

ENCUENTROS CON LA
CIENCIA
Del macrocosmos al microcosmos



Los contenidos de este libro se publican bajo la licencia
Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 3.0
de **Creative Commons**
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>)

www.encuentrosconlaciencia.es

Un recorrido por el Universo y sus criaturas "más voraces"

Alberto J. Castro-Tirado, *investigador científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en el Instituto de Astrofísica de Andalucía en Granada (IAA-CSIC)*

Desde los comienzos de la Humanidad el Firmamento ha sido estudiado con interés y curiosidad y, hasta muy recientemente, como algo estático, o muy lentamente cambiante, debido a que la instrumentación disponible no permitía observar de forma inmediata y con la suficiente profundidad como para que se pudiera apreciar la evolución de fenómenos transitorios. Hoy en día las nuevas tecnologías permiten la construcción de telescopios automatizados y cámaras de alta sensibilidad, que unidos a instrumentos embarcados en satélites artificiales son capaces de observaciones en todo el espectro electromagnético, desde las radiofrecuencias hasta la zona de los rayos gamma (pasando por el infrarrojo, el óptico, el ultravioleta y los rayos X).

Andalucía, y Málaga en concreto, gozan de un clima excepcional en comparación con el resto de Europa, y esto no sólo lo saben los turistas (y los malagueños que hemos viajado a otros países), sino también los científicos europeos que hace ya treinta años que decidieron situar el mayor observatorio astronómico de la Europa continental en suelo andaluz, y concretamente en la Sierra de los Filabres (Almería). Éste es el Observatorio Astronómico Hispano Alemán de Calar Alto, que se unió al Real Observatorio de la Armada en San Fernando en Cádiz (que en 2003 celebró su CCL Aniversario) y al que siguió el Observatorio de Sierra Nevada del Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC en Granada.

Nosotros, modestamente, también hemos intentado aportar nuestro grano de arena en este campo y, aunando ciencia y tecnología hemos sido desarrollado el primer observatorio robótico de nuestro país, en su doble sede de Mazagón (Huelva) y Algarrobo Costa (Málaga). El proyecto (de nombre BOOTES) es uno de los primeros que se han desarrollado para llenar el hueco que ahora existe en la Astronomía de variabilidad rápida. Si a esta tecnología añadimos la capacidad de analizar las imágenes obtenidas en tiempo real, BOOTES se convierte en uno de los instrumentos más adecuados y potentes de todo el Planeta para la investigación del Universo Dinámico. Pero veamos antes un rápido recorrido por el Universo y sus criaturas más «voraces».

Las etapas finales en la vida de las estrellas

Hoy sabemos que el Universo contiene más de 50.000 millones de galaxias y que una galaxia como la nuestra, la Vía Láctea (esa franja blanquecina que podemos ver atravesando el cielo en una noche sin Luna si nos alejamos lo suficiente de las ciudades), contiene cientos de miles de millones de estrellas (la mayor parte parecidas a nuestra estrella, el Sol).

Cuando una estrella llega al final de sus días son posibles dos finales, dependiendo de su masa. Pero ¿qué es una estrella? Desde la época de Aristóteles (s. IV a.C.) y por muchos siglos se pensó que las estrellas eran enormes bolas de fuego incesante y perpetuo, aunque Hipparcos en el año 134 a.C. advirtió la presencia de una estrella “nueva” en la constelación del Escorpión y decidió confeccionar su famoso catálogo estelar que ha sido el más completo durante unos 1.600 años. Hasta el año 1054 d.C. no hay testimonios de «estrellas invitadas» en el cielo, cuando un nuevo astro apareció en la constelación de Taurus, según se recoge en crónicas chinas y japonesas de la época (es un misterio el porqué en Europa no se advirtió tal objeto, visible incluso durante el día; ¿tal vez se perdieron los registros?). Y ya en 1572, el descubrimiento de una nueva estrella en la constelación de Casiopea sí que fue detectado por Tycho Brahe, en una Europa en que la ciencia ya empezaba a renacer.

Y con la aparición de la ciencia moderna se llegó a la conclusión de que tenía que haber alguna fuente de energía desconocida que hiciera que las estrellas estuvieran activas durante intervalos de tiempo tan largos. Fue en el pasado siglo XX cuando, gracias a la física nuclear, se entendió que casi toda la vida de las estrellas estaba regida por procesos nucleares originados en la escala de las partículas subatómicas como consecuencia del colapso gravitatorio de una enorme masa de gas (hidrógeno en su mayoría, con algo de helio y una pequeña fracción de litio y berilio) desde sus instantes iniciales. Es en esas circunstancias cuando las condiciones de presión y temperatura son las suficientes como para que cada segundo millones de toneladas de hidrógeno se transformen en helio (cada dos átomos de hidrógeno se funden en uno de helio) y así comience su vida la estrella recién nacida («protoestrella»). Las estrellas también tienen su ciclo vital, al igual que los seres vivos.

