorios de ESO formen parte de nuestro abanico de posibilidades a la hora de solicitar tiempo de observación. Estamos pensando en la posibilidad de organizar un pequeño workshop o sesión informativa para presentar la instrumentación disponible en los observatorios de ESO, el mecanismo de solicitud y evaluación de las propuestas y sobre todo animar a todos los astrónomos españoles a que consideren esas instalaciones como propias.

La segunda implicación es consecuencia directa de lo anterior. España debe implicarse cuanto antes en las actividades relacionadas con la instrumentación astronómica que se llevan a cabo en el seno de ESO y en colaboración con centros de los países miembros. Construir instrumentos para VLT, VLTI o ALMA es un reto tecnológico de primera magnitud, del que España no puede quedar relegado. Una primera, pero significativa medida, que ha tomado ya el Ministerio es incluir a ESO entre los posibles Organismos de destino de becas de perfeccionamiento de técnicos en la convocatoria de 2005.

Finalmente, a nadie se le escapa que ESO es el foro donde se discuten (y en ocasiones se toman)

las grandes decisiones en Astronomía terrestre Europea. Ser miembros de ESO va a implicar en este sentido una mayor responsabilidad además de más oportunidades. Los grandes proyectos de infraestructuras astronómicas para el futuro (telescopios gigantes – ELTs, el Square Kilometre Array – SKA, equipos de cómputo, Observatorio Virtual, etc.) se están discutiendo ahora mismo. España debe prepararse para esos retos de forma adecuada, para no perder ese tren.

Las claves del éxito

Si estamos ya a las puertas de ESO, es gracias a que una gran cantidad de personas han empujado en esta dirección, y no quiero dejar pasar esta oportunidad para mencionarlo. En primer lugar, el apoyo decidido del Secretario General de Política Científica y Tecnológica del MEC, Salvador Barberá, que desde el día que entró en su despacho (en el que le estábamos esperando la Comisión Negociadora, convocados por su predecesor Gonzalo León), ha prestado su apoyo entusiasta a esta causa, transmitiendo este entusiasmo a la cúpula del MEC y del Gobierno. El Director General de Política Tecnológica, Carlos Alejalde, ha sido quien ha conducido la negociación con gran seriedad, habilidad y empeño. En el día a día, el Subdirector General de Infraestructuras Científicas, Ernest Quingles, y muy especialmente Luis Eduardo Ruiz, Consejero Técnico (y para mí mucho más que eso), han sido nuestra guía y apoyo.

La negociación con ESO ha involucrado a cerca de 20 personas por parte de España, que han prestado su experiencia y apoyo a esta labor, y sin los cuales nada de esto hubiera llegado a buen puerto. En primer lugar y muy especialmente, Rafael Bachiller, Rafael Reboló, Rafael Rodrigo, José Miguel Rodríguez Espinosa y Eduard Salvador que han constituido, junto a mí, la componente astronómica española de la Comisión Negociadora. En dis-

tintos aspectos de las negociaciones han participado también Carlos Martínez Roger, Pedro Álvarez, Javier Castro, Jordi Torra, Enrique Solano y Paco Garzón. A un número mucho mayor de colegas y espero que todavía amigos, les hemos importunado ocasionalmente con preguntas, papeles y alguna que otra reunión; su ayuda ha sido siempre fundamental. Durante casi 2 años todas estas personas han estado disponibles a todas horas y días, han asistido a reuniones, han contestado a llamadas de teléfono y correos electrónicos en momentos de lo más inoportuno y han conseguido que una negociación que, por definición, era difícil, se pudiera concluir con éxito.

Creo también justo mencionar aquí a las personas que estuvieron involucradas con tanto entusiasmo como nosotros en anteriores intentos para conseguir que España entrara en ESO, y que nos han apoyado siempre que se lo hemos pedido. Esos anteriores intentos no fueron baldíos, ya que hemos podido constatar que dejaron un camino abierto.

A pesar de que estaban al otro lado de la mesa, también algunos de nuestros colegas de ESO nos han ayudado en ocasiones y es justo reconocerlo.

Finalmente, una nota personal que estoy deseando desde hace casi dos años transmitir. El mérito de este logro pertenece exclusivamente a los astrónomos españoles, cuyo aliento hemos sentido en todo momento, especialmente en los momentos complicados. A los que hemos tenido el agobio — y también el honor — de estar en la primera línea de la negociación durante los casi últimos 2 años, se nos ha apoyado, se nos ha dejado trabajar en paz, tranquilidad y discreción, sin exigirnos resultados inmediatos, se nos ha ayudado cuando lo hemos solicitado y no se ha cuestionado nada de lo que hemos hecho (y habremos hecho cosas bien y cosas mal). Gracias a todos.

Xavier Barcons es el gestor del Programa Nacional de Astronomía y Astrofísica.

LA DIVULGACIÓN DE LA ASTRONOMÍA EN LA CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS DE VALENCIA

Esmeralda Sánchez esanchez@cac.es
Virginia Hidalgo vhidalgo@cac.es

La Ciudad de las Artes y las Ciencias es un complejo de ocio en el que la cultura es protagonista. El conjunto está formado por cinco elementos: el paseo de L'Umbracle, que ofrece una buena muestra de la diversidad de la flora mediterránea; el Palau de les Arts Reina Sofía, recientemente inaugurado, en el que se ofrecerán representaciones de ópera, música y artes escénicas; L'Oceanogràfic, el mayor centro marino de Europa con 45.000 animales de más de 500 especies marinas; el Museu de les Ciències Príncipe Felipe, un centro interactivo y vanguardista con una superficie de 40.000 m² distribuidos en tres plantas; y L'Hemisfèric, una sala única capaz de albergar tres espectáculos audiovisuales sobre una misma pantalla: cine en gran formato: *ImaxDome*, espectáculos láser y programas de planetario.

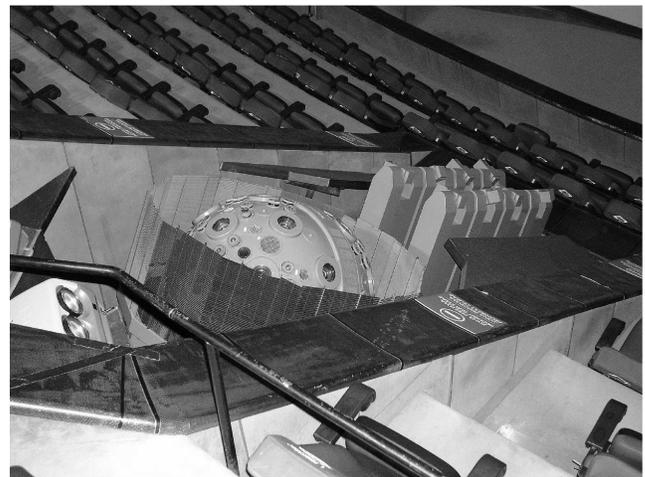


Como planetario, L'Hemisfèric dedica gran parte de sus esfuerzos a la divulgación de la Astronomía y la exploración espacial, bien a través de los programas de planetario o de numerosas actividades, como son la celebración de conferencias, cursos, sesiones en directo, talleres para los niños, etc.

La sala de L'Hemisfèric como planetario

L'Hemisfèric tiene muchas caras. Es cine *Imax*, es *laserium*, es un icono arquitectónico... y también es un planetario. Baste decir que el centro geométrico de este singular edificio se reservó en su día

para uno de los más sofisticados proyectores de estrellas, el *Universarium VIII* de la marca alemana Carl Zeiss. Un maravilloso acierto. Sus funciones se asemejan mucho a las de otros proyectores optomecánicos basados en fibra óptica, pero el brillo y apariencia del cielo estrellado, en la pantalla de 24m de diámetro de L'Hemisfèric, es un espectáculo aún no superado por ningún otro proyector.



Pero los programas de planetario no se componen sólo de estrellas. Muchos otros elementos audiovisuales entran en juego: proyectores de video, imágenes panorámicas, proyectores de efectos especiales y el láser *Omniscan*, uno de los pocos dispositivos láser multicolor y de tipo *fulldome* (cubre íntegramente la pantalla), un complemento perfecto de los programas de planetario y un espectáculo en sí mismo.

Los programas de planetario se han proyectado en L'Hemisfèric desde sus inicios. El objetivo principal era, y es, transmitir a todos los públicos contenidos diversos de la astronomía combinados con atractivos efectos, propios del equipamiento disponible. Transmitir reflexiones más o menos profundas sobre el universo junto con espectacularidad sólo se consigue con programas realizados *ad hoc* para L'Hemisfèric. Es por ello que la gran mayoría de programas de planetario son de producción propia, desde el guión hasta la música e imágenes. *Viaje al Infinito, La Conquista de Saturno, El Sol*

Invisible u *Otros Mundos* son algunos de los títulos mostrados durante estos años.

Desde hace dos años, en L'Hemisfèric también nos dirigimos a un público más específico, como son los niños. Para ello se han creado los programas de "El Cielo de Estrella" y "La Nueva Estrella", en los que nos permitimos introducir cuentos, personajes, leyendas, poesías y hasta un concurso. Esta variedad de recursos se consigue gracias a un presentador que interactúa con los niños durante buena parte de la sesión, hablándoles, haciéndoles preguntas o contestando a las que ellos plantean.



Todos nuestros programas de planetario van acompañados de material didáctico. En el caso de los programas grabados, dirigidos principalmente a estudiantes de Secundaria, Bachillerato y universitarios, se elabora una guía del profesor. Este material está dirigido al profesorado como una herramienta para reforzar conceptos presentados a los estudiantes en las proyecciones de planetario. Para los planetarios infantiles, se elabora una lámina a todo color que se reparte a los niños que asisten a las sesiones. Este material hace la función de póster por el anverso y de hoja de actividades por el reverso. De esta forma, los niños encuentran algunas actividades que pueden rellenar sobre la propia lámina con la intención de inculcarles la curiosidad y el placer de mirar al cielo.

Actividades para la divulgación de la Astronomía

A lo largo del año, se realizan distintas actividades, todas ellas con el objetivo de acercar al ciudadano la ciencia en general y la astronomía en particular.

- **Curso de Astronomía:** L'Hemisfèric presenta esta primavera la quinta edición del

Curso de Astronomía, que consta de unas siete u ocho sesiones teóricas más una noche de observación. En los cursos siempre se tratan temas fundamentales de la astronomía, pero también se dedican sesiones a los temas más actuales, como pueden ser las últimas misiones espaciales o iniciativas académicas de interés.

El curso está reconocido por la Dirección General de Enseñanza de la Generalitat Valenciana como de interés formativo y pedagógico para el profesorado de Primaria y Secundaria.



- **Conferencias:** Una de las maneras más efectivas de divulgar la ciencia es a través de conferencias. Habitualmente, L'Hemisfèric ofrece dos conferencias por año, invitando para ello a reconocidos científicos.

En ocasiones estas conferencias coinciden con eventos astronómicos puntuales, a modo de conmemoración, como en el caso del pasado eclipse anular de Sol del 3 de octubre, cuando el ciudadano pudo disfrutar de la presencia del Prof. Jay Pasachoff. Otras veces, se tratan temas específicos de Astrofísica, como fue el caso de la conferencia *Arco iris de las estrellas*, impartida por el Dr. Francisco Diego en abril de 2004.

- **Conmemoración de efemérides astronómicas:** Como planetario, L'Hemisfèric tiene el deber de hacerse eco de los eventos astronómicos relevantes, tales como el tránsito de Venus en 2004, el XV aniversario del telescopio espacial Hubble o el eclipse anular de Sol en 2005. En cada caso se abordan varias iniciativas, que van desde la elaboración

y el diseño de distintos materiales (separadores de libro con las horas de un eclipse, cuadernos para escolares, etc.), hasta sesiones especiales de planetario en directo y observaciones públicas en los espacios exteriores de La Ciudad de las Artes y las Ciencias. Para estas actividades, L'Hemisfèric cuenta con tres telescopios, un Schmidt-Cassegrain de 2.500 mm de focal, un Maksutov-Cassegrain de 1.900 mm de focal, y un telescopio PST de Coronado para la observación del Sol.

- **Pequeastronomía:** L'Hemisfèric ha concebido esta actividad como acercamiento de los niños al conocimiento del Cosmos de una forma lúdica y didáctica. Y en un lugar tan especial como es el anillo perimetral de L'Hemisfèric.

En distintos meses del año se ofrece a los colegios la posibilidad de que los grupos escolares de Primaria asistan a talleres donde se trabajan, de forma interactiva, distintos conceptos de astronomía.



- **Las Nocturnas:** Algo de lo que un planetario no debería prescindir es de acercar el firmamento a quienquiera que se siente en sus butacas. Acercar el firmamento sin más: incontables estrellas, legendarias constelaciones, la Vía Láctea cruzando el cielo... en eso consiste "Las Nocturnas". Estas sesiones de planetario en directo se ofrecen durante las noches de verano. El cielo de L'Hemisfèric es tan real que brinda la posibilidad de observar galaxias y nebulosas sin salir de la sala, simplemente con unos prismáticos de baja potencia, y una cierta guía por parte del astrónomo a cargo de la sesión; si las estrellas hoy en día se están convirtiendo en unas grandes desconocidas, no digamos los objetos de cielo profundo. Por ello, el resultado de estas "sesiones con prismáticos" es excepcional.

Estos programas y actividades de L'Hemisfèric se enmarcan dentro del esfuerzo de La Ciudad de las Artes y las Ciencias por la divulgación de la Astronomía. Nuevos proyectos, nuevas actividades y nuevos programas están ya en fase de preparación en este edificio que pretende seguir mostrando su versión más astronómica a la ciudad de Valencia.

Esmeralda Sanchez y Virginia Hidalgo son las responsables del desarrollo de actividades y producción de planetarios de L'Hemisfèric, en la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia.

EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS

EL MEJOR ESPEJO PRIMARIO NUNCA CONSTRUIDO YA ESTÁ EN LA PALMA, PERO TAMBIÉN HAY QUE RESEÑAR QUE ADOLECEMOS DE UN DOLOROSO RETRASO

J. Miguel Rodríguez Espinosa jmr.espinosa@iac.es

Resumen

El pasado semestre ha sido de luces y sombras, de éxitos e incidentes desafortunados. Los 36 segmentos del espejo primario ya están en el Observatorio, y su calidad está por encima de las expectativas, con 13 nm de error de superficie cuadrático medio. El secundario de Berilio también se ha terminado y su calidad es excelente; pronto llegará al Observatorio. Por su parte el telescopio prosigue su etapa de integración y esperamos estar haciendo pruebas de sus motores cuando este documento salga a la luz. Pero también ha habido sombras. Un fuego que a mitad de verano tuvo el Observatorio en jaque forzó el desalojo de la montaña durante una semana. Y ya en otoño, un desafortunado problema con la compuerta de observación, que impidió su cierre ante la primera tormenta grave de la temporada. Resultado: agua por todos los rincones.

Como en otras ocasiones lo que sigue es el ya tradicional repaso a los diferentes subsistemas del GTC, de modo que quede una imagen clara del estado del proyecto.

Cúpula

Aunque la vez pasada hablaba de que las compuertas de operación ya estaban reparadas, nunca se había abierto la compuerta principal hasta su límite. Esta operación se llevó a cabo en octubre. Dicha compuerta es extremadamente pesada y se había venido utilizando sin problema durante todo el montaje del telescopio. Por la abertura que deja dicha compuerta se han introducido todas las piezas grandes del telescopio. Pues bien, en el proceso de llevar la compuerta hasta su límite, ésta se bloqueó, impidiendo todo movimiento en cualquier sentido (Fig. 1). El gran tonelaje de la compuerta, junto con la posición de los rodamientos que se habían bloqueado en la parte lejana de la compuerta hicieron que acceder a dichos rodamientos fuese complicado y que realizar cualquier fuerza sobre la compuerta poco menos que imposible con los medios existentes en aquel momento. El resultado fue que la compuerta permaneció abierta, a pesar del esfuerzo ímprobo de todo el personal del

Observatorio. No se pudo localizar a corto plazo una grúa suficientemente potente como para poder actuar con ella sobre la compuerta. Y como a veces parece que los elementos se confabulan, la primera tormenta seria de la temporada se nos vino encima. Ya se estaba a punto de conseguir cerrar la compuerta cuando una tromba de agua descargó sobre el Observatorio. El agua llegó hasta el último rincón. Con el resultado de que muchas de las superficies pulimentadas que se habían preparado para las cintas de codificación comenzaron a mostrar signos de oxidación. Los imanes de los motores de acimut que ya estaban colocados hubo que quitarlos y limpiarlos para evitar problemas futuros de oxidación en su interior. Total casi tres semanas ocupado el personal en tareas de recuperación del estado anterior.



Figura 1 — La compuerta de observación por su parte posterior abierta casi hasta su tope. En esta posición encalló y quedó bloqueada cuando ocurrió la tormenta.

Telescopio

La principal actividad en lo que concierne al telescopio se ha concentrado en preparar éste para recibir los motores y los codificadores de acimut y elevación. Este proceso ha sido lento y tedioso porque son sistemas delicados que han de ser instalados

con una gran precisión. Por tanto las superficies donde se alojan las cintas de codificación, o las llantas donde se colocan los imanes de los motores (Fig. 2), han de tener una concetricidad precisa y una rugosidad por debajo de la décima de milímetro. La colocación de las cintas de codificación ha necesitado de dos intentos. Heidenhain, la empresa líder en esta tecnología, no había puesto antes ninguna cinta, en círculo, del tamaño de la cinta de acimut del GTC. Por fin a principios de diciembre, tanto la cinta de acimut como las de elevación han quedado tendidas, y las cabezas lectoras fijadas y probadas. Heidenhain ha comentado, al finalizar esta operación, que estamos, posiblemente, ante el mejor codificador nunca construido. Heidenhain ha instalado prácticamente todas las cintas codificadoras de los telescopios modernos, léase VLT, Gemini, Magellan, etc.

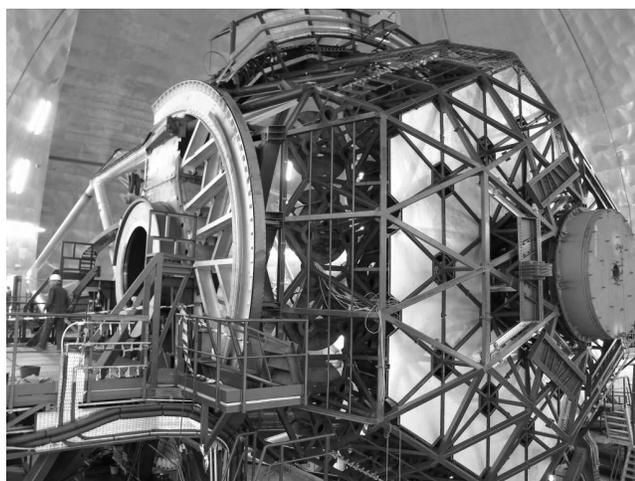


Figura 2 — Vista del telescopio mostrando las llantas de elevación donde se colocan los imanes de los motores de elevación.



Figura 3 — Vista del rotador de cables de acimut, con gran parte de las conducciones ya ensartadas. Por lo demás, la actividad en torno al telescopio

ha sido constante. Mientras el telescopio ha estado parado, y no había tareas que necesitasen hacer medidas de precisión, se ha continuado tirando cables y bandejas que sirven de soporte de éstos por todo el telescopio (Fig. 3). Recientemente se ha iniciado también el tirado de la fibra óptica. Se han cableado armarios de electrónica, múltiples armarios...

Conforme escribo esta nota, se está limpiando a fondo el telescopio, una vez instalados los imanes y los bobinados de los motores, para a principio de enero iniciar las pruebas de movimiento de los ejes principales. Estas pruebas se realizarán durante enero y febrero para, a continuación, instalar los rotadores de instrumentos, que están almacenados en La Palma esperando ser montados en el telescopio. Esta operación señalará la entrega del telescopio por parte de la compañía contratista. A partir de aquí se iniciará la instalación del “software” nuestro y comenzarán las pruebas nuestras de optimización del telescopio, antes de instalar óptica en él. Entre las pruebas contempladas está la instalación de un pequeño refractor, que ya está preparado, con una cámara CCD que también está lista, para llevar a cabo pruebas de apuntado y seguimiento con la mecánica del telescopio. La meta es construir un primer modelo de telescopio, antes de complicarlo con óptica alguna.

Óptica

Ya se ha recibido en el Observatorio el sexto lote de segmentos del espejo primario. Con esto hay 36 segmentos, es decir el primario completo, almacenados en el edificio del GTC y en recintos adecuados ad hoc ante la imposibilidad de montarlos directamente en el telescopio. Esta operación se iniciará hacia principio de verano. La estadística de calidad de imagen de estos 36 segmentos es muy buena. Javier Castro, nuestro responsable del área de óptica, ha trabajado codo con codo con la empresa contratista, siguiendo muy de cerca el pulido de los segmentos, con el resultado de que el espejo primario del GTC es un excelente espejo primario. La figura 4 muestra un mapa de superficie de los 36 segmentos del primario. El contraste es muy alto para que los defectos puedan apreciarse. Nótese que a pesar de algunos artefactos en los bordes, y algún que otro efecto debido al patrón de pulido, el error rms de frente de onda es de 26 nm, lo que supone un error de superficie de 13 nm.

Entretanto, se están haciendo numerosas pruebas de aluminizado de muestras de Zerodur, para examinar su adherencia, uniformidad, etc. Pronto se

va a aluminizar una maqueta de segmento, completa, con actuadores y todo, para demostrar el procedimiento. El primer segmento está previsto que sea aluminizado en la segunda mitad de enero.

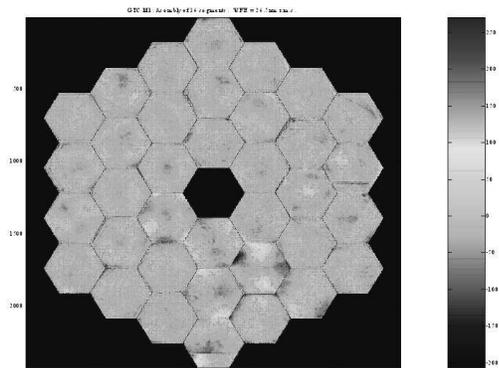


Figura 4 — Mapa de superficie de los 36 segmentos del primario. Nótese algunos defectos de borde, muy difíciles de corregir. En todo caso la calidad de esta superficie es excepcional, con un error cuadrático medio de solo 13 nm, 26 nm en frente de onda.

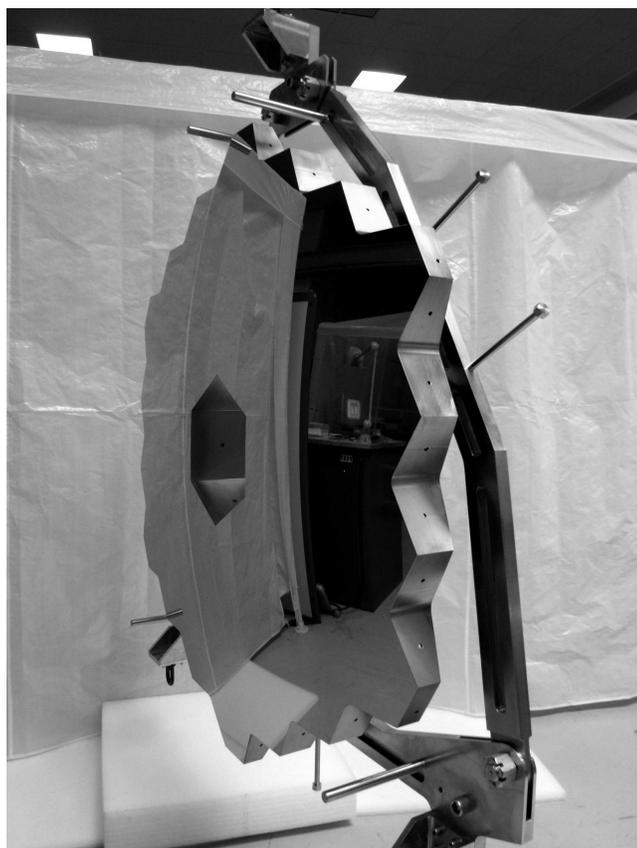


Figura 5 — El espejo secundario ya terminado durante las pruebas de aceptación.

También se ha completado el pulido del espejo

secundario. El proceso ha sido complicado, y en algún momento se pensó en aceptar el secundario cuando aún estaba ligeramente fuera de especificaciones. La espera ha valido la pena, y ahora podemos decir que tenemos un secundario cuya calidad óptica es asimismo excelente. La figura 5 muestra el espejo secundario ya terminado, y la figura 6 un interferograma del mismo donde se aprecian las suaves franjas interferométricas.

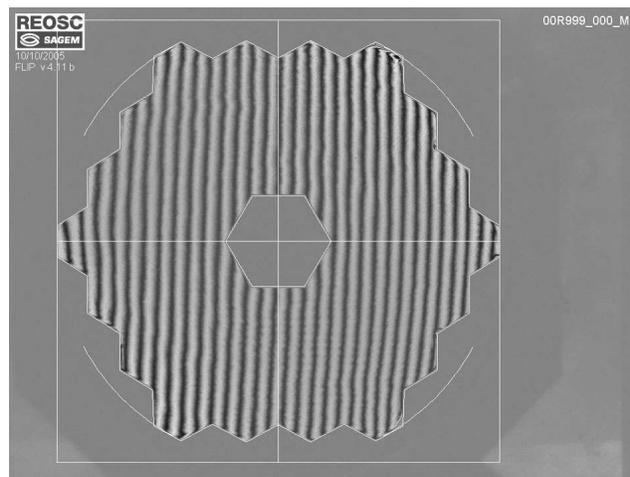


Figura 6 — Interferograma del espejo secundario. Nótese la calidad de la superficie.

En estos momentos estamos a la espera de recibir el secundario en el Observatorio. El envío se hará por vía aérea para minimizar riesgos, que aumentan cuanto más largo sea el proceso de traslado. Queremos creer que llegará dicho espejo antes de fin de 2005, si bien sabemos que son fechas complicadas para envíos, aduanas, etc.

Entretanto, se han estado haciendo pruebas de manipulación de los segmentos, de cómo instalarlos en la celda del primario (Figs. 7 y 8), de cómo trasladarlos desde el almacén, etc. Pruebas que han detectado la necesidad de mejorar el funcionamiento de la grúa prevista para el montaje de los espejos, de la garra que se utiliza para su sujeción hasta su anclaje en la celda, etc.

Control y Software

Pocas veces he mencionado en estos informes las tareas de Control y “software”. Este paquete de trabajo sin embargo es el alma del telescopio. Es la pieza de unión de los diferentes subsistemas del telescopio, el aglutinador que hará que todo funcione como una sola pieza de ingeniería y haga lo que tiene que hacer, es decir Astronomía. El “software” toma ahora preponderancia, una vez se termine el montaje de la parte mecánica del telescopio. En

adelante, todo aquello que se vaya montando en el telescopio pasará por la consiguiente integración del control necesario para que el nuevo subsistema se funda con la ya existente en el telescopio.



Figuras 7 y 8 — Pruebas de colocación de un segmento en la celda del primario. La figura 7 muestra la maqueta de un segmento provista de su árbol de levas, siendo bajada hasta su lugar en la celda del primario. La figura 8 muestra dicha maqueta ya introduciéndose mediante su guía en su lugar en la celda.

La primera prueba de fuego del control está siendo la cúpula. La próxima será el propio telescopio, donde el movimiento de los ejes principales ha de ser probado en los primeros meses de 2006. Otras partes del código de control de otros subsistemas ya se han o se están probando. Por ejemplo, el control de las Cajas de Adquisición y Guiado está siendo probado en estos días. La estrategia que se ha adoptado para paliar en la medida de lo posible los retrasos que estamos sufriendo en el telescopio, consiste en probar todo los subsistemas que podamos, antes de que se monten en el telescopio. Pruebas que se realizan con el software definitivo. Así se probarán inminentemente los accionadores

del espejo secundario, la cámara de verificación, los instrumentos científicos, etc. Puede decirse que el próximo año será el año de Control en el GTC.

Instrumentación Científica

OSIRIS continúa sus etapas iniciales de integración en el IAC. Hasta ahora, y pendientes de recibir las ruedas de filtros, se han estado colocando con gran precisión marcas de referencia para la subsiguiente integración de los diversos elementos. El barrilete de la cámara acaba de ser aceptado en México (Fig. 9), después de una exhaustiva serie de pruebas. La calidad de imagen final de dicha cámara es excelente, estando sobradamente dentro de las especificaciones.



Figura 9 — El barrilete de la cámara de OSIRIS durante las pruebas de aceptación en el Instituto de Astronomía de la UNAM, México.

El criostato, donde se alojan los detectores de OSIRIS, también está en proceso de aceptación en fábrica (Fig. 10) después de la corrección de unas fugas detectadas anteriormente. Por último, las complejas ruedas de filtros (Fig. 11) de OSIRIS también han sido aceptadas, después de las consiguientes pruebas de aceptación. El funcionamiento de dichas ruedas ha demostrado ser correcto.

Los próximos meses serán decisivos para OSIRIS que verá progresar significativamente su integración. En efecto, el primer elemento a integrar será las ruedas de filtros, que ocuparán gran parte del volumen interior en la estructura de OSIRIS.

ELMER ha sido caracterizado satisfactoriamente en sus modos de imagen y espectroscopía. En particular, ya se han medido en el laboratorio todos los elementos dispersores, comprobándose que tanto la transmisión es igual o mejor que la esperada, como que la resolución alcanzada es la esperada por diseño. La figura 12 muestra un espectro obtenido con uno de los VPH (el centrado a 610 nm)

de unas lámparas de calibración de líneas. Esta figura es un ejemplo del tipo de pruebas espectrales que se están haciendo con ELMER. Nótese el rango espectral cubierto con dicho VPH, la dispersión así como la longitud de onda central. La figura 13 muestra la transmitancia de los diferentes elementos dispersores de ELMER, ya medidos en el laboratorio. Destaca la alta eficiencia de todos ellos.



Figura 10 — El criostato de OSIRIS durante las pruebas de aceptación en la factoría de Valencia.



Figura 11 — Ruedas de filtros de OSIRIS ya terminadas.

El equipo de Marisa está llevando a cabo un ex-

haustivo plan de pruebas de ELMER. A día de hoy faltan por caracterizar los modos más complejos, como son la espectroscopía multi-objeto, así como la fotometría y espectroscopía rápidas, que implican técnicas de transferencia de carga, para las cuales hace falta un “software” de control que aún no está disponible. La cantidad de datos ya obtenidos permite conocer las prestaciones de ELMER con bastante fiabilidad antes de que llegue al telescopio, si ese fuera el caso.

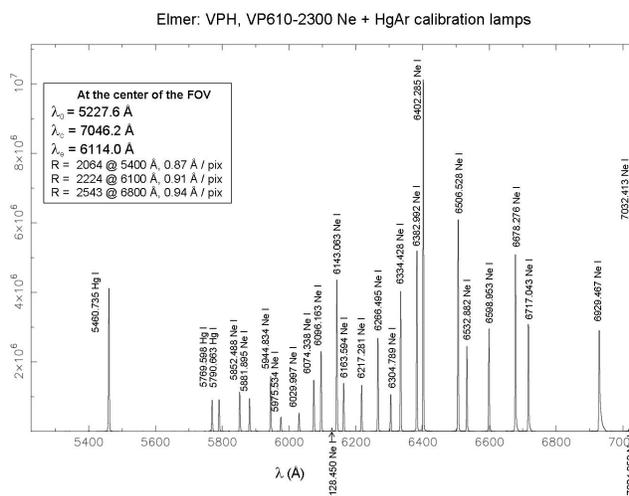


Figura 12 — Espectro con un VPH de ELMER de lámparas de calibración.

CanariCam continúa su caracterización científica en laboratorio, en el Departamento de Astronomía de la Universidad de Florida. El instrumento ha sido enfriado ya varias veces, habiéndose alcanzado una temperatura cercana a la temperatura esperada de trabajo, alrededor de 6 K. Se han caracterizado los modos de imagen y espectroscopía, habiéndose comprobado que la calidad de imagen en todo el campo es la esperada. Se han probado algunos modos de ingeniería como el modo imagen de pupila y el modo imagen de la ventana. Estos modos serán muy útiles para alinear CanariCam correctamente con el secundario del GTC, que constituye su pupila de entrada. El segundo modo, el modo de imagen de la ventana, permitirá monitorizar periódicamente el estado de las ventanas del criostato. Recuérdese que alguna de las ventanas es relativamente higroscópica, por lo que, si no se mantiene en un ambiente de aire seco, podría deteriorarse con el tiempo. Recientemente se ha comenzado la caracterización de la polarimetría, habiéndose obtenido un imagen polarimétrica en 10 micras (Fig. 14). CanariCam estará listo para su envío a GTC en la primavera de 2006.

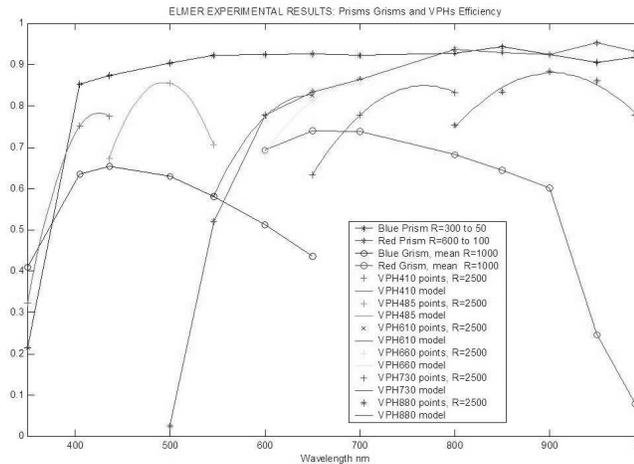


Figura 13 — Transmitancia de los elementos dispersores de ELMER. Nótese el cubrimiento del rango espectral a diversas resoluciones, así como la transmisividad de los diversos elementos.

En diciembre tuvo lugar en Madrid una reunión del consorcio científico de CanariCam, en la que participaron una veintena de astrónomos de diversos países, incluyendo España, USA, así como otros países europeos.

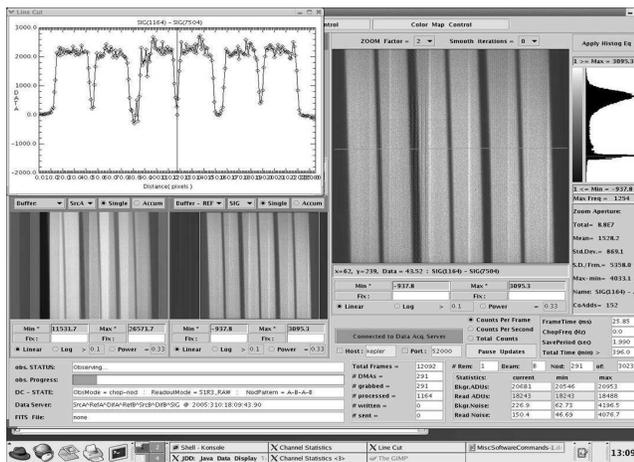


Figura 14 — Imagen polarimétrica obtenida en el modo polarimétrico de CanariCam.

Instrumentos de segunda generación

EMIR continúa con las pruebas de prototipos. Se está haciendo un uso extensivo del criostato de pruebas. La figura 15 muestra dicho criostato con una rueda de filtros prototipo en su interior. La figura 16 muestra el mismo criostato esta vez durante las pruebas del prototipo de robot cambiador de rendijas. Puede verse una de las dos barras que con su movimiento longitudinal forman la rendija del tamaño y posición deseada. Este robot prototipo con solo un par de barras (una sola rendija

ja) ha sido probado en frío satisfactoriamente. A principios de año se probará otro prototipo, esta vez con tres rendijas. Una vez hecha esta segunda prueba se procederá a solicitar propuestas para la contratación del sistema definitivo.

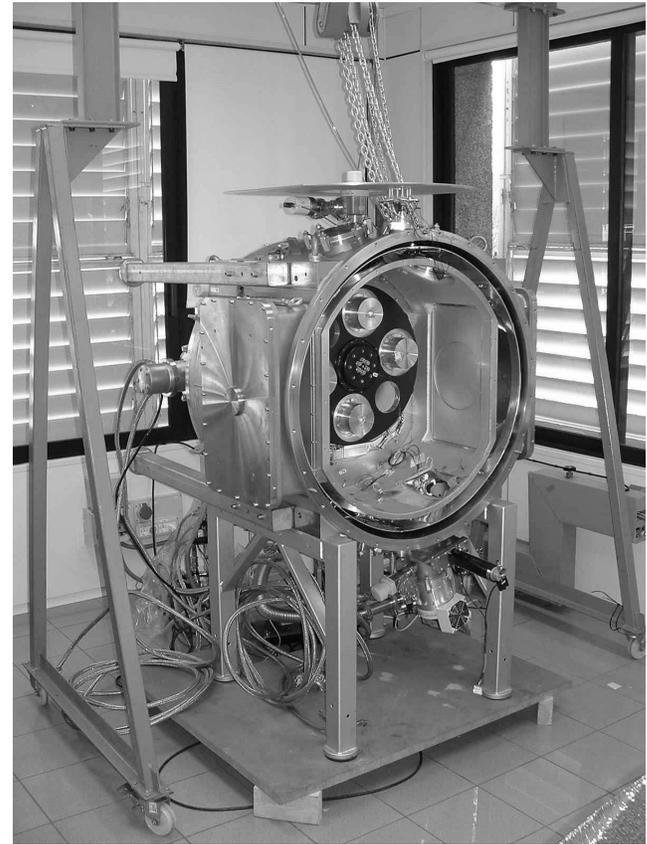


Figura 15 — Criostato de pruebas de EMIR con una rueda de filtros en su interior.

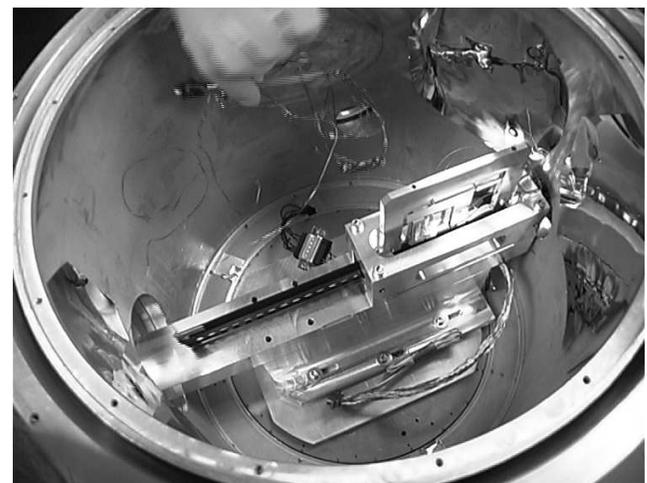


Figura 16 — El robot prototipo de EMIR en el criostato de pruebas. La barra que se ve en el centro es accionada longitudinalmente, para enfrentarse con una similar produciendo de este modo una rendija, con anchura que puede variarse dependiendo de cuanto se junten ambas varillas, y

puede moverse de posición, moviendo al unísono ambas varillas.

Planes a corto y medio plazo

El próximo mes de enero se iniciarán las pruebas de los motores de los ejes principales. Estas pruebas y la instalación de los rotadores de instrumentos señalarán la conclusión de los trabajos del telescopio por parte del contratista. A partir de entonces comenzarán las pruebas del sistema de control de GTC, que se prolongarán cuatro meses, seguidas de las pruebas con el refractor. Esto dará paso a la instalación de los primeros segmentos, con la esperanza de llegar a primera luz técnica a finales de

septiembre de 2006. Esto significa un retraso serio respecto de nuestra última previsión. Nuestro jefe de integración, Javier Pancorbo, dice que ahora está mucho más seguro del calendario de lo que ha estado nunca. Esperemos que sea así, y que en septiembre estemos con una estrella en la cámara de la caja de Adquisición y Guiado. A continuación comenzarán las pruebas de puesta a punto y optimización del telescopio, que en cuatro meses debiera estar preparado para recibir el primer instrumento científico.

<p><i>José Miguel Rodríguez Espinosa es investigador del IAC, responsable científico de GTC y Presidente de la SEA.</i></p>

LA PRIMERA RED CCD DE TODO EL CIELO PARA REGISTRAR BÓLIDOS Y RECUPERAR METEORITOS

Josep M. Trigo-Rodríguez^{1,2} Alberto J. Castro-Tirado³ Jordi Llorca^{2,4}
 Juan Fabregat⁵ José L. Ortiz³ José A. Docobo⁶

¹ Institut Ciències de l'Espai - CSIC (trigo@ieec.uab.es) ² Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC)
³ Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), Granada ⁴ Institut de Tècniques Energètiques, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) ⁵ Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia. ⁶ Observatorio Astronómico Ramón María Aller. Universidade Santiago de Compostela

Introducción

La entrada de grandes meteoroides a la atmósfera terrestre viene anunciada por la aparición de las llamadas bolas de fuego o bólidos que, en ocasiones y sin previo aviso, surcan los cielos. El primer programa fotográfico realizado en todo el mundo se inició en 1951 en la antigua Checoslovaquia bajo el liderazgo del Dr. Znedek Ceplecha, auténtico pionero en esta área. Esta red, cuando estaba únicamente dotada de sólo dos estaciones fotográficas, registró el 7 de abril de 1959 un impresionante bólido de magnitud -19 (Ceplecha, 1961). Por primera vez en la historia se pudo reconstruir la trayectoria de un superbólido y delimitar con precisión a partir de ella la localización de los fragmentos supervivientes, denominados meteoritos. Este histórico meteorito fue llamado Pribram en referencia al pueblo checo donde se recuperaron un total de cuatro meteoritos con una masa de 5.8 kg (Tabla 1). Ceplecha también obtuvo la órbita en el sistema solar del meteoroides progenitor mediante el estudio de la velocidad y la deceleración del bólido. Este éxito sin precedentes motivó la ampliación de la red checa y el desarrollo de dos nuevas redes de registro de bólidos en América. La primera surgió en los Estados Unidos bajo el nombre de *Prairie Camera Network* dirigida por el Smithsonian Astrophysical Observatory. Las múltiples cámaras ubicadas en sus 16 estaciones cubrían un área de un millón de km^2 , manteniéndose activa toda una década entre 1964 y 1974. La segunda surgió en Canadá bajo la denominación de *Canadian Meteorite Observation and Recovery Project Network*. Dotada de doce estaciones que cubrían unos 700.000 km^2 se mantuvo operativa entre 1971 y 1985 (Halliday et al., 1996). Como resultado de este enorme esfuerzo de un seguimiento continuo, ambas redes pudieron determinar las órbitas de cientos de grandes meteoroides, aunque sólo pudieron recuperar dos meteoritos: Lost City e Innisfree respectivamente (McCrosky et al., 1971; Halliday et al., 1978). El único proyecto que desde entonces se ha

mantenido operativo de forma continua ha sido la *European Fireball Network* que aparece como una extensión centroeuropea de la red checa y que actualmente cubre un área de cerca de un millón de km^2 en varios países centroeuropeos. Esta red recuperó en el año 2002 el meteorito Neuschwanstein (Spurný et al., 2003).



Figura 1 — La naturaleza compacta y ligera de la cámara CCD de todo el cielo aquí descrita permite su fácil instalación en una gran variedad de emplazamientos, como la situada originalmente en noviembre de 2002 en la estación astronómica donde se ubican los telescopios robóticos del Proyecto BOOTES en el Centro de Experimentación del Arenosillo del INTA.