En el alto horno nuclear del Sol, a una temperatura de 16 millones de grados, se están quemando 1 millón de toneladas de hidrógeno cada segundo, generando luz y calor durante un proceso que dura ya unos 5.000 millones de años y que hace que la Tierra sea habitable y la vida en ella posible. Tampoco es casualidad que nuestros ojos tengan su máxima respuesta alrededor de la longitud de onda de 550 nanómetros, justo donde el Sol emite su máxima energía.

Las estrellas, en general, después de una fase que dura entre una decena de millones de años (lo menos frecuente) y unos pocos de miles de millones de años (lo más normal), suelen acabar sus vidas expandiéndose como «gigantes rojas», para luego contraerse en una «enana blanca» o explotar como «supernovas», dejando como remanente a una «estrella de neutrones» o incluso un «agujero negro», en el caso de las estrellas más masivas. Cuando estos objetos compactos entren en contacto con la materia circundante o incluso con una estrella compañera, estos sistemas se van a convertir en las «criaturas» más «voraces» del Universo, como veremos a continuación.

A medida que se produce helio éste se va acumulando en el centro de la estrella por motivo de su mayor densidad. Una vez que el hidrógeno se ha agotado, el núcleo de helio no puede soportar el peso de la

estrella y empieza a comprimirse. Llegado un punto, y si la estrella es suficientemente pequeña (inferior a 2,5 veces la masa de nuestro Sol, que es de casi 2 quintillones de kg), se detiene en parte la compresión. Es entonces cuando se alcanzan los 100 millones de grados, que es la temperatura a la cual se produce la fusión del helio. Entonces la estrella proseguirá durante unos millones de años más en una nueva fase estable (conocida como de gigante roja), fusionando el nuevo combustible. Nuevas capas de hidrógeno virgen adyacentes al núcleo de helio también inician su fusión, aumentando así la luminosidad de la estrella, y ésta vuelve a expandirse. Al comienzo de esta fase de gigante roja, las capas más externas se irán expandiendo y enfriando progresivamente hasta llegar a un nuevo equilibrio.



NGC 891. Una galaxia semejante a nuestra Vía Láctea es la catalogada como NGC 891, que se nos muestra de perfil con el resplandor conjunto de sus cientos de miles de millones de estrellas, muchas de ellas ocultas tras la banda de gas y polvo que la atraviesa. Las estrellas individuales que se aprecian en la imagen, están mucho más cercanas a nosotros (unos cientos o pocos miles de años luz) y pertenecen a nuestra propia galaxia, a diferencia de NGC 891, que resplandece a 10 millones de años luz de distancia. Cortesía del autor y del equipo del proyecto BOOTES/BOOTES-IR.

Las capas externas de las gigantes rojas se van a ir perdiendo hacia el espacio interestelar debido a los «vientos» intensos procedentes del núcleo estelar. Estas pérdidas de masa de la estrella serán de entre el 40 y el 60%. Tras una expulsión más o menos suave (no violenta) de sus capas más externas, éstas pasan a constituir una nebulosa iluminada por el objeto compacto central denominada "nebulosa planetaria" (por su similitud a través de pequeños telescopios con los discos de planetas como Urano, Neptuno...). Los restos de material expulsado tras la muerte de la estrella son más ricos en elementos pesados como el carbono, oxígeno o hierro. El resto de elementos de la Tabla Periódica que todos conocemos y que son más pesados que el hierro solamente se pueden producir en las «supernovas» (de las que hablaremos más adelante) por lo que la mayoría de elementos pesados que forman nuestro planeta y nosotros mismos han sido procesados anteriormente en el interior de estrellas más masivas. Por ello, realmente podemos decir que somos «cenizas de estrellas».