Uno de los principales problemas de las redes fotográficas es que requieren un procesado continuo de las placas, con el consiguiente tiempo invertido en el revelado y reducción científica de las observaciones. La fotografía también posee una sensibilidad limitada y no puede ser realizada bajo todo

tipo de condiciones de nubosidad. Por el contrario, la aplicación de las cámaras CCD de gran formato al registro de todo el cielo tiene grandes ventajas. Por ejemplo, se puede realizar un estudio continuo del firmamento incluso bajo cielos parcialmente nublados y su eficiencia cuántica es muy superior a la de la fotografía convencional lo que le permite detectar meteoros y bólidos a grandes distancias. Así pues, aunque el seguimiento continuado del firmamento para el registro de bólidos no es una idea nueva, sí que lo es emplear la extraordinaria sensibilidad de las cámaras CCD para realizar esta labor. Con esas premisas, desde el año 2002 se trabajó al abrigo del proyecto BOOTES (conjuntamente entre el INTA y el CSIC) en el desarrollo de un primer prototipo con tecnología CCD capaz de registrar todo el cielo y aplicarlo simultáneamente al estudio de bólidos y a la detección de fenómenos celestes transitorios que requieren monitorización completa del cielo: explosiones cósmicas de rayos gamma (GRBs), novas, estrellas *a-flare*, etc... En este artículo presentamos algunos de los avances obtenidos en la aplicación de este nuevo e innovador instrumento al estudio de la materia interplanetaria y, a su vez, invitamos a otros grupos a participar en este proyecto.

Un vigía del firmamento con múltiples aplicaciones

El instrumento desarrollado consiste en un detector CCD de 4096×4096 píxeles que incorpora un objetivo gran angular (siendo un “ojo de pez” el más idóneo). Este sistema es capaz de tomar imágenes continuas de todo el cielo en intervalos prefijados (usualmente entre 30 y 45 s para conseguir imágenes estelares puntuales) y es descrito en detalle en Castro-Tirado et al. (2005). Las grandes posibilidades de este instrumento para registrar bólidos y estudiar lluvias de meteoros aparece descrita en Trigo-Rodríguez et al. (2005). La gran eficiencia del detector para registrar bólidos incluso a grandes distancias quedó ejemplificada cuando nuestro primer prototipo en la estación BOOTES-1 en Huelva registró el 27 de enero de 2003 el superbólido de Nador, situado a más de 400 km de distancia. A raíz de ese resultado nuestro equipo está actualmente proyectando nuevas estaciones para un registro continuado del cielo en Andalucía, Cataluña, la Comunidad Valenciana y Galicia. Sería nuestro deseo que otros grupos españoles apoyasen la iniciativa y contactasen con nosotros para ubicar estas cámaras en observatorios y centros de investigación. Dada la naturale-

za del detector y la corta exposición requerida es posible ubicarlas incluso en lugares medianamente iluminados. Además, el hecho que sean cámaras compactas y de reducidas dimensiones facilita su instalación y permite que puedan pasar desapercibidas (figura 1). Cabe destacar que la necesaria triangulación y sincronía del trabajo de monitorización del cielo requiere un esfuerzo conjunto que, como mencionamos anteriormente, además es aplicable a otros campos de investigación en los que se requiere un registro continuo del firmamento. Con el establecimiento de la estación BOOTES-2 en Málaga en julio de 2004 está siendo posible monitorizar el cielo sobre Andalucía como demuestran los bólidos registrados en los últimos meses (figuras 2 y 3). Actualmente nuestro sistema de registro continuo, completamente informatizado, permite el acceso remoto a todas las imágenes obtenidas lo que proporciona una gran ventaja a la hora de poder recuperar meteoritos. Ello permite la detección de bólidos, el tratamiento y la reducción de las imágenes en tiempo récord. Como un ejemplo de este avance, podemos mencionar la determinación de la trayectoria del bólido Ceuta que se desintegró sobre el Mar Mediterráneo el 2 de junio de 2005 (véase figura 4).



Figura 2 — Bólido profundizando en la atmósfera sobre Almería el pasado 30 de julio de 2005 a las $0h03m15s \pm 15s$ TUC y registrado por la estación de BOOTES-2 en La Mayora (cortesía INTA-CSIC-Univ. Valencia).

Objetivos de la red española de investigación sobre bólidos y meteoritos

Desde 1997 la Red Española de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos viene realizando tareas de registro continuado del cielo para registrar meteoros y bólidos. Hasta el año 2002 la mayoría de observaciones se realizaban empleando cámaras CCD o fotográficas e incrementando el número de estacio-

nes de registro gracias al apoyo de la comunidad amateur. A mediados del 2004 las primeras dos cámaras situadas en las estaciones de BOOTES-1 y BOOTES-2 en Huelva y Málaga han emprendido una monitorización continua de la atmósfera sobre Andalucía occidental lo que supone un hito por ser la primera red digital de alta resolución empleada para registrar la actividad meteórica.

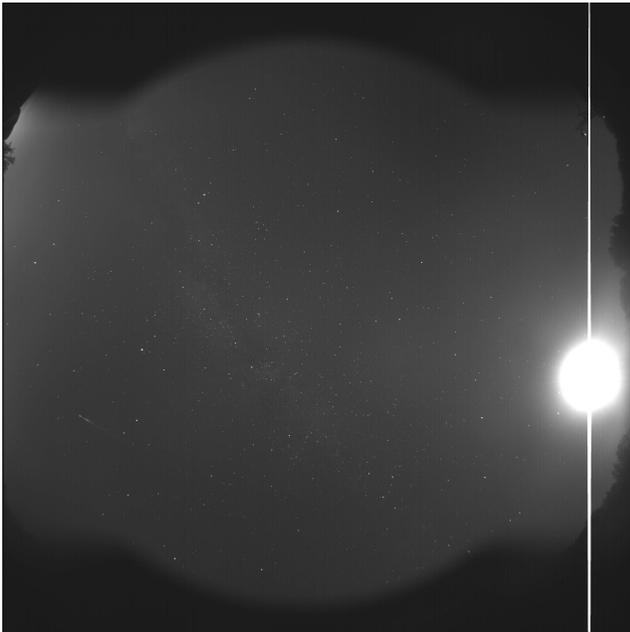


Figura 3 — *El registro continuo de todo el cielo hace que esta cámara pueda también emplearse como detector de nubes, incluso pese a la presencia de la Luna. Esta imagen muestra un bólido de las Perseidas sobre la cabeza del Dragón aparecido el 28 de julio de 2005 a las 1h39m15s±15s TUC.*

Por último cabe mencionar que el contacto entre los diferentes grupos involucrados en el marco común de la Red de Investigación sobre Bólidos y Meteoritos (www.spmn.uji.es) ha permitido crear una infraestructura que está proporcionando grandes progresos en este campo. Un ejemplo es el estudio de bólidos registrados en pleno día que requieren obtener la mayor información posible de fotografías y vídeos obtenidos por testigos casuales. En este sentido, el resultado más importante ha sido la recuperación por parte de nuestro equipo del meteorito Villalbeto de la Peña caído en este pueblo palentino el 4 de enero de 2004. El bólido, producido por un meteoróide de una masa inicial de 750 ± 150 kg, alcanzó magnitud -17 ± 1 siendo no sólo registrado en vídeo sino también por una estación sísmica y otra de infrasonidos, lo cual permitió estimar la energía depositada en la atmósfera (0.02 kilotones) por tres métodos independientes (Llorca et al., 2005). Además, las imágenes casua-

les del bólido desde varios lugares han permitido reconstruir por primera vez en España (y novena en el mundo) la trayectoria y órbita en el sistema solar del cuerpo progenitor del meteorito que indica su procedencia en el cinturón principal de asteroides (Trigo-Rodríguez et al., 2006).

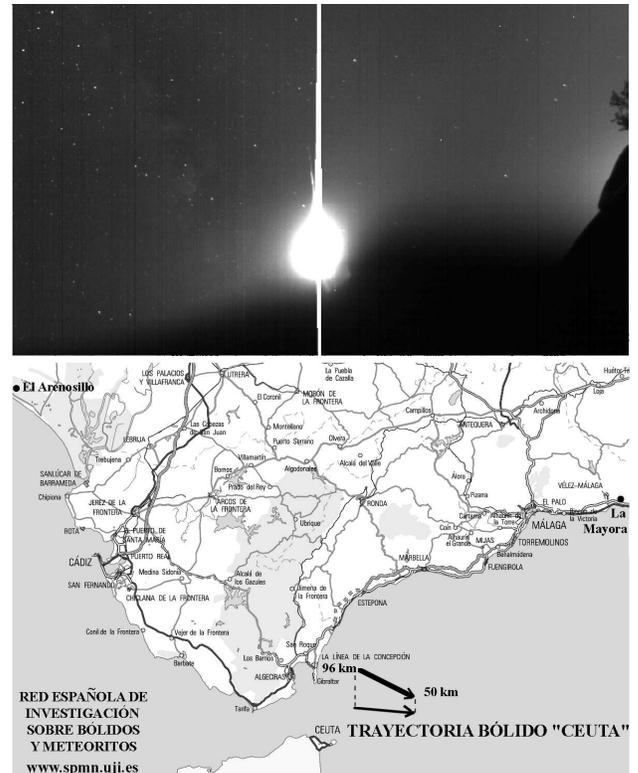


Figura 4 — *Arriba puede verse el superbólido ‘Ceuta’ registrado el 30 de junio de 2005 a las 02h21m22s±8s TUC desde la estación de La Mayor (imagen INTA-CSIC-Univ. Valencia). Abajo aparece la trayectoria proyectada sobre el suelo en base a las imágenes tomadas por sendas cámaras ubicadas en la Estación de Sondeos Atmosféricos del INTA en El Arenosillo (Huelva) y en la Estación Experimental de La Mayor del CSIC en Algarrobo (Málaga).*

Agradecimientos Queremos dejar constancia del apoyo continuado a este proyecto por parte del INTA, del CSIC y de la Universidad de Valencia, así como la labor realizada por M. Jelínek, S. Vítek, P. Kubánek, A. de Ugarte Postigo, T. J. Mateo Sanguino, J. A. Adame, M. Boa, N. Melida, T. Soria, R. Fernández, B. Troughton, F. Gálvez, B. de la Morena y J. Torres.

Referencias

Castro-Tirado A.J., Kubánek P., Jelínek M., de Ugarte Postigo A., Vítek S., Mateo Sanguino T.J., Trigo-Rodríguez J.M. 2005, "An all-sky CCD ca-

mera for continuous recording of the night sky down to 10th magnitude”, A&A, enviado.

Cepelcha Z. 1961, "Multiple fall of Pribram meteorites photographed", Bull. Astron. Inst. Czech. 12:21-47.

Halliday I., Blackwell A. T. & Griffin A. A. 1978. The Innisfree meteorite and the Canadian camera network. J. Roy. Astron. Soc. Canada. 72:15-39.

Halliday I., Griffin A.A. and Blackwell A. T. 1996. Detailed data for 259 fireballs from the Canadian camera network and inferences concerning the influx of large meteoroids. Meteoritics & Planetary Science 31:185-217.

Llorca J., Trigo-Rodríguez J.M., Ortiz J.L., Docobo J.A., García-Guinea J., Castro-Tirado A.J., Rubin A.E., Eugster O., Edwards W., Laubenstein M., and Casanova I. 2005, "The Villalbeto de la Peña meteorite fall: I. Fireball energy, meteorite recovery, trewn field and petrography", Meteoritics & Planetary Science 40, 795-804.

McCrosky R.E., Posen A., Schwartz G. & Shao C.-Y. 1971. Lost city meteorite: its recovery and a comparison with other fireballs. J. Geophys. Res. 76, pp.4090-4108.

Spurný P., Oberst J., Heinlein D. 2003, "Photographic observations of Neuschwanstein, a second meteorite from the orbit of the Pribram chondrite", Nature 423:151-153.

Trigo-Rodríguez J.M., Castro-Tirado A., Llorca J., Fabregat J., Martínez V.J., Reglero V., Jelínek M., Kubánek P., Mateo T., de Ugarte Postigo A. 2005, "The development of the Spanish Fireball Network using a new all-sky CCD system", Earth, Moon and Planets, publicado online.

Trigo-Rodríguez J.M., Borovicka J., Spurný P., Ortiz J.L., Docobo J.A., Castro-Tirado A.J., Llorca J. 2006, "The Villalbeto de la Peña meteorite fall: II. Determination of atmospheric trajectory and orbit", Meteoritics & Planetary Science, en prensa.

Nombre del meteorito	País	Año	Masa recuperada (kg)	Tipo de meteorito
Príbram	República Checa	1959	5.8	H5
Lost City	EUA	1970	17	H5
Innisfree	Canadá	1977	4.58	L5
Peekskill	USA	1992	12.57	H6
Tagish Lake	Canadá	2000	5-10	CI?
Morávka	República Checa	2000	1.4	H5-6
Neuschwanstein	Alemania	2002	6.2	EL6
Park Forest	EUA	2003	18	L5
Villalbeto de la Peña	España	2004	5	L6

Tabla 1 — Meteoritos recuperados cuya órbita heliocéntrica ha podido ser determinada hasta la fecha.

DE LA ARQUEOASTRONOMÍA A LA ASTRONOMÍA CULTURAL

Juan Antonio Belmonte Avilés

jba@iac.es

Resumen

Este artículo de revisión presenta un acercamiento novedoso y certero a la investigación sobre una disciplina, la arqueoastronomía, que, aunque controvertida en ciertos círculos académicos, no deja de ser extremadamente interesante e importante como materia auxiliar de ciencias sociales como la arqueología, la antropología o la historia, y en que el empirismo y la metodología de una ciencia experimental, como la astronomía, juegan un papel determinante. Este acercamiento se produce gracias a más de una década de experiencia del autor en el campo que le han llevado a investigar, desde su base originaria en las Islas Canarias, lugares cercanos como el Magreb, la Península Ibérica o las islas del Mediterráneo occidental, a otros más distantes como Egipto, México, Perú o la isla de Pascua.

Abstract

In this review paper, a new and sharp approach to archaeoastronomy is presented. This is a very interesting but controversial discipline which serves as an auxiliary subject to social sciences such as archaeology, anthropology or history, where the tools and methodology of astronomy play a most relevant role. This approach is performed thanks to the long lasting experience of the author in the subject after more than a decade of intensive research in the field from his original base in the Canary Islands. The paper presents acute and actualised information about several places, and cultures, from Western Europe to Easter Island, including ancient Egypt and Pre-Columbian Mexico or Peru.

Introducción

Uno de los temas en que la astronomía siempre ha jugado un papel determinante, casi en cada lugar y en cada época, ha sido en la determinación de

un calendario con el que gobernar los ciclos del tiempo, ya fuesen éstos de carácter económico, social, político o religioso. Hace ya algún tiempo detecté una curiosa extravagancia de una de las formas de medir el tiempo más común en nuestros días pues, no en vano, es por la que rigen sus asuntos sociales y religiosos nada menos que un quinto de la humanidad.

Una de las características del calendario musulmán es su carácter puramente lunar, por lo que sus meses se desplazan a lo largo de las estaciones. Otra es que los meses lunares deben empezar con la observación real del primer creciente según reza el Corán. Por tanto, el mes sagrado del Ramadán debiera comenzar, en un lugar determinado, cuando se vea el creciente en dicho lugar, independientemente de la orografía o la meteorología. Esto causa no pocos problemas a las sociedades islámicas y es un tema de continuo debate en su seno. Qué mejor que usar las palabras de un intelectual musulmán de reconocido prestigio, el tunecino Mohamed Charfi, escritas en su libro *Islam y Libertad* (2001), para acercarnos al problema:

... cuando el Corán dice en el versículo 185 de la azora II “Aquel de vosotros que vea la nueva luna, que ese mes ayune”, se dirige a las tribus de Arabia que no tenían un calendario preciso y que adoptaban los meses lunares que empezaban cuando “se ve con los ojos” el creciente del nuevo mes. Por respeto a prácticas milenarias y por apego a la interpretación literal de los textos sagrados, el mundo musulmán padece todavía la imprecisión de su calendario. Se saben los días de fiesta, así como el inicio y el final del mes de Ramadán solamente algunas horas antes. Como si fuera imposible hoy día para los musulmanes calcular los días y las horas de la conjunción del sol y de la luna mientras “otros” saben enviar sondas espaciales en torno a Júpiter y a Saturno.

A decir verdad, es un hecho constatado que las fiestas se celebran a veces en instantes diferentes para países distintos y, en algunas ocasiones, incluso en diversas áreas de un mismo país, lo que, en cierto sentido, quiebra el carácter de una única comunidad de creyentes que Mahoma había querido crear. Es obvio que esta circunstancia causa cierto malestar por la aparente inferioridad científica

que supone para la sociedad musulmana cuando, curiosamente, fue esa necesidad de aplicar correctamente los preceptos coránicos, como es el caso de la correcta orientación de las mezquitas (Figura 1) o el cálculo de las horas de oración, lo que produjo el despertar de la astronomía en los territorios del Islam (King 1999, Rius 2000, Belmonte y Hoskin 2002) mientras una buena parte de Europa se sumía en la barbarie.

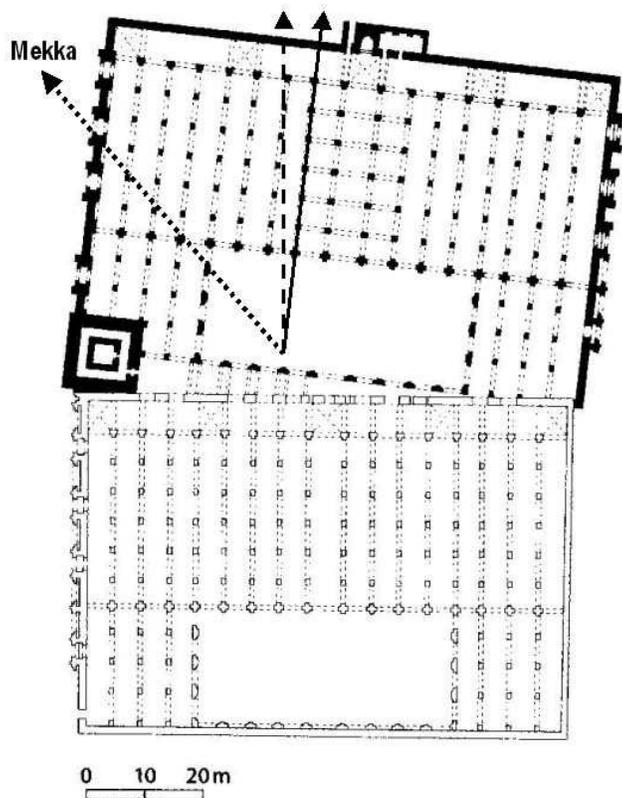


Figura 1 — La orientación correcta de las mezquitas musulmanas siempre planteó un problema debido a la dificultad que supone el cálculo de la longitud. Por ello, numerosos edificios se orientaron no “hacia” la Qaaba, como prescribe el Corán, sino “como” la Qaaba (King 1995). Este es el caso de la Kutubiya de Marrakesh, cuyo plano fue modificado (trazo oscuro) en el siglo XII para orientarla correctamente al orto de la estrella Canopo aunque eso significase una orientación peor hacia La Meca.

Sin embargo, es otra característica del precepto religioso islámico con respecto al ayuno el que crea el problema más curioso y extravagante que se comentaba anteriormente. El libro sagrado dice que se debe ayunar desde la salida a la puesta del sol (en realidad entre los dos crepúsculos). Desde que comenzamos a estudiar los conceptos astronómicos de la religión islámica nos dimos cuenta de que este precepto planteaba un serio problema pues

¿qué debiera hacer un musulmán en las regiones habitadas de la Tierra cercanas al círculo polar ártico, por ejemplo, en junio del año 2016? Ni la pregunta, ni la respuesta son baladíes pues en ese año, el mes de Ramadán, debido al carácter únicamente lunar del calendario musulmán, estará centrado más o menos en la fecha del solsticio de verano, el 21 de junio, por lo que en las regiones árticas nunca se pondrá el sol. Por tanto, un creyente que se encuentre por estas latitudes estará obligado a faltar a uno de los cinco pilares básicos del Islam, a emigrar o a morir de inanición. Si bien es cierto que el propio Corán pudiera tener la solución en una lectura laxa del mismo, pues no habría más que postergar el ayuno a fechas más viables, el problema se planteó no hace mucho a la comunidad musulmana, que decidió adoptar una solución salomónica no exenta de serios problemas de índole teológica. Sigamos las propias palabras de Charfi para acercarnos al problema desde una perspectiva islámica:

A principios del siglo XX, con el envío de embajadores y los viajes de musulmanes a los países nórdicos, se les planteó a los ulemas el problema del horario de ayuno del Ramadán. Abstenerse de beber y de comer entre el amanecer y la puesta de sol es soportable para los habitantes de las zonas ecuatoriales, tropicales y templadas. ¿Qué ocurre en cuanto a los habitantes de las zonas polares donde los días en el verano son interminables? Según el dictamen (fatua) pronunciada entonces, los diplomáticos podían ayunar en función del horario de su país de origen. Es un remedio para salir del paso, porque olvida que puede haber suecos o noruegos atraídos por el Islam y para los cuales la referencia al país de origen no funciona.

Más recientemente, unas asambleas de ulemas de Haidarabad y de El Cairo decidieron que los horarios de la salida y de la puesta de sol del paralelo 45° debían extenderse hasta el polo en cada hemisferio. En otras palabras, de Helsinki a Oslo, los horarios del ayuno serán los de Burdeos.

Este criterio parece una solución razonable, y humana. Sin embargo, como hemos podido comprobar, el Corán afirma taxativamente que se debe ayunar mientras haya claridad en el cielo, por lo que o Mahoma no entendió bien el sentido de la revelación coránica, o Dios se comportaba como un pésimo astrónomo. Curiosamente, ésta es una de esas rarísimas ocasiones en que el “sentido común” ha imperado por encima de la propia palabra divina, revelada al Profeta, y podemos afirmar, parafraseando nuevamente a Charfi, que *ésta es una clara e irrefutable prueba de que el Corán habló el*

lenguaje que entendían los habitantes de Arabia hace catorce siglos, y que además, más allá de esas circunstancias, su texto está a menudo inadaptado y, a veces, es totalmente inaplicable.

Afirmaciones como ésta no son nuevas en la ciencia islámica pues, ya en el siglo XII, Averroes se atrevía a afirmar *categoricamente que allí donde hay una contradicción entre el resultado de la demostración, o de la especulación racional, y el sentido aparente de un enunciado del texto revelado, éste debe ser interpretado*. Curiosamente, Averroes, derrotado en los círculos académicos y jurídicos islámicos por los seguidores de Al Gazali y su *Incoherencia de los Filósofos*, sería maldito y olvidado en el mundo musulmán, pero no así en Europa donde sus especulaciones calarían hondo, permitiendo a la astronomía convertirse en al punta de lanza de la Revolución Científica que cambiaría para siempre nuestra visión del mundo. Por el contrario, la ciencia y la tecnología musulmanas, y por ende la sociedad islámica, aun no se han recobrado de aquel error.

Sin embargo, no podemos olvidar otra conclusión clarificadora de la situación que acabamos de describir. Como hemos podido comprobar, los doctores de la ley (los ulemas), buenos conocedores de la *miqat* (la ciencia astronómica) e intérpretes de la ley divina, se han situado por encima del propio Dios al proponer soluciones lógicas a problemas planteados por el texto sagrado. Como podemos imaginar, esto significa de hecho un poder enorme.

La astronomía, en el sentido amplio del término, ha jugado pues un papel siempre predominante en la mayoría de las culturas que en el mundo han sido. Aun hoy, en nuestra civilización tecnológica donde la ciencia juega un rol bastante determinante, la astronomía es capaz de inflamar las mentes de millares de personas más por su papel cultural, en tanto en cuanto indaga en las respuestas a las preguntas que intentan situar a la humanidad en el Cosmos, que por su propio rol, como ciencia empírica, en el desarrollo científico y tecnológico, aunque esto puede ser una opinión personal y por tanto cuestionable.

La intención de este artículo es reflejar ese rol singular de la astronomía con un cierto número de ejemplos elegidos adecuadamente donde se ilustra cómo una disciplina, a la que denominamos habitualmente arqueoastronomía, se acaba convirtiendo en otra de sentido y miras más amplias como es la astronomía cultural.

Estado de la Cuestión

Hace poco más de una década que un grupo de científicos entusiastas del Instituto de Astrofísica de Canarias pusieron en marcha una línea de trabajo que era pionera en la investigación española, no así a nivel europeo o mundial, y que al poco tiempo daría sus primeros frutos en un libro *Arqueoastronomía Hispana* (Belmonte 1994). Sin embargo, desde entonces, muchas cosas han cambiado en esta disciplina y una de las más importantes ha sido sin duda la sustitución del lenguaje “astronómico” por otro más próximo desde el punto de vista epistemológico al de las ciencias sociales.

No nos engañemos, la arqueoastronomía no es una línea de investigación más dentro de la astrofísica moderna, ni sirve a su fin fundamental cual es el avance del conocimiento físico del Universo. Hoy, por el contrario, la arqueoastronomía es una especialidad que se enmarca de lleno en los estudios antropológicos, al servicio de disciplinas como la arqueología del paisaje (en el sentido totalizador del término paisaje), la historia de las religiones o, lo que viene a ser casi lo mismo, la arqueología del poder. Por tanto, un astrónomo formado únicamente y principalmente como físico o matemático difícilmente podrá encontrar una respuesta a la mayor parte de las preguntas que se han de plantear o será incluso incapaz de llegar a plantearlas. En realidad, el tan cacareado carácter interdisciplinario de la arqueoastronomía se debe a la necesidad de dominar una serie de técnicas difícilmente accesibles a los antropólogos, arqueólogos e historiadores, como son la astronomía de posición o la mecánica celeste, cuyas bases epistemológicas, al igual que las del método científico, o herramientas básicas (como la trigonometría esférica), estos especialistas en su mayoría desconocen.

Siempre se ha argumentado, incluido el que suscribe, que la colaboración entre arqueólogos y astrónomos es necesaria para llevar adelante una investigación adecuada en el marco de la arqueoastronomía. Mi opinión actual, después de más de una década de experiencia en el campo, y la de muchos de mis colegas, es que lo que en realidad hace falta es un reciclaje casi completo del astrónomo o del antropólogo de turno que deberá convertirse en un verdadero arqueoastrónomo, olvidando muchas de las referencias epistemológicas aprendidas en sus largos años de formación y aprendiendo otras nuevas que le eran completamente desconocidas. Eso no quita para que, en momentos puntuales, un astrónomo reciclado pueda recurrir al consejo de un colega arqueólogo o historiador que pueda ayudarle a responder alguna cuestión

de difícil solución, o, por el contrario, que un antropólogo reciclado pueda acudir a un astrónomo para que le solucione algún problema técnico especialmente complicado. Pero, no por ello, todo lo que se estudia en arqueoastronomía ha de tener necesariamente el marchamo de interdisciplinariedad.

La arqueoastronomía tiene otro problema importante y es el quedar definida en esa especie de tierra de nadie en que ni los astrónomos, o astrofísicos, la reconocen como propia (aunque esto, afortunadamente empieza a cambiar), ni los arqueólogos o historiadores acaban de comprender muy bien cual es su utilidad, salvo en casos muy puntuales, al contrario de lo que ocurre con otras facilidades de las ciencias experimentales como, por ejemplo, el uso del C14 en la datación, que son ampliamente aceptadas. Por este motivo, la arqueoastronomía es quizás la única disciplina científica cuyo título (el de arqueoastrónomo) pueden arrojarse sin rubor supuestos investigadores de todo tipo que usan, y abusan, de sus poderosas herramientas físicas y matemáticas para proponer teorías históricas absolutamente descabelladas, para horror de arqueólogos y antropólogos, y para nuestra desesperación al comprobar como nuestros esfuerzos por obtener un cierto grado de reconocimiento pueden quedar en agua de borrajas por unos pocos miembros destacados del “*lunatic fringe*”.

Por ello, en el congreso anual de la Sociedad Europea para la Astronomía en la Cultura (SEAC) celebrado en Estocolmo en el verano de 2001 propuse un marco de actuación del tipo de trabajo de investigación que se puede llevar a cabo en arqueoastronomía. Esta marco se divide en cinco niveles o categorías que, de mayor a menor credibilidad, serían las siguientes: trabajo formal, especulación seria, especulación simpática, especulación salvaje y un último nivel que, por su mejor caracterización, sigo nombrando en lengua inglesa como “*making money*”.

La frontera entre lo que es ciencia y lo que no, se podría situar en algún punto entre la especulación simpática y la especulación salvaje mediante la aplicación de reglas tan básicas como la Navaja de Ockham o el Principio de Economía que, sin embargo, hemos de reconocer que no son de aplicación universal, como veremos más adelante.

Entrando ya de lleno en los objetivos de este artículo vamos a ver cómo se ha desarrollado, en estos últimos años, la investigación en arqueoastronomía o, más general, en el marco de la astronomía cultural, para aquellos a los que el término arqueoastronomía pueda inducir a error, a disgusto o sim-

plemente lo consideren inadecuado por no incluir áreas tan significativas de la investigación como pueden ser la etnoastronomía o la propia historia de la astronomía. Para ello nos ceñiremos al marco referencial establecido (el de los cinco niveles) y sobre todo a aquellas regiones, referentes o culturas que conocemos mejor, bien por haberlas investigado directamente, como puede ser el fenómeno megalítico, las culturas insulares o el Egipto antiguo, o por haber sido trabajadas por investigadores de confianza cuyo trabajo conocemos y valoramos positivamente.

En realidad, el rango geográfico y temporal de actuación de la arqueoastronomía es tan amplio que creemos necesaria esta restricción. De hecho, podemos catalogar de arqueoastronomía cualquier estudio de las prácticas de observación del cielo con fines culturales (religión, adivinación, arquitectura, decoración, pintura, planificación de ciudades, medida del tiempo, navegación, etcétera) en cualquier región del planeta que no se consideren una contribución directa al estudio de la historia de la ciencia astronómica moderna y, aun en este caso, la frontera quedaría muy difuminada.

Así por ejemplo, en el caso Europeo, tradicionalmente se considera arqueoastronomía el estudio del fenómeno megalítico, pero también de las prácticas astronómicas de las sociedades cristianas medievales (McCluskey 1998) o incluso de las sociedades agrarias modernas (véase, por ejemplo, Belmonte y Sanz de Lara 2001), aunque aquí el término más adecuado sería quizás etnoastronomía. En realidad, la presencia de textos escritos, como en el caso del antiguo Egipto o China, tampoco implica necesariamente un cambio de paradigma pues en muy contadas ocasiones esos textos “astronómicos” contribuyen al estudio de la astronomía como ciencia mientras que, por el contrario, pueden ser extremadamente útiles para entender el marco cultural en que se han desarrollado.

Esta peculiaridad queda reflejada en las dos revistas de mayor prestigio en este campo de investigación: *Archaeoastronomy: the Journal for Astronomy in Culture*, editada por la Universidad de Texas, que publica artículos “clásicos” de la disciplina, y *Journal for the History of Astronomy*, editada por la Universidad de Cambridge que hasta hace poco (2002) publicaba un suplemento anual llamado propiamente *Archaeoastronomy* con artículos específicos, pero que en la actualidad publica indistintamente artículos de astronomía cultural en el sentido más amplio del término que se mencionaba con anterioridad.

Finalmente, antes de comenzar, vamos a mencio-

nar un principio que nos parece muy útil a la hora de hacer afirmaciones categóricas sobre una determinada investigación. Este principio se resume en una frase que en latín reza *Testis Unus, Testis Nullus*, o lo que es lo mismo, que un único caso de algo (un ejemplo, un experimento, una prueba) no es indicio suficiente para elaborar una hipótesis y, mucho menos, una teoría puesto que no es falsable. Este principio, que como veremos tendrá implicaciones curiosas en nuestra discusión, debiera aplicarse de hecho a cualquier tipo de actividad científica. Por ejemplo, es probable que de no habernos empeñado durante décadas en que todos los sistemas planetarios debían ser similares al nuestro (un *unicum*), no hubiéramos tenido que esperar a la detección de 51 Pegasi (Mayor y Queloz 1995) para poder confirmar la existencia de exoplanetas en torno a otras estrellas de tipo solar, pues existía desde hacía tiempo la tecnología adecuada para detectarlos, especialmente mediante el sencillo método de los tránsitos (Alonso 2005).

De la especulación simpática a la salvaje

Como hemos comentado en los párrafos anteriores, una especulación simpática siempre cabalga en el filo de la Navaja de Ockham. Desgraciadamente son muchos los campos de las ciencias sociales en que las incertidumbres son mucho mayores que las certezas. La arqueoastronomía, como disciplina auxiliar de éstas sufre exactamente los mismos inconvenientes.

Ahora, en primer lugar vamos a mencionar un tipo específico de estudios en que este problema queda patente. Se trata de la interpretación astronómica del arte rupestre, en especial de las elaboradas manifestaciones del Paleolítico, de interpretación bastante problemática en la mayoría de los casos (véase, por ejemplo, Antequera 1994 o Rappenglueck 1999) o los cientos de grabados y pinturas fechados en el Neolítico o en la Edad del Bronce de los que desconocemos prácticamente todo, bien por estar muy lejanos en el tiempo, por la falta de un registro arqueológico importante o por carecer de escritura los pueblos que los elaboraron. Un caso particular y diferente es el del arte “paleolítico” de los aborígenes australianos, pues los descendientes directos de los artistas siguen viviendo hoy en día y no hace mucho que su cultura se adhirió a la modernidad. En este caso las fuentes etnoastronómicas (Haynes 2000) pueden ser, y de hecho han sido, de un gran valor a la hora de interpretar correctamente muchas de las manifestaciones

rupestres.

El arte rupestre del Neolítico y de la Edad del Bronce, sobre todo en Europa y la cuenca mediterránea, se nos muestra especialmente problemático con sus variadas y múltiples manifestaciones y figuras muy estilizadas, entre las que podría encontrarse el primer reloj de sol elaborado por el hombre, grabado en una de las piedras que circundan el túmulo de Knowth (Kelley y Milone 2005), o la primera representación de la luna llena incisa en las rocas del Alto Atlas (Belmonte y Hoskin 2002). La interpretación astronómica de otras representaciones, como el caso de las frecuentes espirales y círculos concéntricos, son siempre difíciles de verificar y aceptar.

Mucho más problemático, sin embargo, es querer ver representaciones realistas de un sector del cielo en un determinado momento, como por ejemplo un eclipse de sol o de luna, el paso de un determinado cometa o la explosión de una supernova, en centenares de paneles más o menos complicados de grabados rupestres (véase, por ejemplo, Henriksson, 1999). Desafortunadamente, estas hipótesis rayan en su mayoría en el marco de la especulación salvaje.

En este mismo sentido, un caso especialmente difícil es el de las cazoletas. Este tipo de manifestación rupestre, en que un número indeterminado de hoyos, que puede ser desde uno hasta varios centenares, son esculpidos en la roca, se encuentra distribuida por todo el orbe pero son excepcionalmente abundantes, de nuevo, en las fachadas atlánticas de Europa y África. Muchas de ellas se encuentran en paneles horizontales y asociadas a redes más o menos complicadas de canales y canalillos, por lo que frecuentemente son relacionadas con cultos a la fertilidad, siendo su supuesto fin la realización de libaciones rituales. En otros casos, su lectura es mucho más prosaica, al ser funcionales como captadores de agua en áreas singularmente áridas como pudiera ser el caso del Archipiélago Canario, donde las estaciones de canales y cazoletas son especialmente abundantes. Sin embargo, también es cierto que algunas de estas cazoletas se encuentran en paneles verticales. Igualmente, son numerosos los monumentos megalíticos, como los dólmenes de Alberite o Soto en la Península Ibérica, que incluyen cazoletas entre la decoración de sus ortostatos o de sus piedras de cubierta, muchas de ellas boca abajo y, por tanto, no funcionales en la mayoría de los casos. Esto ha llevado a pensar que estas cazoletas podrían haber tenido más de una lectura aunque, nuevamente, se las suele relacionar con cultos a la fertilidad.

En el marco que nos ocupa, además de la idea de que las cazoletas puedan ser un tipo de regla mnemónica para recordar ciertas cifras importantes asociadas a ciertos ciclos astronómicos (una explicación recurrida y recurrente), una de las hipótesis que con más frecuencia se ha escuchado en estos últimos años es que las cazoletas representan estrellas. Por tanto, un conjunto pequeño de cazoletas representará un asterismo o una constelación y un gran panel toda una región del firmamento, es decir, una especie de planisferio celeste. Esta explicación posee muchos atractivos pero, a su vez genera no pocos inconvenientes. Se pueden encontrar ejemplos tanto a favor (muy pocos) como en contra de la hipótesis y si, en algunos casos, los conjuntos de cazoletas puede ser meros captadores de agua, hay otros casos, documentados etnográficamente (por ejemplo en el Sahara central, Belmonte y Hoskin 2002), en que un cierto conjunto de cazoletas representa con seguridad a una cierta constelación. Como siempre, debemos aplicar las reglas de las que nos hemos dotado y ser extremadamente cautos.

La relación entre las estrellas y los cultos de la fertilidad es muy antigua en el Mediterráneo. No en vano, el Lucero Vespertino ha sido asociado por numerosas culturas a su diosa de la fecundidad, llámese Astarté, Afrodita o Venus, y asterismos singulares, como las Híades entre los antiguos griegos o las Pléyades entre los árabes preislámicos (Forcada Nogués 1994), han sido frecuentemente asociados a la lluvia. En realidad, parte de esta tradición ha pervivido hasta hoy tal como se ha podido constatar en la investigación etnoastronómica realizada en el Archipiélago Canario (Belmonte y Sanz de Lara 2002) donde el Lucero Vespertino es asociado reiteradamente a la llegada de la estación de las lluvias en todo el archipiélago. Por tanto, quizás, en una primera aproximación, sería posible presuponer que al menos algunos conjuntos de cazoletas pudiesen representar imágenes plásticas de determinadas regiones del cielo o de constelaciones.

Sin embargo, lo que sí que es una locura es tratar de reconocer patrones estelares en los centenares de conjuntos de cazoletas que se encuentran pues, aun en el caso, bastante improbable y, desgraciadamente, hartamente indemostrable de que fuera cierta la hipótesis de que algunas de ellas representan estrellas, en el conjunto analizado no debiéramos ver más que una representación plástica de la visión del cosmos de la población que las labró. En ningún caso creo que debamos buscar un mapa del cielo, tal y como lo entendemos hoy en día. Ir más

allá nos sitúa de lleno en el campo de la especulación salvaje y el investigador que la lleva a cabo puede estar sufriendo un caso paradigmático de pareidolia (Esteban, comunicación privada), actividad por la que nuestro cerebro trata de identificar patrones reconocibles, normalmente asociados a la cultura propia del investigador, en figuras o imágenes naturales o distribuciones aleatorias de elementos que, de otra manera, carecerían completamente de sentido.

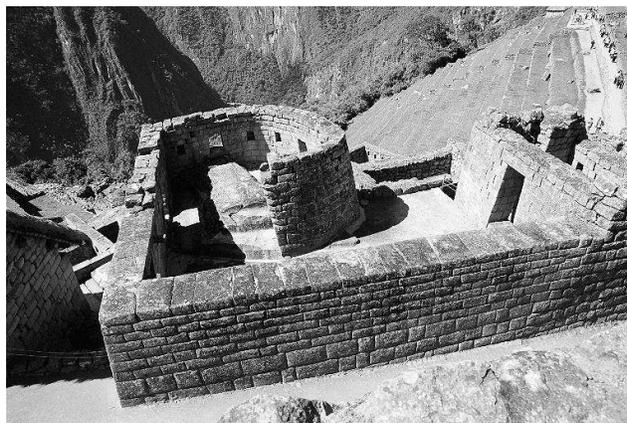


Figura 2 — El templo del sol en Machu Picchu. Esta estructura fue conocida primero como el “torreón”, y la defensa su supuesta razón de ser, en los ochenta, arqueoastrónomos norteamericanos establecieron conexiones razonables entre su orientación y la colocación de algunas de sus ventanas con el orto de las Pléyades y la salida del sol en el solsticio de junio. En fechas recientes se ha convertido en uno de los lugares de culto de aquellos que reconocen en esta singular ciudad un foco de energías cósmicas donde los astros se conectan con la tierra, imagen favorecida desafortunadamente por los guías locales que ven pirámides donde no las hay, energías manando de la Intihuatana, morteros como instrumentos astronómicos o piedras levitando de unos lugares a otros.

Por ello, lo que está ocurriendo en los monumentos incaicos del Perú, especialmente en el área de Cuzco, puede llegar a poner los pelos de punta. Los guías locales, influenciados por publicaciones espurias (véase, por ejemplo, Sánchez Macedo 2000, Elorrieta y Elorrieta 2002), que en algunos pocos casos muestran informaciones curiosas, han convertido la arqueoastronomía en una disciplina al servicio de las especulaciones más salvajes que, por ejemplo, en Machu Picchu (Figura 2), hacen de la *Intihuatana* (“el lugar donde se amarra el sol”, así bautizado por el descubridor del lugar) un lugar para captar las energías cósmicas o de una simple cocina, con dos morteros labrados en la roca, un observatorio con sofisticados dispositivos (los pro-

pios morteros) para la observación de las estrellas.

Sin embargo, llegar a un determinado emplazamiento arqueológico, o a veces incluso natural (hemos encontrado casos espectaculares presentados a congresos que luego, afortunadamente, no fueron plasmados en la publicación de las memorias), y empezar a trazar líneas en todas direcciones en búsqueda de alineamientos astronómicos es para mí el ejemplo más claro de especulación salvaje. Como es obvio, la probabilidad de encontrar un alineamiento solar o lunar o, en su defecto, a una estrella brillante en una cierta época debido a la precesión es bastante alta.

Aún a pesar de que pueda parecer chocante a muchos de los lectores, que en su mayoría serán astrónomos, eso es precisamente lo que ha ocurrido durante décadas en el caso particular de Stonehenge. Desde la publicación de *Stonehenge Decoded* (Hawkins 1965), donde se afirmaba la existencia de decenas de alineamientos astronómicos e incluso la capacidad de la construcción de funcionar como predictor de eclipses, numerosos libros de astronomía mencionan que este singular monumento megalítico del sudoeste de Inglaterra es un “observatorio astronómico” y algunas obras importantes se atreven a afrontar el estudio de la cosmovisión de la humanidad neolítica con el gran cromlech como referente (North 1996). Sin embargo, después de décadas de incansables debates, la mayoría de los expertos en el tema (véase, por ejemplo, Ruggles 1999) están de acuerdo en aceptar como mucho uno, o a lo sumo dos, de los alineamientos astronómicos como presumiblemente funcionales y al propio Stonehenge más como un monumento funerario que como cualquier otra cosa (Figura 3). De hecho, hasta el alineamiento solsticial principal podría ser cuestionado si aplicamos la regla *testis unus, testis nullus* al no existir otro monumento de características parecidas dentro del mismo marco cultural, ¿se imaginan por un momento donde quedaría toda la parafernalia en torno a Stonehenge si se descubriese otro monumento similar que no mostrase los mismos alineamientos astronómicos?

Sin embargo, nadie está libre de caer en la especulación salvaje y es especialmente curioso ver cómo reputados astrónomos, matemáticos o ingenieros que aplican el Principio de Economía, la Navaja de Ockham o el Método Científico en los trabajos de investigación de su propia disciplina, pierden completamente los papeles cuando se meten a arqueoastrónomos sin contar con las debidas herramientas epistemológicas ni los conocimientos necesarios.



Figura 3 — El eje principal de Stonehenge mostrando su posible orientación bien a la salida del sol en el solsticio de verano o a su puesta en el de invierno. Este singular monumento funerario es un unicum en su género y por tanto, aplicando la regla “*testis unus, testis nullus*”, cualquier especulación sobre su significado astronómico debiera considerarse con suma cautela.

En este caso particular, se escribe con conocimiento de causa porque esto le ha ocurrido al propio autor de este artículo cuando hace algunos años, cuando aun era un investigador bisoño en el campo, creyó identificar un “observatorio” prehistórico en un cierto conjunto de majanos de piedra de la montaña de Izaña, donde se encuentra el Observatorio del Teide, y que luego resultaron ser simples amontonamientos recientes de piedra para la construcción de carreteras (Figura 4). Otro buen ejemplo de ello sería el caso del disco de Nebra (Figura 5), un supuesto mapa estelar y dispositivo astronómico de la Edad del Bronce del que se han publicado variadas hipótesis por parte de reputados astrónomos y arqueólogos, a decir verdad sin mucho fundamento (González García 2004), cuando, en realidad, algunos especialistas aun dudan incluso de su propia autenticidad.