Enanas blancas (una de las cuales será el Sol)

Desde el descubrimiento en 1862 de la primera enana blanca orbitando junto a Sirius, la estrella más brillante (aparentemente) del firmamento, los científicos hemos avanzado mucho en este campo de conocimiento. Así, hoy sabemos que, atendiendo a la masa de su objeto progenitor, las estrellas de baja masa pueden dar lugar a: i) enanas blancas de helio (menos de 0,5 veces la masa del Sol, con una vida del orden de 50.000 millones de años antes de llegar a la fase de enana blanca, lo que supone más de tres veces la edad del Universo), ii) enanas blancas de carbono y oxígeno (entre 0,5 y 1,5 la masa del Sol, con una vida de unos 10.000 millones de años), iii) enanas blancas de estrellas de masa media y alta (entre 1,5 y 9 veces la masa de Sol, las cuales pueden perder entre el 80 y el 90% de su masa inicial en las etapas finales de su evolución), y iv) enanas blancas de oxígeno y neón (alrededor de 9 o 10 masas solares), que son capaces de quemar el carbono alcanzando así la categoría de "supergigantes", dejando un núcleo de oxígeno y neón).

El Sol, después de otros 4.000 o 5.000 millones y llegado a sus momentos finales tras la fase de gigante roja en la que engullirá a los planetas Mercurio y Venus, intensificará cada vez más sus vientos estelares, expulsando progresivamente su cubierta de hidrógeno hasta dejar un núcleo desnudo y degenerado de carbono y oxígeno. Durante unos 30.000 años, una estrella como el Sol expulsará en sus espasmos finales el 40% de su masa antes de finalizar sus días como una enana blanca.

Supernovas y estrellas de neutrones

Ya hemos mencionado la aparición en el segundo milenio que acabamos de dejar atrás, de varias «estrellas nuevas» o invitadas en diversas constelaciones, siendo visibles algunas de ellas incluso a plena luz del día. ¿Cuál es la fuente de energía que hace que estos objetos aumenten su brillo millones de veces de manera repentina?



La Nebulosa del Cangrejo es el residuo de una supernova que explotó en el año 1054, tal como registran las crónicas chinas de la época. Llegó a ser visible incluso durante el día. Casi 1000 años después, en su lugar lo único que vemos es la nebulosa desgarrada como consecuencia de las capas de materias expulsadas y, en su centro, una estrella de neutrones que gira vertiginosamente 33 veces por segundo, a modo de faro cósmico ultra rápido. La distancia es de algo más de 6.000 años luz. *Cortesía del autor y del equipo del proyecto BOOTES/BOOTES-IR.*

Hoy sabemos que por encima de 10 veces la masa del Sol las etapas finales en la vida de las estrellas son ciertamente distintas. La razón principal radica en que éstas forman un núcleo de carbono y oxígeno que alcanza mayores temperaturas y densidades de modo que, en la fase de enana blanca resultante intermedia, el núcleo está formado fundamentalmente por oxígeno, neón y también cierta cantidad de magnesio. Como consecuencia de una serie de procesos físicos, la presión que equilibra la estrella frente a la fuerza de la gravedad que conllevaría al colapso gravitacional, disminuye rápidamente, hasta llegar a un punto en que el objeto compacto se vuelve inestable. Entonces ocurre una contracción repentina y la ignición explosiva del oxígeno y del neón que aún quede, dando como resultado un evento catastrófico: la «explosión supernova».

Así pues, podemos decir que las supernovas son explosiones descomunales en las que estalla una estrella completa. Son extremadamente brillantes, rivalizando, por unos pocos días, con la emisión de luz combinada de todo el resto de las estrellas en la galaxia. El estudio es incluso difícil para los grandes telescopios, por encontrarse en distantes galaxias. Pero ocasionalmente ocurren en galaxias cercanas, y entonces es posible un estudio detallado en todo el espectro electromagnético. La última supernova vista en nuestra galaxia fue la descubierta en 1604 por Kepler. La más brillante desde entonces fue la supernova 1987A, en la Gran Nube de Magallanes, una pequeña galaxia satélite de la Vía Láctea. Se estima que en nuestra galaxia se produce una supernova cada 50 o 100 años, pero la mayor parte de ellas están oscurecidas por el polvo interestelar al producirse «al otro lado» de nuestra galaxia, con lo que ya llevamos cuatro siglos de espera.

Atendiendo a sus distintas historias evolutivas, las supernovas se clasifican en dos tipos diferenciados. Las supernovas de Tipo I resultan de la transferencia de materia dentro de un sistema binario que consiste de una estrella enana blanca y una estrella gigante, mientras que las supernovas de Tipo II son, en general, estrellas individuales que llegan a su final por medio de una explosión catastrófica. Después de la explosión, el material eyectado continúa expandiéndose en una capa alrededor del sitio progenitor, mientras que, en las supernovas del Tipo II, una «estrella de neutrones» central permanece. ¿Qué es una estrella