En realidad, la entrada a este nivel suele ser motivada por la huida hacia delante de ciertos planteamientos indemostrables que llevan al investigador a un callejón sin salida, por lo que, en vez de rectificar, se realizan nuevas propuestas cada vez más fantásticas e increíbles que las anteriores. El resultado final es que, gracias a una especie de revelación, se genera un gran “misterio” por la existencia de asombrosos conocimientos astronómicos en un cierto marco cultural de los que no se tenía noticia con anterioridad hasta que la arqueoastronomía fue capaz de desvelarlos (véase, por ejemplo, Ochoa de Zabalegui 1998 para el contexto del imaginario vasco).

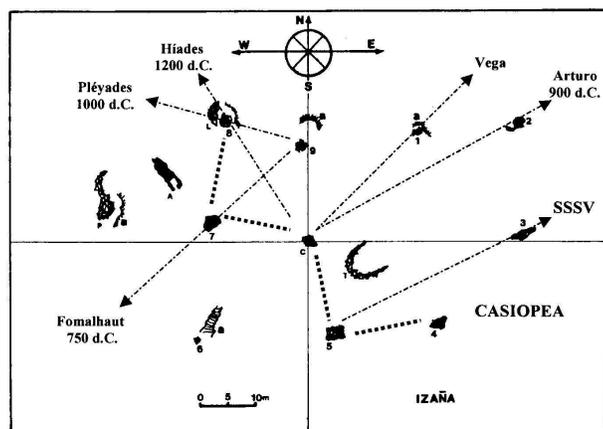


Figura 4 — Plano de conjunto de unos supuestos majanos de factura aborigen de la montaña de Izaña, en la isla canaria de Tenerife (en realidad una cantera de piedras para la construcción de carreteras). Como se pudo comprobar, existían numerosos alineamientos astronómicos entre ellos, tanto solares como lunares y estelares (solo se representan algunos de ellos para no enmarañar la imagen) e incluso representaciones sobre el terreno de ciertas constelaciones (en la figura, en línea de trazo grueso, Casiopea). Hoy sabemos que todo ello eran falacias sin ninguna base científica. Afortunadamente, nunca se publicó semejante barbaridad aunque por unos días, debido a una más que evidente falta de experiencia y de criterio, se llegara a creer en los resultados.

Un resultado posible de esa huida hacia delante, que mencionábamos con anterioridad, es el quinto nivel de la clasificación, la capacidad para hacer dinero, es decir, el “making money”.

De la especulación salvaje al “making money”

He preferido usar la expresión inglesa para definir este término porque, quizás por el nivel de vida más elevado de sus ciudadanos, se da más en las sociedades anglosajonas que en el resto del mundo. Este nivel es en algunas ocasiones el corolario o la consecuencia inmediata del anterior por el simple motivo de que los “misterios” venden bien y, más todavía, si están recogidos en forma de un libro con un título atractivo, como por ejemplo *El Misterio de Orión* (Bauval y Gilbert 1995), una portada sugerente, a ser posible que muestre una imagen de las pirámides de Egipto o de Stonehenge, aunque en esto no es difícil caer (véase, por ejemplo, la portada original de *Arqueoastronomía Hispana*), y bellamente ilustrado con hermosas fotografías y elaborados gráficos, como por ejemplo

el libro *Heavens Mirror* de Hancock y Faia (1998). La categoría de *best-seller*, con decenas, e incluso centenares de miles de ejemplares vendidos está casi garantizada.

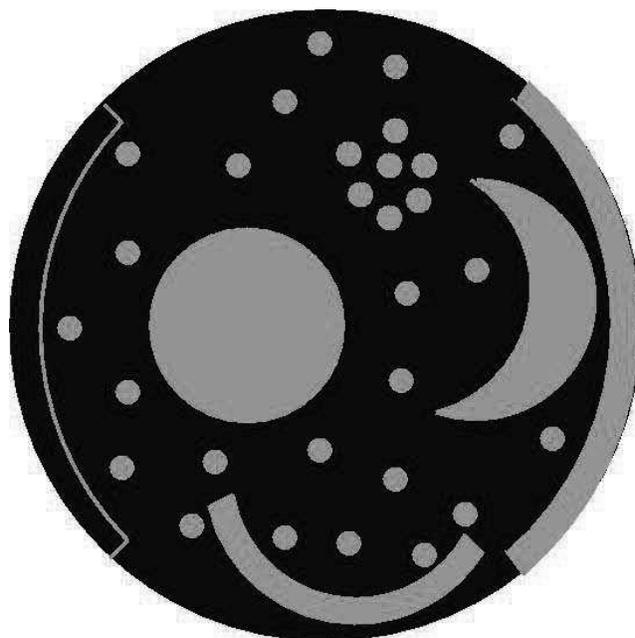


Figura 5 — Esquema del controvertido Disco de Nebra, joya de la arqueoastronomía reciente alemana. Primer mapa celeste elaborado en Europa o simple falsificación? Algunos especialistas creen reconocer en el diagrama a las Pléyades, la luna o el sol, así como los arcos del horizonte de salida y puesta de este último para la latitud del lugar donde se encontró. Estamos de nuevo ante un caso único y sumamente controvertido.

Por el contrario, la ciencia pura y dura e incluso la divulgación científica seria, especialmente en el caso de la arqueoastronomía, no suele rebasar ediciones de unos pocos miles de ejemplares, salvo honrosas excepciones como pudieran ser alguno de los libros del arqueoastrónomo Edwin Krupp como *Echoes of the ancient Skies* (1983), recientemente reeditado por Dover, o *Beyond the Blue Horizon* (1991), por citar sólo un par de ejemplos.

El caso de *El Misterio de Orión* es especialmente representativo pues todo comenzaría como una especulación simpática (las pirámides de Guiza están organizadas según un patrón dictado por la distribución de las estrellas del cinturón de Orión, Figura 6), idea que sería publicada en ciertas revistas de egiptología (Bauval 1990). Después seguiría el propio libro (Bauval y Gilbert 1995), que contiene grandes dosis de especulación salvaje y que, a su vez, fue recibido con enormes dosis de escepticismo, cuando no confrontación abierta, por la comunidad científica. Finalmente, Bauval emprendió su

particular huída adelante, convirtiéndose en autor o coautor de una cadena de *best-sellers* y gurú de una cierta comunidad que lo reverencia casi como a un nuevo profeta, lo que explica ciertamente su entrada en el quinto nivel.



Figura 6 — Un ejemplo de especulación salvaje que se ha hecho especialmente famoso es la “teoría de la correlación de Orión” que relaciona la necrópolis de Menfis (Egipto) con la región celeste de la constelación de Orión. Es curioso que el origen de todo fuese una especulación simpática: que las tres pirámides de Guiza podrían representar al cinturón de Orión, lo que no de deja de ser curioso pero es totalmente indemostrable.

Desgraciadamente, parece existir en la actualidad un auténtico resurgir de este tipo de “investigaciones” que parece no ser más que la resurrección de un fenómeno recurrente, aunque hoy las herramientas técnicas y matemáticas, sobre todo con los nuevos programas de software astronómico, se han sofisticado de tal manera que es muy difícil evaluar el grado de especulación salvaje de una cierta propuesta, sobre todo para un profano que está tratando de informarse con la mejor intención sobre una disciplina que a muchos apasiona. Afortunadamente, son mayoría aún aquellos que dedican sus esfuerzos a investigar en el lado correcto de la Navaja de Ockham.

De la especulación seria al trabajo formal

Quizás no sería necesario realizar el esfuerzo de escribir esta sección del artículo, haciendo referencia al reciente *Exploring ancient skies: an encyclopedic survey of Archaeoastronomy* (Kelley and Mi-

lone 2005) si no fuese porque, desgraciadamente, esta supuesta búsqueda enciclopédica del saber arqueoastronómico no ha nacido con buen pie. Lo que pudiera haber sido un buen libro de referencia (y quizás lo sea a nivel histórico) es completamente ineficaz a la hora de describir la investigación más puntera que se viene desarrollando en el campo de la astronomía cultural en los últimos años. La obra, escrita a mediados de la década de los noventa, como se detecta claramente nada más ojear su extensa bibliografía, no recoge, salvo honrosas excepciones, prácticamente ninguno de los trabajos que se han desarrollado en la última década y que han revolucionado la disciplina. En numerosas regiones y ámbitos culturales, la arqueoastronomía ha avanzado más en los últimos diez años que en todo el siglo anterior, desde los tímidos esbozos de los primeros trabajos arqueoastronómicos a finales del siglo XIX (Lockyer 1884). Esta obra es, por tanto, desde mi punto de vista, bastante inútil si se quiere estar al día de los últimos avances en el campo. A modo de ejemplo, citaré que *Exploring ancient skies* no menciona, por ejemplo, ni una sola de las diez actas de congresos de la SEAC publicados hasta la fecha (véase www.archeoastronomy.org) y que recogen una parte sustancial de la tarea investigadora realizada en Europa (aunque no sólo de culturas europeas) en los últimos tres lustros.

A este artículo le quedaría pues la ingente tarea de discutir y analizar la veintena de libros y las decenas de trabajos que se han publicado últimamente en el campo. Esta no es una tarea sencilla por lo que, como ya se ha comentado, nos vamos a restringir a una serie de líneas de investigación que conocemos bien y que se pueden enmarcar claramente en el nivel de la especulación seria o, directamente, del trabajo formal.

Sin embargo, antes de entrar en detalles debemos mencionar algunas buenas obras recopilatorias, que recogen artículos especializados para diferentes marcos culturales, como pudieran ser *Astronomies and cultures* (Ruggles y Saunders 1993), *Astronomy before the telescope* (Walker 1996) o el especialmente interesante *Astronomy across cultures* (Selin 2000) que se ocupa de aquellas regiones cuyo marco cultural no es frecuente encontrar en otros libros como el África Subsahariana, Australia o Extremo Oriente. Por otra parte, buenos artículos sobre metodología pueden hallarse en Iwaniszewski (1997) o Ruggles (2001).

Vamos a comenzar nuestro periplo por el continente americano. Aquí nos encontramos con una amplia variedad de trabajos que se concentran sobre todo en las dos regiones culturales clásicas de este

continente, Mesoamérica y la región de los Andes. En la primera nos encontramos con el ya clásico *Observadores del Cielo del Antiguo México* (Aveni 1991, véase también Aveni 2003), obra que ha sido reeditada y revisada en varias ocasiones pero que sigue siendo un magnífico referente, o la obra *Arqueoastronomía en la América antigua*, del astrónomo mexicano Jesús Galindo (1994). Sin embargo, en la última década se han llevado a cabo avances muy significativos.



Figura 7 — Algunos glifos mayas representando “guerras estelares”. En ellos se puede ver el glifo de Venus (la w con los dos ojitos) asociado al derramamiento de sangre. Estas verdaderas “starwars” tenían lugar cuando este planeta alcanzaba ciertas posiciones significativas durante su periodo sinódico.

A modo de ejemplo citaré las investigaciones del arqueólogo esloveno Ivan Šprajc quien postuló a mediados de la década pasada una teoría muy interesante sobre la existencia entre los antiguos mayas de un especial marco mental, al que él denominó el complejo Venus-Lluvia-Maíz (Šprajc 1996a), según el cual los movimientos del planeta Venus se usaban para predecir la estación de las lluvias que a su vez se relacionaba con la cosecha del maíz, todo ello a través de un complejo entramado de relaciones entre astronomía, meteorología, mitología y prácticas agrícolas. Igualmente interesantes eran las denominadas “guerras estelares” (Šprajc 1996b, ver Figura 7), enfrentamientos bélicos que regidos nuevamente por los movimientos de Venus enfrentaban a unas ciudades mayas con otras en guerras de conquista y aniquilación, como la que en la fecha de la cuenta larga 9.15.4.6.8 8 Kan 17 Muan enfrentó las ciudades aliadas de Aguateca y Dos Pilas con la ciudad de Seibal, cuyo rey fue capturado, al producirse la primera aparición del planeta como Lucero Vespertino en la tarde el 3 de diciembre del año 735.

Este mismo investigador (Šprajc 2001 y 2005) ha llevado a cabo una investigación exhaustiva sobre las orientaciones astronómicas del centro de México, replanteando hipótesis antiguas y analizando las posibles conexiones entre éstas, la cosmovisión de los constructores y los calendarios de la región, en particular a la hora de interpretar la llamada familia de los 17°, que agrupa a numerosos con-

juntos arqueológicos, cuyo ejemplo más significativo es Teotihuacan, cuyos ejes principales están desviados entre 15° y 19° al este de la meridiana. Recientemente, estas investigaciones se han extendido a la región maya.

Estos trabajos se complementan con aquellos de antropología o arqueología en que la montaña se convierte en un referente singular del paisaje ritual bien *per se* o porque sobre ella se produjeren importantes eventos astronómicos (Broda, Iwanizewski y Montero 2001). Otro aspecto importante de la antigua astronomía mesoamericana es el estudio de la iconografía. En este sentido, se debiera resaltar el trabajo novedoso y controvertido de reinterpretación de la famosa Piedra del Sol y su posible relación con los eclipses (Lebeuf 2003), o el ya clásico sobre iconografía, etnografía y cosmovisión en la cultura maya (Freidel, Schele y Parker 1999).

Como se pudo comprobar en un reciente simposio celebrado en Santiago de Chile (Boccas, Broda y Pereira 2004), la investigación en el área andina, y en Sudamérica en general, avanza con gran esfuerzo, por la falta de medios, pero con un renovado interés. Sobre la astronomía en el Imperio Inca hay un clásico (Bauer y Dearborn 1998) que se aparta de las locuras descritas en la sección anterior. Afortunadamente, también se puede mencionar el intento de contextualizar la astronomía inca para el enclave de Machu Picchu (ver Figura 2), en un marco de referencia serio de arqueología del paisaje (Reinhard 2002). Más recientemente se siguen llevando a cabo pequeños avances en la comprensión de esta cultura como, por ejemplo, el esfuerzo por entender su peculiar forma de “escribir”, llevar la contabilidad, registrar acontecimientos o medir el tiempo: los registros de nudos o *quipus* (Urton 2003).

Tanto el trabajo de Bauer y Dearborn como el de Reinhard hacen una lectura de la astronomía inca, a través de su sistema de *ceques* o líneas de referencia en el paisaje ritual o sagrado, que se podría extrapolar al otro gran misterio arqueológico de la región, las espectaculares líneas de Nazca (Reinhard 1997). La obra *Nasca, eighth wonder of the world?* (Aveni 2000) se puede entender como el mejor acercamiento, por ahora, al entendimiento de este complejo sistema de líneas y geoglifos. Para ello, las nuevas investigaciones se han servido del estudio de las prácticas etnográficas llevadas a cabo aun hoy día por diversos grupos indígenas de la región.

Curiosamente, estas mismas fuentes de información etnoastronómica, han servido para realizar

una nueva lectura de las posibles orientaciones astronómicas de los monumentos de la Isla de Pascua (*ahus* y *moais*, Figura 8) en términos estelares (Edwards y Belmonte 2004) frente a la interpretación clásica de varios de estos monumentos como observatorios solares (Liller 1993).

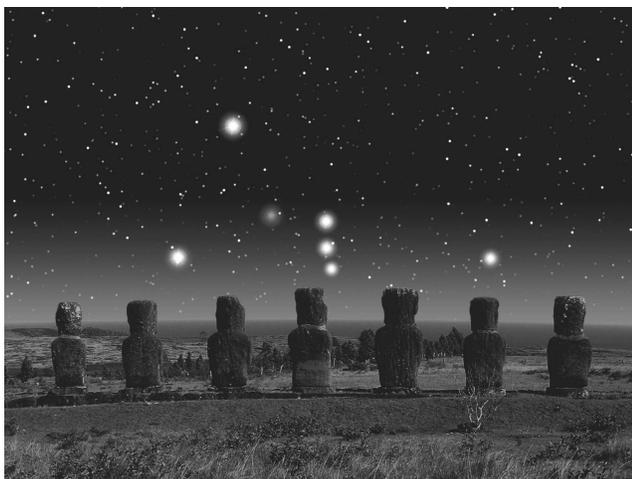


Figura 8 — *Los siete moais de Ahu a Kivi (los únicos que miran al mar en la isla de Pascua) orientados hacia la puesta heliaca de Tautoru (el cinto de Orión) a principios del año rapanui. Este es uno de los ejemplos más significativos de orientación astronómica que se pueden explicar de forma razonable mediante el uso de informaciones etnográficas pertinentes. (De Edwards y Belmonte 2004).*

Volviendo al Viejo Mundo, nos vamos a ocupar de dos marcos culturales de especial relevancia para los estudios arqueoastronómicos. Uno es un clásico de la disciplina, el fenómeno megalítico, que ya discutimos para el caso de Stonehenge. El otro es el estudio de la astronomía de Egipto antiguo que ha sufrido un renacer espectacular en esta última década. Al elegir estos dos aspectos sabemos que estamos dejando de lado otros marcos culturales o regionales de importancia, pero un estudio siquiera somero de todos ellos excedería con creces las posibilidades de este artículo. Sin embargo, no se puede dejar de mencionar ciertos trabajos especialmente interesantes como la reinterpretación del culto de Mitra en un contexto puramente astrológico (Ulansey 1989) o el papel de la astronomía como referente cultural en la Europa de la Edad Media (McCluskey 1998).

Tampoco hablaremos de Mesopotamia, donde paso a paso se siguen realizando pequeños avances en análisis novedosos de datos ya conocidos y estudiados (véase, por ejemplo, Steele 2005), aunque aun son centenares las tablillas con información astronómica por descifrar, y donde, por supuesto, el

trabajo de campo es una tarea imposible siquiera de imaginar hoy en día por motivos obvios, lo que no deja de ser frustrante. Otro acercamiento global a la región, aunque de carácter divulgativo, puede encontrarse en Belmonte (1999).

Podemos afirmar sin temor a equivocarnos que la arqueoastronomía europea surgió al estudiar la “astronomía” del fenómeno megalítico. Por este nombre entendemos a toda una serie de regiones y ámbitos culturales distantes en el espacio y en el tiempo en las que, sin que hubiese mediado necesariamente contactos entre ellos, se tuvo la costumbre de construir monumentos con grandes piedras, a veces de enorme tamaño. El megalitismo más famoso es por supuesto el de Bretaña y la Islas Británicas, pero los monumentos de otras regiones como la Península Ibérica, Escandinavia, el norte de África o las islas del Mediterráneo (donde se habla de monumentos ciclópeos) son igual o incluso más interesantes desde el punto de vista arqueoastronómico.

Ruggles (1999) ha realizado una relectura completa de las implicaciones astronómicas de los monumentos megalíticos de las Islas Británicas. Su formación original, como astrónomo y matemático le permitieron aplicar procesos estadísticos serios y elaborados a las hipótesis más o menos fundamentadas de los investigadores de la generación anterior (como, por ejemplo, las del ingeniero Alexander Thom). Estos nuevos procesos de falsación, aun reconociendo el mérito de muchas de éstas teorías, han permitido recontextualizar algunas de esas hipótesis o simplemente eliminar muchas de ellas. Entre los hallazgos más singulares se ha de destacar, sin lugar a dudas, la orientación, casi con total seguridad astronómica, de los llamados *recumbent stone circles* del centro de Escocia. En realidad, solo nos faltarían textos o información etnográfica que lo confirme, en uno de los ejemplos más claros de especulación sería que podemos imaginar. Así estos peculiares círculos de piedra estarían diseñados y orientados en su mayoría a visiones muy llamativas de la luna llena que sigue al solsticio de verano, cuando ésta tiene su declinación mínima dentro del ciclo de regresión de la línea de los nodos.

Ha sido otro investigador británico, Michael Hoskin el que ha realizado una labor titánica, sobre todo durante la década de los noventa, que le ha permitido medir la orientación de más de tres mil millones de monumentos megalíticos, dólmenes en su mayoría, en la cuenca del Mediterráneo occidental (Hoskin 2001 y referencias específicas, Belmonte y Hoskin 2002). Hoskin y sus colaboradores han de-

mostrado que los monumentos megalíticos de esta región seguían patrones bien determinados, que en la mayoría de las ocasiones sólo pueden explicarse en un contexto astronómico. Los casos de las *tombe de giganti* sardas, los *tholoi* de Los Millares (Figura 9) o las antas alentejanas, de las que la totalidad de sus 180 ejemplares medidos tienen orientaciones comprendidas en el arco del orto solar, se cuentan entre los más llamativos.

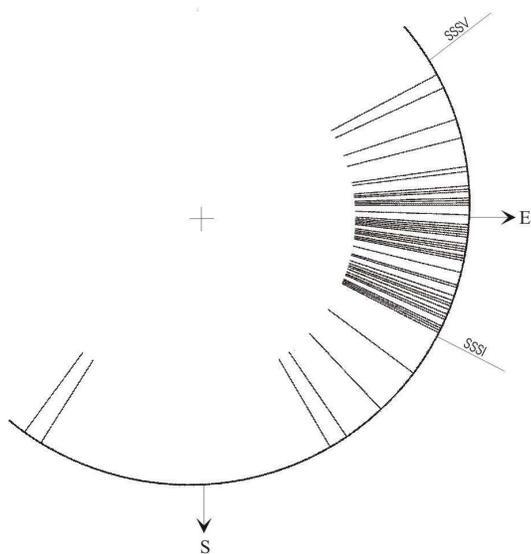


Figura 9 — Diagrama de orientación de los tholos de Los Millares (Almería), datados hacia el 2300 a.C. Como se puede comprobar, la gran mayoría (> 90%) están orientados hacia la salida del sol en algún momento del año, con el solsticio de invierno como singular punto de corte. (De Hoskin 2001).

Hoskin (2001) explica la mayor parte de los patrones encontrados en un contexto astronómico muy simple, mediante cuatro costumbres que él denomina *sunrising*, *sunrise-sunclimbing*, *sunsetting* y *sunset-sundescending*, todas ellas con el sol como referencia que lo convierten en un “solarista” convencido. Es cierto que, aplicando la Navaja de Ockham o el Principio de Economía, en diversas ocasiones alguna de estas costumbres ofrece la explicación más sencilla y razonable (véase Figura 9). Sin embargo, en muchas otras, éste no es el caso.

Puesto que la luna sigue un patrón de comportamiento similar al del sol, pero bastante más complicado y elaborado, ha surgido un grupo de “lunáticos”, en el sentido positivo del término (González García et al. 2005), que tratan de encontrar una explicación a muchos de los patrones encontrados

que refleje un posible carácter lunar. La Figura 10 muestra uno de esos patrones (el de los dólmenes de tipo BR del Mediodía francés) en que tanto los máximos de la distribución como sus anchuras relativas se pueden explicar de manera simple mediante la observación de los crecientes lunares asociados al Equinoccio de la Primavera y al Solsticio de Invierno, mientras que ninguna de las hipótesis “solaristas” ofrecía una respuesta adecuada al problema.

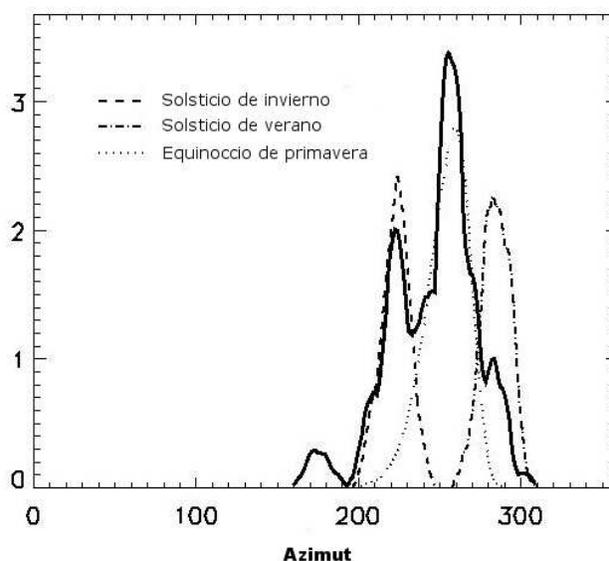


Figura 10 — Histograma de orientación de los dólmenes neolíticos de tipo BR de Provenza y Languedoc, comparado con tres modelos que están basados en la visión del primer creciente lunar en tres fechas significativas a lo largo del ciclo estacional. El histograma se explicaría de forma razonable mediante un interés especial de los constructores, a la hora de orientar dichos dólmenes, por los primeros crecientes de invierno y primavera. Este es un buen ejemplo en que la explicación “lunática” es más razonable que la “solarista”. (Cortesía de César González).

Con todo, a la hora de interpretar los resultados individuales o los patrones generales de orientación que se obtienen al estudiar el fenómeno megalítico es bastante habitual circunscribirse a interpretaciones solares y lunares (o estelares en algunos pocos casos como el que se discutirá adelante). Sin embargo, hay otra serie de objetos celestes que poseen una cierta importancia, que son referentes en otras regiones, como el caso ya discutido de Mesoamérica, y que nunca se tienen en cuenta en este caso particular. Nos referimos a los planetas.

En este sentido, puede que en el entorno del Golfo de Morbihan (Bretaña) nos encontremos ante uno de esos pocos ejemplos. Se trata de los es-

pectaculares dólmenes de Gavrinis y *Le Table des Merchands*, fechados en torno al 3300 a.C. Ambos monumentos poseen, como losa de cobertura, los dos fragmentos más grandes de una gran estela monolítica decorada más antigua por lo que están claramente relacionados. Además, ambos monumentos tienen exactamente la misma orientación. Sin embargo, el primero (Figura 11) tiene un diseño interior tal que, con esa orientación, la luz del sol nunca penetra en su cámara más interna y la luna en su salida más meridional posible (el lunasticio mayor sur) ilumina un elemento singular del corredor (una piedra de cuarzo blanco de gran tamaño) pero tampoco penetra hasta la cámara. Sin embargo, el eje del corredor sí que está orientado de forma bastante precisa a la posición más meridional de salida del planeta Venus. Curiosamente, esta orientación parece repetirse en otros monumentos de Bretaña como la Roca de las Hadas (el dolmen más grande de la región) por lo que quizás nos podríamos encontrar ante una costumbre de orientación de carácter “venereo”.



Figura 11 — *El cairn de Gavrinis, en Bretaña, cubre uno de los dólmenes más singulares y bellamente decorados de toda la fachada atlántica europea. Quizás, éste sea también uno de esos pocos ejemplos especiales en que el monumento no está orientado ni al sol ni a la luna, sino a la salida más meridional posible del planeta Venus.*

Para discutir posibles alineaciones estelares nada mejor que dirigirnos a dos de los lugares más bellos y singulares del Mediterráneo occidental, las islas de Menorca y Cerdeña. Ambas son auténticos museos al aire libre donde sus pobladores, sobre todo durante la Edad del Bronce local (Culturas Nurághica en Cerdeña — h. 1500 a.C. — y Talayótica en Menorca — h. 1000 a.C. —) pero también en el Neolítico, edificaron centenares de monumentos ciclópeos de todas las categorías: funerarios, como los dólmenes y *tombe de giganti* de

Cerdeña o los sepulcros megalíticos y navetas de Menorca; culturales, como los templos nurághicos de Cerdeña o las taulas de Menorca (y quizás los talayots cuadrados, en este caso, de Mallorca); o de finalidad desconocida como las nuraghas sardas o los talayots de Baleares que dan nombre a sus culturas respectivas.

No vamos a entrar en detalle a analizar los posibles patrones astronómicos de orientación de la mayoría de estos monumentos (la mayoría detallados en Hoskin 2001 o Zedda 2004) sino que nos vamos a restringir a aquellos que quizás reflejen un patrón estelar. A pesar de la similitud formal aparente entre nuraghas y talayots y de la similitud arquitectónica entre las *tombe de giganti* y las navetas, sus patrones de orientación, completamente diferentes y que parecían seguir los patrones originales de sus respectivos monumentos megalíticos (dólmenes y sepulcros), sugerían un origen diferente para las culturas de ambas islas. Sin embargo, recientes investigaciones llevadas a cabo en las nuraghas (Zedda y Belmonte 2004) parecen indicar que éstas se orientaban quizás hacia el asterismo formado por la Cruz del Sur y las dos lúcidas de la constelación del Centauro (Alfa y Beta), el mismo grupo estelar que, según Hoskin (2001), justifica de manera singular la orientación de las taulas de Menorca. Incluso, interpretaciones recientes de su patrón de orientación parecen apuntar a que los talayots cuadrados de la isla de Mallorca, cuya orientación fue interpretada de manera preliminar en términos lunisulares (Aramburu-Zabala y Belmonte 2002), pudiera explicarse de una forma más simple y quizás más adecuada mediante la orientación de la diagonal de éstas estructuras hacia la salida o la puesta de este mismo asterismo.

De estas ideas podríamos obtener las siguientes hipótesis de trabajo a nivel antropológico, demostrando la utilidad de la arqueoastronomía como disciplina auxiliar de la arqueología: por un lado que las nuraghas y los talayots cuadrados no debieron ser sólo (si es que lo fueron en absoluto) construcciones defensivas (raramente se justifica la orientación astronómica de una fortaleza) y, por otro, que pudo existir algún tipo de conexión tardía entre las culturas nurághica y talayótica que podría explicar esa especial predilección de ambas poblaciones por una orientación astronómica tan peculiar y poco frecuente.

El eslabón más singular, aunque no suele ser identificado como tal, del fenómeno megalítico es el Egipto antiguo. Durante casi medio siglo los estudios de astronomía egipcia fueron mínimos y estuvieron prácticamente dominados por la publicación

por Neugebauer y Parker, entre 1960 y 1969 de su magna obra *Egyptian Astronomical Text* (EAT) y, por el propio Parker (1950), en la década anterior, de su *Calendars of ancient Egypt*. En esta última obra se defendían ciertas teorías sobre el calendario que ha costado erradicar (Belmonte 2003a), mientras que en la anterior se reflejaba todo un corpus de información sobre relojes estelares, diagramas e instrumentos astronómicos, listas de estrellas y constelaciones, los planetas, etcétera, tratado de una manera lúcida, sistemática y académica pero donde se partía de una serie de premisas y se exponían una serie de dogmas, más que conclusiones, que hacían prácticamente imposible todo avance posterior.

Hay que esperar a mediados de la década de los noventa para que el segundo volumen de Clagett (1995) sobre la ciencia egipcia, dedicado enteramente a la astronomía, ofrezca un manual fácilmente accesible a los especialistas, donde se discutían y analizaban propuestas antiguas, incluidas las de los EAT, se proponían alternativas y se sentaban las bases para plantear una serie de cuestiones que quedaban por resolver sobre varios temas cruciales, como los calendarios o los relojes estelares. Curiosamente, por el contrario, un tema clave en arqueoastronomía como es la orientación de los edificios prácticamente ni se menciona. La revolución en este tema se produce gracias a la publicación en el último número del siglo XX de la revista *Nature* de un artículo de Kate Spence (2000) sobre la orientación de las pirámides que hace resucitar un tema maldito y casi olvidado, salvo en algunas publicaciones contadas de las décadas anteriores (véase, por ejemplo, Hawkins 1973 o Krupp 1989).

El autor ha contribuido en cierta manera al éxito de dicha revolución con tres líneas de trabajo abiertas sobre los aspectos mencionados. Así en Belmonte (2003a) se realiza un ensayo crítico sobre una serie de cuestiones abiertas sobre el calendario egipcio que aun no habían obtenido una respuesta satisfactoria, concluyendo, entre otras cosas, que la hipótesis tradicional de que los antiguos egipcios usaron más de un calendario (la postura defendida desde la publicación de los *Calendars* de Parker hace más de medio siglo) es errónea y carece de fundamento. Igualmente se propone un origen solar para el calendario egipcio, y, más recientemente, un hipotético sistema de verificación del mismo que tendría que ver con la historia constructiva de las pirámides (Belmonte y Zedda 2005).

Un punto especialmente oscuro de la astronomía egipcia es la identificación de sus estrellas y constelaciones. Ejercicio maldito desde la publicación

de los EAT, hay que esperar a fechas muy recientes para que se produjesen algunos avances significativos. Las estrellas y constelaciones egipcias aparecen frecuentemente mencionadas en los escritos sagrados del Egipto antiguo, como los textos de las pirámides (Krauss 1997) o los de los ataúdes (Wallin 2002). Además, aparecen en forma de dispositivos para medir el tiempo (relojes estelares) en ataúdes del Reino Medio y del Primer Periodo Intermedio (relojes triangulares), y en los techos de las tumbas y cenotafios del Reino Nuevo (relojes de tránsito decanal y relojes ramésidas). También aparecen en los llamados techos astronómicos, incluidos los famosos zodiacos como el de Dendera, de los que el más antiguo, y el más complicado de interpretar, es el de Senenmut (Belmonte y Shaltout 2005). Estos han sido los elementos usados en las diversos intentos de identificación de los que, a mi modo de ver, algunos son totalmente equivocados, a pesar del singular esfuerzo realizado (Leitz 1995) y otros proponen soluciones ciertamente razonables en algunos casos (Locher 1983, Belmonte 2003b, Lull 2004). De la comparación de éstas podemos estar casi seguros, a pesar de ciertas incertidumbres, de ciertas identificaciones, como la de el cinto y la daga de Orión con el asterismo llamado *Sah*, la de las Pléyades con el grupo llamado *Las Miles* (o *El Rebaño*) o la de la constelación egipcia del León con nuestro Leo. En Belmonte (2003b) se propone, a modo de hipótesis, un planisferio celeste completo del firmamento del Egipto antiguo.

La arqueoastronomía propiamente dicha acaba de entrar en una nueva fase más prometedora. La propuesta de Spence (2000) del tránsito simultáneo de dos estrellas por el meridiano como referente para orientar las grandes pirámides del Reino Antiguo fue recibida con entusiasmo en ciertos círculos (en Belmonte 2001 se apoya la idea dándole un matiz ciertamente diferente, Figura 12), desdén en otros muchos y la indiferencia de la mayoría de los egiptólogos. Precisamente para quebrar esa indiferencia se ha puesto en marcha una misión del *Consejo Supremo de Antigüedades* de la República Árabe de Egipto con el fin de estudiar la astronomía antigua de este país y que, entre otros, se ha marcado como objetivo medir sistemáticamente la orientación de la gran mayoría de los templos antiguos, con el fin de poder realizar estudios estadísticamente significativos que nos permitan concluir de forma razonable, y de una vez por todas, si hubo o no orientaciones astronómicas en el Egipto antiguo, una labor que, aunque resulte extraño, nunca se había llevado a cabo salvo para casos aislados y puntuales.

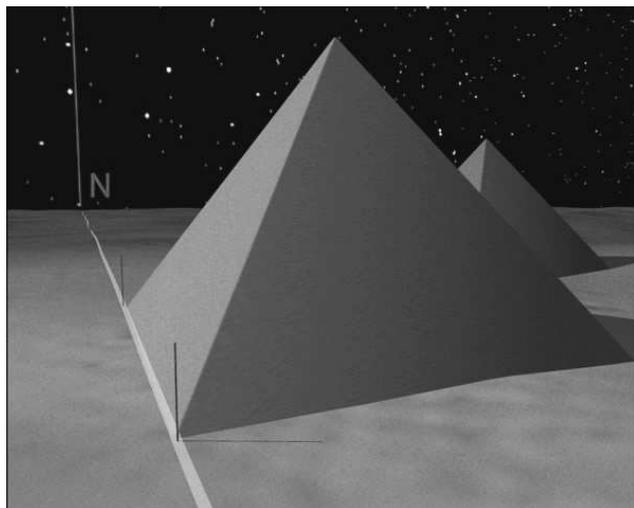


Figura 12 — Un posible ejemplo de trabajo formal. Alineamiento de la pirámide de Kefren hacia la culminación inferior simultánea de las estrellas Phecda y Megrez, de la constelación egipcia de Mesjetiu (nuestro Carro), hacia el año 2545 a.C. Esta hipótesis está basada en datos astronómicos y en la evidencia dada por los textos jeroglíficos egipcios, aunque, no por ello deja de ser bastante controvertida. © SMM/IAC.

Shaltout y Belmonte (2005) recogen los resultados de la primera campaña llevada a cabo en el Alto Egipto y donde se demuestra sin lugar a dudas que los templos egipcios se orientaban de acuerdo al paisaje que los rodeaba. Pero, en primera instancia ese paisaje está dominado por el Nilo y es, por tanto, el río el que dicta la orientación de manera significativa. Sin embargo, los datos también mostraban (Figura 13) que el paisaje celeste también podía jugar un papel relevante, con una especial predilección por las orientaciones solsticiales. En algunos casos, incluso se podría producir una combinación de ambos, si bien no quedaba claro cual era el factor que dominaba, el topográfico o el astronómico. Una segunda fase del proyecto ha consistido en tratar de falsar los resultados anteriores. Para ello se ha elegido como campo experimental un lugar donde no haya un río que domine el paisaje (los oasis del Desierto Occidental egipcio). Los resultados preliminares (Belmonte y Shaltout 2006) muestran que allí donde no hay Nilo, las orientaciones tienen un carácter marcadamente astronómico. Nuevas fases del proyecto se están planeando para el futuro inmediato y se espera que cuando la muestra esté completa (unos 250 templos de los que se han medido ya 190) la controversia quede zanjada definitivamente.

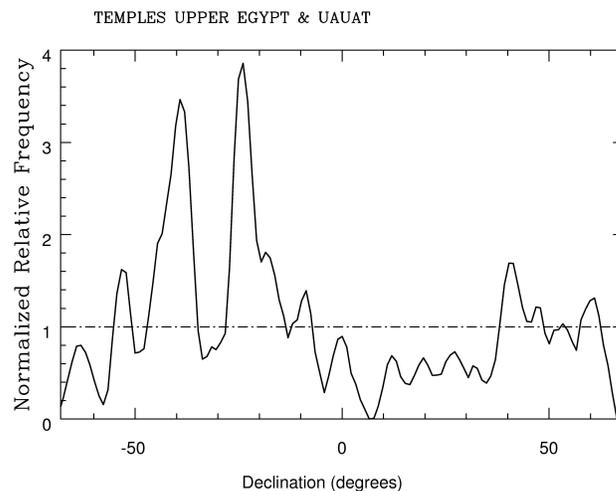


Figura 13 — Esta gráfica muestra la primera evidencia estadísticamente probada de alineamientos astronómicos en los templos del antiguo Egipto. El pico más importante y ciertamente significativo del histograma se asocia a la declinación del sol en el solsticio de invierno, fecha que debió revestir una importancia singular en el marco del antiguo culto solar. (De Shaltout y Belmonte 2005).

Donde sí que no cabe duda de la especial relevancia de las orientaciones astronómicas en la cultura local es en los estudios realizados por nuestro grupo de investigación en diversos lugares de España y de nuestra inmediata vecindad africana (Belmonte y Hoskin 2002, Esteban 2003). En trabajos recientes sobre la cultura ibérica, César Esteban (2002, 2003) ha demostrado la singular importancia del equinoccio, sea la que sea la definición que entendamos para dicho término, para este marco cultural (Figura 14). Esta singularidad quedaría reflejada también en nuestros vecinos paleoberberes del norte de África, sus ancestros pobladores del Sahara (Gauthier y Gauthier 2003) y sus herederos del Archipiélago Canario (véase, por ejemplo, Esteban y Delgado Cabrera 2005).

Fue en Canarias hace poco más de una década donde un pequeño grupo de astrónomos y arqueólogos inició en España, mediante el estudio prístino de la orientación de las pirámides de Güímar (Belmonte et al. 1993), una línea de investigación pionera en nuestro país. Es aquí donde se ha desarrollado una enorme cantidad de trabajo formal en que se ha mezclado el estudio de las crónicas de la conquista (Jiménez González 1998) y de las inscripciones aborígenes con el trabajo de campo arqueoastronómico (Belmonte y Hoskin 2002 y referencias específicas) y el análisis de las tradiciones astronómicas del campesinado local (Belmonte y Sanz de Lara 2001). Sin embargo, relatar todo ese mutuo influjo entre astronomía y cultura sería, sin

lugar a dudas, otra historia.



Figura 14 — *Salida rasante del sol en el equinoccio sobre el borde norte de Montaña Chinar, tal como se observa desde el santuario ibérico de El Amarejo (Albacete). Fenómenos como éste son frecuentes en los santuarios ibéricos, los templos del norte de África y los santuarios aborígenes de las Islas Canarias. (Imagen cortesía de César Esteban).*

Agradecimientos

Es ingente el número de personas que a lo largo de estos años han contribuido de una u otra forma al desarrollo de la arqueoastronomía en nuestro país y en nuestro entorno; sin embargo, no podemos dejar de agradecer, la colaboración y el apoyo prestado en los más diversos ámbitos, a Antonio Aparicio, Javier Aramburu, Fernando Atrio, José Ricardo Belmonte, Edmundo Edwards, César Esteban, César González, Giorgia Foderá-Serio, Michael Hoskin, José Juan Jiménez González, Stanislaw Iwanizewski, David King, Rolf Krauss, Edwin Krupp, Rita Marrero, Miguel Angel Molinero, María Antonia Perera, Clive Ruggles, Margarita Sanz de Lara, Mosalam Shaltout, Rosa Sluether, Antonio Tejera, Mauro Zedda y, particularmente, a nuestro maestro, ya fallecido, el Profesor Carlos Jaschek, a quien va dedicado este trabajo. Este artículo es el fruto de la labor desarrollada bajo el marco de los proyectos P7/93 "Arqueoastronomía" del IAC y AyA2004-0110 "*Orientalio ad Sidera*" del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica del MEC.

Referencias

Alonso R. 2005, Detección y caracterización de exoplanetas mediante el método de tránsitos, Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna.
Antequera Congregado L. 1994, "Altamira. Astronomía, magia y religión en el Paleolítico", en Ar-

queoastronomía hispana, 67-98, Madrid.

Aramburu-Zabala J. y Belmonte J.A., 2002, "On the astronomical orientation of the square talayots of Mallorca", *Archaeoastronomy* 27, S67-74.

Aveni A.F., 1991, *Observadores del cielo del antiguo México*, Fondo de Cultura Económica, México.

Aveni A.F., 1999, *Nasca, eighth wonder of the world?*, Londres.

Aveni A.F., 2003, "Archaeoastronomy in the ancient Americas", *Journal of Archaeological Research* 11, 149-91.

Bauer B.S. y Dearborn D.S. 1998, *Astronomía e imperio en los Andes*, Cusco.

Bauval R.G. 1990, "The seeding of the star gods", DE 16.

Bauval R.G. y Gilbert A. 1995, *El Misterio de Orión*, Emecé Barcelona.

Belmonte J.A. (coordinador), 1994, *Arqueoastronomía hispana*, Madrid.

Belmonte J.A. 1999, *Las Leyes del Cielo*, Temas de Hoy. Madrid.

Belmonte J.A. 2001, "On the orientation of the Old Kingdom pyramids", *Archaeoastronomy* 26, S1-20.

Belmonte J.A. 2003a, "Some open questions on the Egyptian calendar: an astronomers view", *TdE (Papers on ancient Egypt)* 2, 7-56.

Belmonte J. A. 2003b, "The Ramesside star clocks and the ancient Egyptian constellations", en *Symbols, calendars and orientations: legacies of astronomy in culture*, UAO 59 57-66, Uppsala.

Belmonte J.A., Esteban C. y Aparicio A. 1993, "A solstitial marker in Tenerife: the Majanos de Chacona", *Archaeoastronomy* 18, S65-68.

Belmonte J.A. y Sanz de Lara M. 2001, *El Cielo de los Magos*, La Marea, Santa Cruz de Tenerife.

Belmonte J.A. y Hoskin M. 2002, *Reflejo del Cosmos: Atlas de Arqueoastronomía del Mediterráneo Antiguo*, Equipo Sirius, Madrid.

Belmonte J.A. y Shaltout M. 2005, "The Senenmut astronomical ceiling, a dream of mystery and imagination", en *Light and shadows in cultural astronomy*, Cagliari, en prensa.

Belmonte J.A. y Zedda M.P. 2005, "Light and shadows on the pyramids", en *Light and shadows in cultural astronomy*, Cagliari, en prensa.

Belmonte J.A. y Shaltout M. 2006, "On the orientation of ancient Egyptian temples (2): the oases of the Western Desert", *Journal for the History of Astronomy* xxxvii, en prensa.

Boccas M., Broda J. y Pereira G. (editores), 2004, *Etno y arqueoastronomía en las Américas*, Santiago de Chile.