de neutrones? Postulados en 1933, estos objetos son la consecuencia del colapso del núcleo estelar, ya despojado de sus capas exteriores, cuando éste supera el límite de 1,44 veces la masa del Sol. Se genera un proceso en el cual los electrones se mueven con una velocidad inmensa y, al chocar con los protones, los transforman en neutrones, que son incapaces de generar la presión equilibrante necesaria frente a la fuerza de gravedad, con lo que el colapso es inevitable. La estrella se transforma en un gas de neutrones. Disminuye su tamaño considerablemente hasta llegar a un radio de entre 10 a 20 kilómetros. La inmensa presión y temperatura que se dan cita en el núcleo de hierro de la supernova en el momento de su explosión origina una de estas estrellas, haciendo que, a pesar de sus cargas opuestas, los electrones y protones se aproximen de tal manera que acaben fusionándose y originando neutrones. Por debajo de una corteza sólida, de unos cuantos metros de espesor, estos neutrones forman una materia tan densa en el interior profundo de la estrella que una cucharada de la misma podría llegar a pesar mil millones de toneladas.

Explosiones cósmicas de rayos gamma y agujeros negros

Si la masa del núcleo estelar que se colapsa es suficientemente pequeña, entre 1,5 y 2,5 masas solares, los propios neutrones podrán frenar el colapso, pero de lo contrario seguirá contrayéndose hasta concentrarse toda la materia en una singularidad, una región del espacio de densidad infinita de la cual ni la propia luz puede escapar, siendo atraída toda la materia circundante por el intensísimo campo gravitatorio (y de ahí el nombre de agujero negro). Las masas iniciales de las estrellas que dan lugar a supernovas (y producen estrellas de neutrones) van desde unas 10 masas solares hasta las 25 o 30. ¿Pero que ocurre con las estrellas más masivas aún?

Las respuestas a este interrogante comenzaron en 1969, cuando los satélites norteamericanos de la serie *Vela*¹ recogieron en sus detecto-

¹ Del español *velar*; fueron designados para verificar el cumplimiento del Tratado de No Proliferación Nuclear por parte de la por entonces Unión Soviética.

res 16 incrementos muy fuertes del número de fotones gamma sobre el nivel de fondo provenientes de fuentes exteriores al Sistema Solar. Tras estudiar estos eventos, un grupo de científicos estadounidenses anunciaron el descubrimiento de los estallidos cósmicos de rayos gamma (abreviadamente GRB). Éstos se muestran como breves fogonazos de fotones cósmicos de alta energía ($\geq 0,1$ millones de electronvoltios), distribuidos de manera isótropa en la esfera celeste, lo que sugiere su origen cósmico. A partir de entonces, grupos de científicos e ingenieros de todo el mundo comenzaron a desarrollar una instrumentación nueva a fin de estudiar el fenómeno. Actualmente se detectan a un ritmo aproximado de 300 por año. La ocurrencia de los GRB no es periódica, pero los eventos muestran una notoria bimodalidad en lo que se refiere a su estructura temporal: el ~25% son cortos (duran de media 0,2 s) con alta emisión de partículas gamma, frente al ~75% que son largos (duran de media 30 s) y con más proporción de partículas de más baja energía.

Un paso fundamental para profundizar en el conocimiento de los GRB fue la detección de contrapartidas, en otras longitudes de onda distinta a los propios rayos gamma, asociadas al fenómeno y, en particular, en rayos X (como consiguió el satélite *BeppoSAX* en 1997) que permitió el descubrimiento de las primeras en el visible ya en ese año. El brillo en rayos-X disminuía vertiginosamente a medida que transcurrían las horas. Gracias a satélites como *BeppoSAX*, y otros posteriores (*INTEGRAL*, *HETE-2*, *Swift*), los astrofísicos hemos podido identificar los objetos responsables de estos cataclismos descomunales, más energéticos incluso que las propias supernovas (de ahí el nombre de «hipernovas»). La energía, depositada en pocos segundos en unos pocos kilómetros sería equivalente a unos 30.000 quintillones de bombas atómicas como la de Hiroshima, de triste recuerdo.

Hoy está admitido que las hipernovas son causadas por explosión de estas estrellas masivas, concretamente del tipo «Wolf-Rayet» (WR), astros que se formaron originariamente con una masa de al menos 25 veces la masa del sol y cuyo constituyente principal era el hidrógeno. Durante la fase WR, una vez desprovistas de las capas externas, exponen el helio, oxígeno y elementos más pesados producidos por las reacciones termonucleares en su interior durante la fase precedente en

su ciclo vital. El colapso final da lugar primero a una estrella de neutrones, que a su vez vuelve a colapsar formando un agujero negro. Así, podemos decir que una explosión cósmica de rayos gamma es como el «llanto» de un agujero negro recién nacido, como consecuencia de la muerte de la estrella progenitora.