- Broda J. Iwanizewski S. y Montero A. (editores), 2001, *La montaña en el paisaje ritual*, INAH, México.
- Clagett M. 1995, *Ancient Egyptian science II: calendars, clocks and astronomy*, Philadelphia.
- Charfi M. 2001, *Islam y Libertad*, Granada.
- Edwards E. R. y Belmonte J. A. 2004, "Megalithic astronomy of Easter Island: a reassessment", *Journal for the History of Astronomy* xxxv, 421-33.
- Elorrieta Salazar F.E. y Elorrieta Salazar E. 2002, *Cusco y el valle sagrado de los incas*, Cusco.
- Esteban C., 2002, "Elementos astronómicos en el mundo religioso y funerario ibérico", *Trabajos de Prehistoria* 59, 2, 81-100.
- Esteban C., 2003, "La arqueoastronomía en España", *Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid*, 309-22, Madrid.
- Esteban C. y Delgado Cabrera M., 2005, "Sobre el análisis arqueoastronómico de dos yacimientos tinerfeños y la importancia de los equinoccios en el ritual aborigen", *Tabona* 13, 187-214.
- Freidel D., Schele L. y Parker J. 1999, *El cosmos maya, tres mil años por la senda de los chamanes*, México.
- Forcada Nogués M. 1993, *Estudio, traducción y edición crítica del Tratado sobre los anwa y los tiempos (Capítulo de los meses) de Ibn Asim*, Barcelona.
- Galindo Trejo J. 1994, *Arqueoastronomía en la América antigua*, Grupo Sirius, Madrid.
- Gauthier Y. y Gauthier Ch. 2003, "Orientation of some dry-stone monuments: V-shape monuments and "goulets" in the Immidir Mountains (Algeria)", en *Calendars, symbols and orientations: legacies of astronomy in culture*, UAO 59, 143-151, Uppsala.
- González García A. C. 2004, "El disco de Nebra", *Investigación y Ciencia* 335, 82-83.
- González García A.C. et al. 2005, "Solarists vs. lunatics: modelling patterns in megalithic astronomy", en *Light and shadows in cultural astronomy*, Cagliari, en prensa.
- Hawkins G.S. 1965, *Stonehenge decoded*, Nueva York.
- Hawkins G.S. 1973, *Beyond Stonehenge*, Nueva York.
- Hancock G. & Faia S. 1998, *Heaven's Mirror, Quest for the Lost Civilization*, Londres.
- Haynes R.H. 2000, "Astronomy and the dreaming: the astronomy of the aboriginal Australians", en *Astronomy across cultures*, Dordrecht, 53-90.
- Henriksson G. 1999, "Prehistoric constellations on Swedish rock-carvings", en *Actes de la cinquième Conférence de la SEAC*, Gdansk, 155-73.
- Hoskin M. 2001, *Temples, tombs and orientations: a new perspective on Mediterranean Prehistory*, Ocarina Books, Bognor Regis.
- Iwaniszewski S. 1997, "Archaeoastronomy and cultural astronomy: methodological issues", en *Archeologia e astronomia, esperience e propettive future*, ACL 121, 17-26, Roma.
- Jiménez González J.J., 1998, "Las fuentes etnohistóricas canarias. Crónicas, historias, memorias y relatos", *Anuario de Estudios Atlánticos* 44, 19-263.
- Kelley D.H. y Milone E.F. 2005, *Exploring ancient skies, an encyclopedic survey of archaeoastronomy*, Springer, Nueva York.
- King D.A. 1995, "The orientation of medieval Islamic religious architecture and cities", *Journal for the History of Astronomy* xxvi, 253-74.
- King D.A. 1999, *World-maps for finding the direction and distance to Mecca: innovation and tradition in Islamic science*, Londres.
- Krauss R. 1997, *Astronomische konzepte und jenseitsvorstellungen in den pyramidentexten, Ägyptologische Abhandlung Band 59*, Wiesbaden.
- Krupp E.C. 1983, *Echoes of the Ancient Skies*, Harper & Row, Nueva York.
- Krupp E.C. 1989, *En busca de las antiguas astronomías*, Pirámide, Barcelona.
- Krupp E.C. 1991, *Beyond the Blue Horizon*, Oxford University Press, Oxford.
- Lebeuf A. 2003, *Les eclipses dans l'ancien Mexique*, Cracovia.
- Leitz C. 1995, *Altägyptischen Sternuhren*, *Orientalia Lovaniensia Analecta* 62, Lovaina.
- Liller W. 1993, *The ancient solar observatories of Rapanui, the archaeoastronomy of Easter island*, Woodland.
- Locher K. 1983, "New arguments for the celestial location of the decanal belt and the origins of the Sah hieroglyph", en *Sesto Congresso internazionale di Egittologia. Att. II*, 279-280, Turín.
- Lockyer J.N. 1884, *Dawn of astronomy*, Londres. Reimpreso por MIT Press, Cambridge, 1964.
- Lull J. 2004, *La astronomía en el antiguo Egipto*, Valencia.
- Mayor M. y Queloz D., 1995, "A Jupiter-mass companion to a Solar-type star", *Nature* 378, 355.
- McCluskey S.C. 1998, *Astronomies and cultures in early Medieval Europe*, Cambridge.

- Neugebauer O. y Parker R. 1960-69, *Ancient Egyptian Astronomical Texts*, Brown University Press, Providence.
- North J. 1996, *Stonehenge, Neolithic man and the cosmos*, Londres.
- Ochoa de Zabalegui J.J. 1998, *Del cronlech pirenaico, decodificación astronómica de una religión olvidada*, San Sebastián.
- Parker R.A. 1950, *The Calendars of ancient Egypt*, Chicago.
- Rappenglueck M.A., 1999, *Eine Himmelskarte aus der Eiszeit?*, Frankfurt.
- Reinhard J. 1997, *Las líneas de Nazca, un nuevo enfoque sobre sus orígenes y significado*, Lima.
- Reinhard J. 2002, *Macchu Pichu, el centro sagrado*, Cusco.
- Rius M. 2000, *La alquibla en al-Andalus y al-Magrib al Aqsa*, Barcelona.
- Ruggles C.L.N. 1999, *Astronomy in Prehistoric Britain and Ireland*, Princeton University Press, Princeton.
- Ruggles C.L.N. 2001, "L'uso dell'archeostronomia nell'esplorazione delle cosmología antica: probleme di teoria e método", en *L'uomo antico e il cosmos*, ACL 171, 7-33, Roma.
- Ruggles C.L.N. y Saunders N.J. (editores), 1993, *Astronomies and cultures*, Niwot.
- Sánchez Macedo M. (2000), *Enigmas, misterios y secretos de la sagrada astronomía inka*, Cusco.
- Selin, H. (editora), 2000, *Astronomy across cultures. The history of non-western astronomy*, Kluwer, Dordrecht.
- Shaltout M. y Belmonte J.A. 2005, "On the orientation of ancient Egyptian temples (1): Upper Egypt and Lower Nubia", *Journal for the History of Astronomy* xxxvi, 273-98.
- Spence K. 2000, "Ancient Egyptian chronology and the astronomical orientation of pyramids", *Nature* 408, 320-4. Véase también su agenda del 2001 en: "Astronomical orientation of the pyramids", *Nature* 412, 699-700.
- Šprajc I. 1996a, *Venus, lluvia y maíz*, México.
- Šprajc I. 1996b, *La estrella de Quetzalcóatl: el planeta Venus en Mesoamérica*, México.
- Šprajc I. 2001, *Orientaciones astronómicas en la arquitectura prehispánica de México*, INAH, México.
- Šprajc I. 2005, "More on Mesoamerican cosmology and city plans", *Latin American Antiquity*, 16(2), 209-16.
- Steele J. 2005, "Measuring the heavens in Mesopotamia", en *Light and shadows in cultural astronomy*, Cagliari, en prensa.
- Ulansey D. 1989, *The origins of the Mithraic mysteries: cosmology and salvation in the ancient world*, Oxford.
- Urton G. 2003, *Quipu: anudando en el Imperio Inca*, Santiago de Chile.
- Vernet J. 1983, *El Corán: introducción, traducción y notas*, Barcelona.
- Walker C. (editor), 1996, *Astronomy before the telescope*, Londres.
- Wallin P. 2002, *Astronomical concepts of regeneration in the ancient Egyptian coffin texts*, Uppsala.
- Zedda M. 2004, *I nuraghi, tra archeologia e astronomia*, Cagliari.
- Zedda M. y Belmonte J.A. 2004, "On the orientation of Sardinian nuraghes, some clues to their interpretation". *Journal for the History of Astronomy* xxxv, 85-107.
- Zedda M. y Belmonte J.A. (editores), 2005, *Light and shadows in cultural astronomy*, Cagliari, en prensa.

Juan Antonio Belmonte Avilés es investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias, IAC.

ANÁLISIS MORFOLÓGICO MULTIBANDA DEL CONTENIDO ESTELAR DEL PLANO Y DISCO DE LA VÍA LÁCTEA

Antonio Cabrera Lavers

acabrera@iac.es

Tesis doctoral dirigida por Francisco Garzón López y Peter Hammersley

Centro: I.A.C. (Instituto de Astrofísica de Canarias)

Fecha de lectura: 1 de abril de 2005

El estudio de las cuentas estelares en nuestra Galaxia, o lo que es lo mismo saber cuál es la distribución en el cielo de las estrellas que la componen, constituye una herramienta valiosísima para el conocimiento de la verdadera forma de la Vía Láctea así como de las distintas componentes que la constituyen. No obstante la extinción interestelar, más intensa en el plano de la Galaxia, ocasiona que no podamos estudiar adecuadamente su componente más importante y masiva, el disco. Para ello es necesario desplazarse hacia longitudes de onda mayores del espectro, en donde el efecto de la extinción es menor ganando así poder de penetración a lo largo del plano y alcanzando las zonas más oscurecidas por el polvo.

En esta tesis, se ha estudiado el contenido estelar del plano de nuestra Galaxia mediante el uso de medidas en el infrarrojo cercano, por un lado a través del análisis de las cuentas estelares en la banda K y por otro gracias a la obtención de las densidades directamente de los diagramas color-magnitud infrarrojos con un método de paralajes fotométricos basado en la población del *red clump*. Para ello se han usado principalmente las bases de datos de 2MASS y DENIS, con la incorporación de una base de datos propia homogénea desarrollada en el IAC mediante observaciones con el Telescopio Carlos Sánchez (1.5 m) del Observatorio del Teide. Esta base de datos es de carácter público y cubre un total de aproximadamente 42 grados² de cielo en regiones cercanas al plano de la Galaxia, con una mayor profundidad que la proporcionada por los catálogos anteriormente citados.

Las medidas obtenidas en el plano han permitido extraer algunas conclusiones importantes sobre la estructura y leyes de densidad del disco joven de nuestra Galaxia. El disco externo (6 kpc < R < 15 kpc) sigue así una ley exponencial típica con un *flare* (ec. 1), es decir, un aumento de la escala de altura de las fuentes a medida que nos alejamos del centro de la Galaxia (ec. 2), y presenta una asimetría (*warp*) importante en su zona más externa (ec. 3) con la misma amplitud que el que se ha

obtenido en otros trabajos para el gas. El *flare* en la distribución estelar supone que no sea necesario considerar un truncamiento abrupto del disco de la Galaxia al menos hasta una distancia de $R < 15$ kpc.

$$\rho(R, z) = \rho_{\odot} e^{-\frac{R-R_{\odot}}{h_R}} e^{-\frac{|z-z_w|}{h_z(R)}} \frac{h_z(R_{\odot})}{h_z(R)} \quad (1)$$

$$h_z(R) = h_z(R_{\odot}) e^{\frac{R-R_{\odot}}{h_{R,flare}}} \quad (2)$$

$$z_w = [C_w R(\text{pc})^{\epsilon_w} \cos(\phi - \phi_w) + 15] \text{ pc} \quad (3)$$

De este modo, se han extraído los siguientes valores para los parámetros estructurales del disco fino: escala vertical en la vecindad solar: $h_z(R_{\odot})=285$ pc, escala radial del disco: $h_R=3.3$ kpc, escala radial del *flare*: $h_{R,flare}=5.0$ kpc, amplitud del *warp*: $C_w=2.1 \times 10^{-19}$ pc, $\epsilon_w=5.25$ y orientación del *warp*: $\phi_w=85^\circ$.

En el caso del disco interno ($2.25 \text{ kpc} < R < 4 \text{ kpc}$), se ha obtenido que existe un déficit de estrellas respecto a una ley exponencial en la zona más interna de la Galaxia. Éste es significativamente importante en regiones cercanas al plano y no tanto en regiones a latitudes mayores. Además, ha sido observado no sólo en la población vieja del disco, sino que medidas obtenidas en el infrarrojo medio, — rango dominado por la emisión de la población joven —, también reflejan este déficit. Esto supone que se trata de una característica bastante estable del disco, pudiendo estar asociada a la presencia de una barra que esta barriendo el material circundante a la misma.

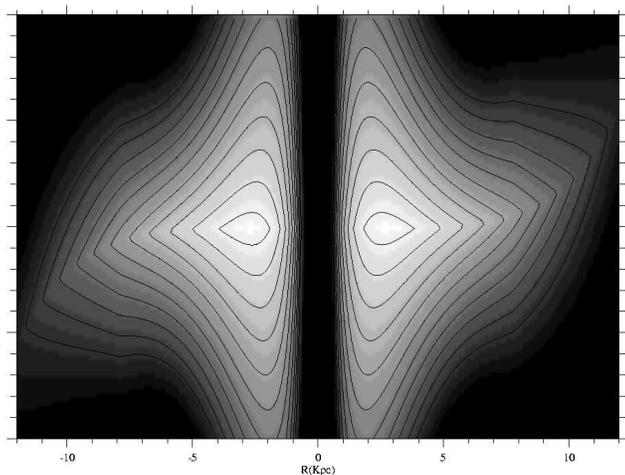


Figura 1 — Diagrama de contornos para $\log_{10} \rho$ (estrellas pc^{-3}) de un posible modelo suave de disco en el plano YZ de la Galaxia (perpendicular a la dirección Sol-Centro Galáctico), con Y entre $-12,0$ y $12,0$ kpc, y Z entre $-1,0$ y $1,0$ kpc

(la escala vertical de la gráfica está multiplicada por un factor 12). El contorno mínimo representa $\log_{10} \rho$ (estrellas pc^{-3}) = $-2,1$, con una diferencia de $0,15$ estrellas pc^{-3} entre dos contornos consecutivos.

Finalmente, se ha estudiado también la influencia del disco grueso de la Galaxia en la distribución estelar observada mediante el análisis de la variación de la densidad con la altura respecto al plano, obteniéndose que es necesario incluir una segunda ley exponencial para poder reproducir el comportamiento observado en la misma. Esta segunda ley exponencial vendría asociada al propio disco grueso con unos parámetros estructurales tales como una escala radial de $h_R=3,04$ kpc, una escala vertical de $h_z=1,06$ kpc y una amplitud en la vecindad solar de un 11 % de la del disco fino.

ESTUDIO MULTILONGITUD DE ONDA DE SISTEMAS BINARIOS CROMOSFÉRICAMENTE ACTIVOS

M^a Cruz Gálvez Ortiz

mcz@astrax.fis.ucm.es

Tesis doctoral dirigida por Dr. David Montes Gutierrez y Dra. M.J. Fernández Figueroa

Centro: Universidad Complutense de Madrid

Fecha de lectura: 7 de octubre 2005

El propósito del trabajo de tesis fue realizar un estudio tanto cinemático como espectroscópico (multilongitud de onda) de la actividad cromosférica en sistemas binarios a través de distintos indicadores en el óptico y en el infrarrojo cercano, para lo cual se seleccionó una muestra de sistemas tipos RS CVn y BY Dra, con diferentes niveles de actividad.

Por un lado se estudiaron las características de binarias bien conocidas y por otro las de nuevas binarias recientemente identificadas por sus emisiones en rayos X o por variaciones de velocidad radial. Para ello se realizaron un gran número de observaciones espectroscópicas entre 1998 y 2004, que permitieron por un lado cubrir las diferentes fases orbitales o de rotación de los sistemas binarios y por otro analizar su variabilidad a más largo plazo. El estudio multilongitud de onda permitió estudiar utilizando la técnica de substracción espectral, todos los indicadores de actividad de forma simultánea, hasta ahora el estudio de estos indicadores se limitaba a los más habituales (H y K de Ca II o H α) y normalmente de forma no simultánea,

lo que proporcionó la posibilidad de estudiar la relación entre ellos y obtener toda la información posible sobre el origen de la emisión cromosférica observada (playas, protuberancias proyectadas, material extenso del tipo protuberancias en el limbo, fulguraciones, y microfulguraciones). Además también permitió la determinación de velocidades radiales precisas con las cuales se han obtenido soluciones orbitales y parámetros estelares derivados de las mismas, se determinaron también velocidades de rotación de cada estrella y se estimaron edades mediante las anchuras equivalentes de Li I.

En este estudio se ha podido distinguir entre los excesos de emisión que proviene de regiones activas como las playas cromosféricas y la que procede de regiones extensas como las protuberancias a partir de la relación entre la emisión en las líneas H α y H β , y las líneas del triplete infrarrojo del Ca II en 8542 y 8498 Å. Se ha encontrado que en los sistemas RS CVn las líneas de Balmer se forman principalmente en las protuberancias sobre el limbo y en las BY Dra se forman en las playas o en protuberancias sobre la superficie, coincidiendo

con estudios de otros autores. Por otro lado se ha encontrado que las razones de los flujos de emisión de las dos primeras líneas del triplete del Ca IRT muestran siempre valores entre 1 y 2 tanto para sistemas BY Dra como RS CVn, que indican que estas líneas se forman preferentemente en regiones tipo playas.

Se realizó también un estudio cinemático de un conjunto de 333 estrellas binarias cromosféricamente activas utilizando los datos astrométricos de HIPPARCOS y velocidades radiales de la bibliografía o determinadas en el trabajo. Se estudió su pertenencia a los cinco grupos cinemáticos jóvenes más conocidos (Asociación Local, grupo Ursa Major, supercúmulo de las Híades, supercúmulo IC 2391, y grupo de movimiento de Castor) mediante varios criterios cinemáticos y se obtuvo información adicional sobre la edad mediante la anchura equivalente de Li I.

Se determinó la naturaleza aislada, binaria de corto período o binaria de largo período, de una muestra de 28 estrellas que bien de estudios previos de otros autores o bien de estudios realizados en los últimos años por el grupo de investigación presentaban variaciones de la velocidad radial. De este estudio se concluye que 7 de las estrellas de la muestra son binarias, 6 de corto período y una de largo período, 19 estrellas son aisladas o binarias de muy largo período y dos estrellas presentan variaciones de velocidad radial en principio debidas a la variabilidad de las manchas en su superficie pero que pudieran deberse también a binariedad.

Un sistema a destacar es FF UMa (2RE

J0933+624), que presenta variaciones del período orbital posiblemente debidas a las variaciones del momento cuadrupolar gravitatorio generadas por cambios en el campo magnético a lo largo de la evolución de la actividad.

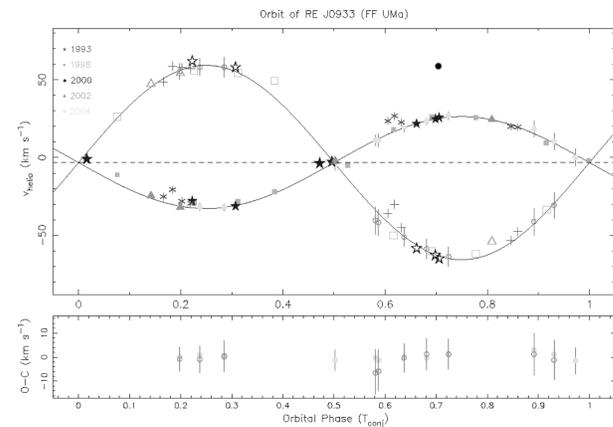


Figura 1 — *Velocidades radiales de FF UMa. Se dibuja el ajuste de la orbita para la campaña de referencia y se superponen los datos de las restantes campañas desplazados en fase.*

Además se realizó un estudio general de la dependencia de la actividad con los diferentes parámetros estelares mediante relaciones flujo-flujo entre los indicadores y relaciones flujos-rotación, flujos-período y flujos-número de Rossby y se compararon con el comportamiento de las estrellas aisladas. También se analizó la peculiaridad de los sistemas binarios respecto a la evolución de su rotación (debido a la sincronización) y respecto a la sobreactividad.

OBSERVACIONES Y MODELOS DEL SISTEMA DE VIENTOS DE LA ATMÓSFERA DE JÚPITER

Enrique García Melendo

duranoobs@astrogea.org

Tesis doctoral dirigida por Agustín Sánchez Lavega

Centro: Universitat Politècnica de Catalunya

Fecha de lectura: 11 de julio de 2005

Para explicar el origen de la circulación global observable al nivel del techo de nubes en Júpiter (y Saturno), los modelos competidores más importantes son dos: los de circulación general profundos y los superficiales. Los primeros abogan por una estructura de vientos enraizada en el manto profundo del planeta e impulsada por su energía interna, mientras que los segundos suponen que los vientos

se originan en las capas más superficiales al extraer su energía de la radiación solar incidente. En este trabajo se aborda el estudio de la estructura vertical de la atmósfera de Júpiter hasta el nivel de seis bares.

Uno de los criterios más importantes que distingue a ambos modelos es la estabilidad de los vientos zonales. El movimiento masivo del manto fluido del

planeta gigante implica una estabilidad a largo plazo del sistema de vientos, mientras que los modelos superficiales predicen cambios estacionales debido a variaciones de insolación. Por tanto hay que estudiar la variabilidad de los vientos zonales. A tal efecto se utilizaron imágenes de archivo tomadas por el Telescopio Espacial Hubble entre 1995 y 2000 a diversas longitudes de onda para estudiar la estabilidad de los vientos zonales. Entre los resultados se descubren tres nuevas corrientes en chorro a altas latitudes, y globalmente se demuestra que entre 1995 y 2000 no hubo cambios importantes en la estructura del flujo zonal medio de Júpiter (García-Melendo y Sánchez-Lavega, *Icarus* 152, 2001). Estos resultados fueron completamente corroborados por los resultados obtenidos por la sonda Cassini en su sobrevuelo de Júpiter durante 2000-2001 (Porco et al., *Science* 299, 2003).

En una segunda etapa del trabajo se selecciona como región particular de estudio la Banda Templada Norte (NTB), situada en torno a la corriente en chorro a 24°N . La NTB sufrió una erupción de naturaleza convectiva en 1991 (García-Melendo et al., *Icarus* 146, 2000), cuya evolución temporal bien definida permite acotar los modelos numéricos mejor que la mayoría del resto de las regiones del planeta. El estadio final del desarrollo de la perturbación es una serie de vórtices de larga vida (~ 10 años), cuyas propiedades dinámicas son estudiadas en detalle en conexión con la corriente en chorro a 24°N sobre la que se encuentran situados. Finalmente se establece un modelo de atmósfera para simular de la forma más precisa posible la evolución morfológica de la erupción de la NTB hasta la aparición de los vórtices de larga vida (García-Melendo et al., *Icarus* 176, 2005). Para ello se emplea EPIC (Dowling et al., *Icarus* 132, 1998), un modelo numérico que resuelve las ecuaciones del movimiento en coordenadas isentrópicas, es decir, donde los elementos de fluido se mueven de forma adiabática. Los dos parámetros libres más importantes del modelo de atmósfera son su estructura térmica y el perfil vertical de vientos $u_v(p)$. La conclusión principal que se deriva de las simulaciones es que el comportamiento a largo plazo de las perturbaciones de la NTB, sólo se puede reproducir para un pequeño subconjunto de perfiles zonales y verticales de entre todos los que pueden

caracterizar a la corriente en chorro situada en esa región (Figura 1). Empezando a partir de una velocidad de 180 ms^{-1} al nivel de las nubes visibles de amoníaco, el mejor modelo indica que la velocidad máxima de la corriente en chorro debe crecer hasta 210 ms^{-1} a la presión de 1 bar, y después crecer más lentamente hasta los 240 ms^{-1} al nivel de 6 bares con $\partial u/\partial z \sim 17\text{ ms}^{-1}$ por escala de altura. El perfil vertical así obtenido es consistente con el medido por la sonda Galileo a 7°N (Atkinson et al., *J. Geophys. Res.* 198, 1998), y con la hipótesis de que globalmente la velocidad del viento aumenta con la profundidad.

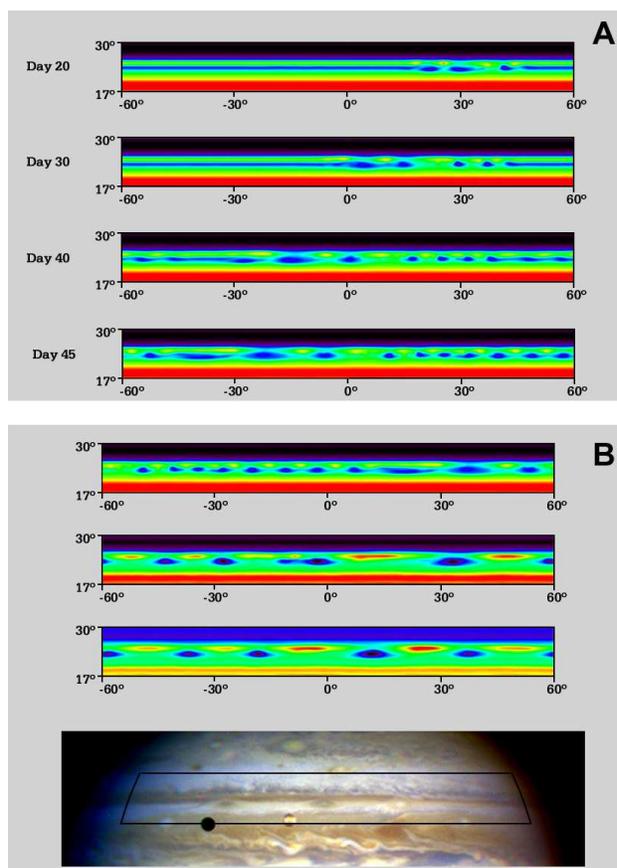


Figura 1 — Representación, al nivel de $\sim 800\text{ mbar}$ del campo de vorticidad potencial de las simulaciones de la NTB. En A se muestra el desarrollo de la perturbación durante los primeros 45 días. En B se muestra el estadio final de la perturbación con el desarrollo de vórtices anticiclónicos maduros por fusión entre ellos. Los vórtices finales se comparan a la misma escala con los reales (HST 1994).

EVOLUCIÓN E IMPACTO DE ESTALLIDOS DE FORMACIÓN DE ESTRELLAS EN NÚCLEOS DE GALAXIAS

Verónica P. Melo Martín

vmelo@iac.es

Tesis doctoral dirigida por Dr. Casiana Muñoz-Tuñón y Dr. José Miguel Rodríguez-Espinosa

Centro: I.A.C. (Instituto de Astrofísica de Canarias)

Fecha de lectura: 24 de junio de 2005

Los estallidos de formación de estrellas o *starbursts* en núcleos de galaxias son eventos en los que se forman más de $10^4 M_{\odot}$ de estrellas a un elevado ritmo en un área muy pequeña (menos de 1 kpc). Estos sucesos duran muy poco tiempo en comparación con la edad del universo pero su influencia sobre éste es tan importante que su estudio es esencial para entender su evolución. La consecuencia final de algunos *starbursts* es la expulsión de todo el material procesado hacia fuera de la galaxia por medio de los llamados supervientos galácticos (SVG). Los SVG son además los principales responsables de la presencia de metales en el medio intergaláctico.

En este trabajo se estudian tres casos de galaxias candidatas a desarrollar SVG. Se discuten los observables y se concluye que solo una de ellas, M82, presenta evidencias que apoyen esa posibilidad. Esta galaxia ha sido utilizada para establecer las condiciones necesarias para el desarrollo de un SVG. Se ha identificado además, que la población de supercúmulos estelares existentes en el núcleo de la galaxia es la responsable de la producción de supervientos a través del halo.

Las galaxias objeto de esta tesis son: M82, NGC 253 y NGC 4631. Para su estudio se han utilizado observaciones de alta resolución espacial del instrumento WFPC2 en el HST en múltiples longitudes de onda, observaciones fotométricas en el infrarrojo medio y lejano y observaciones espectroscópicas de rendija larga y Fabry-Perot. Se han catalogado los supercúmulos estelares (SSC) de los *starburst* de las tres galaxias en $H\alpha$ ya que son los responsables de la formación de los filamentos de supervientos galácticos que se extienden a grandes distancias del núcleo de la galaxia como proponen Tenorio-Tagle et al. (2003, ApJ, 597, 279).

Concluimos en nuestro trabajo que, de las tres galaxias analizadas sólo M82 está desarrollando un superviento galáctico mientras que en los otros casos los estallidos estelares quedan confinados en la galaxia. Hemos identificado además los SSC como los elementos constituyentes de los *starburst* en galaxias y concluimos que sus propiedades, densidad

(número de SSC por unidad de área) y luminosidades, son factores determinantes para desencadenar supervientos galácticos. Así, en M82 – el caso cierto de supervientos galácticos en el universo próximo – se dan las condiciones suficientes para que se genere un SVG.

Además exploramos las condiciones necesarias para que los SSC puedan ir enriqueciendo de metales el medio interestelar del *starburst* en cada galaxia anfitriona y su entorno concluyendo, de nuevo tomando M82 como ejemplo, que cuando dos o más SSC están suficientemente cerca se pueden formar filamentos por donde escapa el material rico en metales enriqueciendo el medio intergaláctico. En las otras galaxias estudiadas este material procesado se queda dentro de la galaxia lo que influye en la población de SSC formados posteriormente.

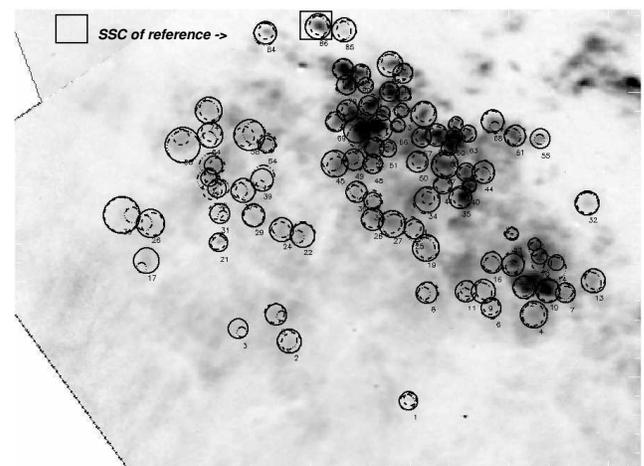


Figura 1 — Población de SSC en una zona del *starburst* de M82 (Melo et al. 2005, ApJ, 619, 270).

M82 es el prototipo de galaxia con supervientos galácticos. Hemos catalogado casi doscientos supercúmulos estelares en su *starburst*. Estos además son muy compactos ($3 \leq R(\text{pc}) \leq 9$), masivos ($4 \leq \log M (M_{\odot}) \leq 6$) y cercanos entre sí con una distancia entre SSC del orden de 2–3 veces el radio típico de los mismos. Hemos analizado las propie-

dades de los SSC para encasillar M82 como patrón de referencia de las características necesarias para desarrollar los supervientos galácticos.

NGC 253 tiene una población de SSC en su *starburst* menor que M82, sólo 48 SSC aunque con las mismas propiedades físicas. Además hemos detectado en el infrarrojo lejano un halo de polvo frío que se extiende a grandes distancias del disco lo que impide que el material expulsado por el *starburst* alcance el medio intergaláctico.

Por otro lado, NGC 4631 tiene distribuida la formación estelar a lo largo de todo el disco de la ga-

laxia. Los SSC son diferentes que los SSC de M82 y NGC 253, no son compactos, tienen masas similares pero repartida en un radio mayor. Además los SSC están muy separados entre sí. El material producido por los brotes de formación estelar está contenido en el halo de la galaxia en estructuras de burbujas.

También se discuten otros aspectos como son el impacto del *starburst* en las galaxias, la historia de la formación estelar en M82 y el desenlace de la historia de la formación estelar en las tres galaxias, entre otros.

LINEAR AND NON-LINEAR KELVIN-HELMHOLTZ INSTABILITIES IN RELATIVISTIC FLOWS. APPLICATION TO EXTRAGALACTIC JETS.

Manuel Perucho Pla

perucho@mpifr-bonn.mpg.de

Tesis doctoral dirigida por José María Martí Puig

Centro: Universitat de València

Fecha de lectura: 13 de junio de 2005

Las inestabilidades Kelvin-Helmholtz (KH) se desarrollan en la interfase que separa dos fluidos en movimiento relativo a partir de pequeñas perturbaciones. Esta circunstancia se da claramente en la transición entre los chorros relativistas extragalácticos y el medio que les rodea. A este tipo de inestabilidades se asocia, por ejemplo, la carga de materia fría del medio externo, que destruye los chorros a escalas del kiloparsec en las radiogalaxias FRI, o las estructuras helicoidales observadas en los chorros de escala del parsec. Aunque se han realizado muchos trabajos en el desarrollo lineal, poco o nada se puede encontrar en la literatura hasta finales de los años 90 sobre la estabilidad de los chorros relativistas. Esta tesis doctoral se planteó desde el objetivo de analizar de manera exhaustiva el desarrollo y propiedades de este tipo de inestabilidades en fluidos relativistas, en función de los parámetros físicos del sistema, y teniendo en cuenta la aplicación astrofísica del trabajo. Para ello usamos un código numérico de hidrodinámica relativista en dos dimensiones.

En primer lugar se realizó un estudio del desarrollo de una perturbación determinada, de la que conocíamos las propiedades a partir de la solución del problema lineal, en el caso de un chorro separado del medio externo por una discontinuidad (*vortex sheet approximation*). Este estudio se realizó para una serie de casos barriendo cerca de cuatro órdenes de magnitud en energía interna es-

pecífica ($0,07 - 60c^2$) y factores de Lorentz entre 5 y 20 para fluidos en simetría plana y en equilibrio de presiones con el medio. Ello nos permitió estudiar la respuesta del código a las perturbaciones respecto a la teórica, y si podíamos confiar en los resultados de la fase no lineal de dicho código. Posteriormente, y una vez confirmada esta capacidad del código, se estudió el desarrollo no lineal de las inestabilidades en los chorros. Como resultado, pudimos caracterizar la evolución de una perturbación en un fluido relativista en tres fases: 1) Fase lineal, en la que la inestabilidad crece pero sus efectos no son detectables en la estructura del chorro. 2) Fase de saturación, en la que las perturbaciones en velocidad dejan de crecer debido a que alcanzan, en el sistema de referencia del fluido, el límite físico de la velocidad de la luz. En esta fase las perturbaciones se hacen evidentes en la estructura del chorro, y las ondas empiezan a desarrollar choques internos. 3) Fase no lineal, donde, tras la saturación y el desarrollo de choques se produce una mayor transferencia de momento lineal entre el chorro y el medio externo y se produce mezcla y carga de material por parte del primero. En esta fase los chorros pueden ser decelerados y desarrollar turbulencia en las zonas de mezcla.

En una segunda parte, se estudió la influencia de la presencia de una transición continua entre chorro y medio externo (*shear layer*) en el desarrollo de las inestabilidades. Para ello se utilizaron unas condi-

ciones iniciales menos restrictivas que las anteriores, incluyendo diversas perturbaciones simétricas y antisimétricas. En la solución del problema lineal se destacó de la presencia de modos resonantes de longitudes de onda corta, y con ritmos de crecimiento mayores que los modos de longitudes de onda más largas. En algunas simulaciones, principalmente en los chorros con factores de Lorentz más altos, estos modos llegan a dominar el crecimiento de las perturbaciones. Su efecto es muy importante en el desarrollo de la fase no lineal, de manera que en aquellos sistemas en que no aparecen, los choques, la transferencia continua de momento y la carga de material destruyen el chorro inicial, mientras que si los modos resonantes dominan la evolución, éstos se mantienen colimados y rodeados por una transición de material caliente y más lento que protegen una parte central más rápida del medio externo.

Finalmente se estudiaron dos aplicaciones astrofísicas de nuestro trabajo. A partir de los resultados de un estudio lineal de observaciones del chorro de escala del parsec en el quásar 3C 273 (Lobanov & Zensus 2001, *Sci*, 294, 128), se realizaron dos simulaciones en tres dimensiones en las que se estudió el desarrollo de inestabilidades con el fin de ser comparado con los resultados teóricos ci-

tados. El objetivo era estudiar de qué forma este tipo de estudios nos pueden ayudar a entender la física que subyace en las estructuras observadas. En segundo lugar se realizó una simulación basada en las observaciones y modelización del chorro de la radiogalaxia FRI 3C 31 (Laing & Bridle 2002, *MNRAS*, 336, 1161) en la que se analizó la evolución del mismo, comparándola con el modelo y las observaciones citadas.

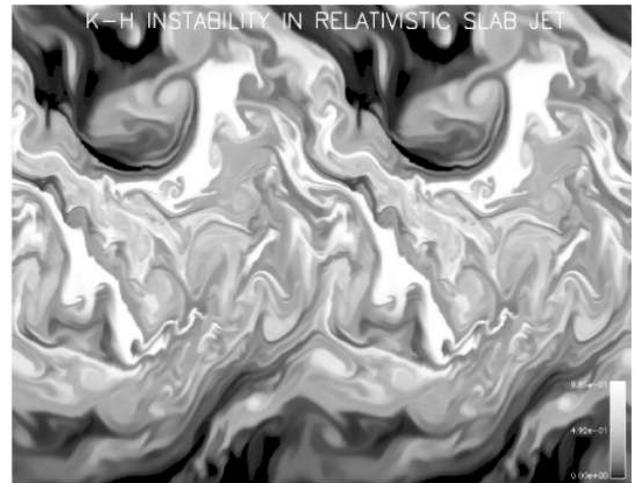


Figura 1 — Imágen de mezcla turbulenta en la fase no lineal.

INTERACCIÓN DEL MATERIAL EXPULSADO EN LAS EXPLOSIONES DE SUPERNOVA CON DIFERENTES TIPOS DE ESTRELLAS ACOMPAÑANTES

Nuria Serichol Augué

nuria.serichol@upc.edu

Tesis doctoral dirigida por Domingo García Senz
Centro: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Fecha de lectura: 21 de junio de 2005

A lo largo de toda la tesis se han presentado los resultados de una serie de simulaciones numéricas que trataban el problema de la interacción de la materia expulsada en la explosión de una supernova de tipo Ia (SNIa) con diversos tipos de estrellas acompañantes. Estas simulaciones se han realizado utilizando un método hidrodinámico, llamado *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH), el cual permite trabajar en tres dimensiones y puede seguir la evolución de sistemas autogravitantes con geometrías arbitrarias. Nuestros cálculos han sido comparados, en la mayoría de los casos, con los trabajos realizados por Marietta, Burrows & Fryxell

(2000) y también con los resultados analíticos de Wheeler, Lecar & McKee (1975).

Los modelos de explosión de supernova adoptados son: una deflagración, una detonación retardada, una explosión de enana blanca por debajo de la masa límite de Chandrasekhar (conocida como sub-Chandrasekhar), todas ellas son simulaciones realizadas suponiendo simetría esférica y por último, y más novedoso se ha utilizado un modelo de supernova calculado en tres dimensiones. De la misma manera los modelos de estrella acompañante que se han utilizado en los cálculos son estrellas de tipo solar o gigante roja. Estos modelos serían

posibles progenitores de SNIa en el marco conocido como *Single Degenerate Scenario* (SDS) donde el sistema progenitor consiste en una enana blanca orbitando junto a una estrella de la secuencia principal o una gigante roja en órbita compacta.

El objetivo de este estudio es intentar delimitar con más precisión las características del sistema progenitor de las SNIa (caracterizadas por la ausencia de líneas de hidrógeno en su espectro), con la esperanza de que pronto alguno de los observables predichos teóricamente sea detectado en la naturaleza. Lo que se pretende es tener idea de la cantidad de hidrógeno expulsada en la colisión, ya que su posible detección podría discriminar el escenario progenitor de las SNIa. Debemos señalar que hasta la fecha no ha habido detecciones observacionales de hidrógeno o helio a excepción de alguna puntual. A través de la simulación numérica se podría delimitar la masa de hidrógeno arrancada a la estrella acompañante como consecuencia del impacto de la envoltura de la supernova, que resulta ser de aproximadamente una décima de M_{\odot} . También poder estudiar la posible contaminación de la envoltura de la secundaria por los elementos químicos de menor velocidad de la eyecta. A su vez, permitiría encontrar valores de la velocidad del remanente de la secundaria. Según nuestro estudio éstas resultan ser mayores que las velocidades de las estrellas de campo, lo que sugiere que un análisis detallado de la distribución de velocidad de estrellas próximas a remanentes de supernova conocidas podría ayudar a la identificación de la naturaleza de la secundaria.

Como resultados notorios obtenidos podemos decir que la masa arrancada cuando el material eyectado ha atravesado la estrella de $1,0 M_{\odot}$ es del orden de un 10 % de su masa cuando no se considera la órbita en la simulación y cuando ésta se incluye los valores obtenidos resultan ser de aproximadamente un 20 % más pequeños. No varía mucho el resultado cuando se trata de estrellas algo más masivas ($1,7 M_{\odot}$ en nuestro cálculo) situadas en la secuencia principal, pero sí que cambia mucho cuando la colisión es con una gigante roja, ya que se pierde casi el 90 % de la envoltura. Una vez el material expulsado atraviesa la secundaria, vemos que se forma un agujero, en la eyecta, en la zona donde tiene lugar la colisión. La existencia de este agujero hace que haya una pérdida de simetría en el material eyectado, lo cual podría afectar ligeramente a la curva de luz. En particular, un estudio reciente de Kasen, Nugent, Thomas & Wang (2004) sugiere

que una asimetría puede implicar una ligera polarización en la curva de luz de la supernova. Para que tal asimetría sea medible estiman que el valor mínimo del agujero sea de unos 25° . En nuestros cálculos, la medida del agujero que se forma en el material eyectado oscila entre los 29° cuando la secundaria es una gigante roja y los 50° cuando es una estrella de $1,7 M_{\odot}$, pasando por los 43° a 47° cuando se trata de una estrella de tipo solar, estos valores son algo mayores que el valor mínimo (25°) sugerido por Kasen et al. (2004). Por otro lado, las densidades y temperaturas centrales justo después del paso de la onda de choque también se ven incrementadas considerablemente ($\rho_m/\rho_0 \approx 1,8$ y $T_m/T_0 \approx 1,5$) respecto de sus valores iniciales.

En la mayoría de modelos de explosión la distribución de los elementos sintetizados está muy estratificada ya que se trata de modelos con simetría esférica. En la mayor parte de nuestras simulaciones la masa arrancada de hidrógeno-helio de la secundaria se mezclará con los elementos pesados, por lo cual su detección sería posible en épocas tardías. Esto sería una prueba importante a favor de los SDS. Ahora bien, por lo que se refiere al modelo de supernova calculado en tres dimensiones, los elementos sintetizados no están estratificados y además, se mueven a gran velocidad, cosa que hace que el hidrógeno arrancado no se mezcle con estos elementos. Estos resultados son muy interesantes ya que contradicen todos los resultados obtenidos hasta la fecha y, al menos, proyectan algunas dudas sobre la posibilidad de discernir entre el SDS y otros escenarios mediante el análisis espectral.

En una segunda parte se estudia el proceso de colisión dentro del escenario conocido como colapso inducido por acreción (AIC). El sistema binario consiste ahora en una enana blanca que colapsa directamente a estrella de neutrones más una estrella acompañante de masa pequeña ($0,3 M_{\odot}$). El interés de este escenario radica en que podría explicar la existencia de los llamados púlsares del milisegundo aislados para los cuales no existe una teoría plenamente satisfactoria. En este caso la inclusión de la órbita en la simulación es fundamental. Nuestros cálculos indican que la destrucción total o parcial de la estrella acompañante depende fuertemente de su grado de compacidad. Estrellas con $0,3 M_{\odot}$ y densidades centrales por debajo de 50 g/cm^3 podría quedar prácticamente destruidas sin dejar residuo. En cambio, configuraciones más compactas podrían sobrevivir a la colisión y dejar un remanente.