Hemos de añadir que estos agujeros negros estelares son la versión a escala de los agujeros negros supermasivos (con masas de cientos de miles o incluso millones de masas solares) que residen en el corazón de todas las galaxias (Vía Láctea incluida) y de los que todavía no hay acuerdo entre los científicos sobre si se formaron antes o después que las primeras generaciones de estrellas en las galaxias.

El Proyecto BOOTES: a la caza de agujeros negros recién nacidos desde Andalucía

El nombre latino de la constelación del Boyero, BOOTES, sirve como acrónimo, en varias lenguas², a este experimento. BOOTES es el primer telescopio robótico de nuestro país, y fruto de una colaboración internacional en Astrofísica de Altas Energías, que inició el proyecto en 1996. El equipo lo componen científicos e ingenieros de Institutos españoles y checos. Su principal razón de ser es la observación de contrapartidas en el visible de GRBs, y está siendo parte de un amplio esfuerzo de preparación, como apoyo en tierra, para satélite espaciales como *INTEGRAL*, de la ESA (Agencia Espacial Europea).

Aunque en un principio BOOTES fue pensado como un instrumento para la investigación de los GRB, también ha participado en el estudio de tormentas de meteoros y ha ido acumulando en varios años de observaciones una cuantiosa base de datos fotométricos de más de 500 Gbytes en donde buscar objetos que exhiben variaciones de corto periodo.

² En español: «**B**rotos **O**bservados y fuentes transitorias **Ó**pticas **E**xploradas **S**istemáticamente»; en inglés: «**B**urst **O**bserver and **O**ptical **T**ransient **E**xploring **S**ystem».

Las dos estaciones de observación de BOOTES se encuentran en Andalucía. La primera de ellas (BOOTES-1) se ubica en el Centro de Experimentación del Arenosillo del Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial (INTA) en Mazagón (Huelva). La segunda estación está en la Estación Experimental de La Mayora del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en Algarrobo Costa (Málaga). La coordinación de ambas y su aprovechamiento científico se efectúa desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC en Granada.

El hecho de que BOOTES-1 se encuentre en la Estación de Sondeos Atmosféricos del Centro de Experimentación del Arenosillo (INTA) en Mazagón (Huelva), mientras que BOOTES-2 está ubicado en la Estación Experimental de la Mayora (CSIC) en Algarrobo Costa (Málaga) no es una casualidad. Aparte del gran número de noches despejadas en estas dos localidades andaluzas, el que las dos estaciones estén separadas por 240 km es también importante. Al hacer uso

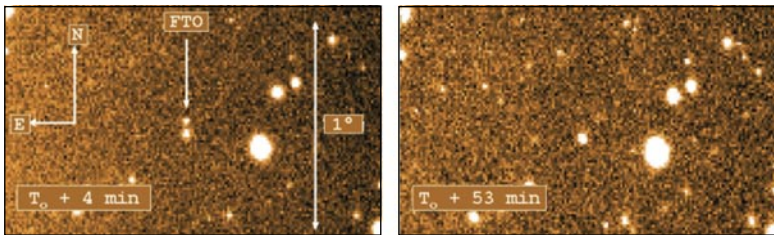


Estación robótica BOOTES-1 en el INTA, Mazagón (Huelva). En primer plano se encuentra el telescopio triple formado por instrumentos de 30, 20 y 20 cm de diámetro (uno de los cuales fue regalado por sus padres al autor de este artículo cuando tenía 16 años). La estación hermana (pequeña) es BOOTES-2 y está situada en la EELM-CSIC en Algarrobo Costa (Málaga).

de idéntica instrumentación y observar simultáneamente el mismo campo del cielo, BOOTES obtiene una visión estereoscópica, por lo que puede, mediante paralaje, discriminar aquellas fuentes detectadas cuyo origen se encuentre cerca de la Tierra (a menos de 1 millón de km).

Uno de los últimos aspectos técnicos desarrollados en el marco de este proyecto consiste en un sistema de información y control remoto que, mediante un teléfono móvil GSM (Grupo Especial de Movilidad), permite un control completo de los observatorios sin necesidad de la presencia humana, siendo pues el primer observatorio robótico de España y uno de los primeros del mundo. BOOTES ya había desarrollado una estación meteorológica equipada con programación capaz de evaluar las condiciones climatológicas e interrumpir las observaciones automáticamente, cerrando las cúpulas, para proteger los equipos en caso de necesidad. El nuevo sistema añade las siguientes funciones, que se pueden invocar desde un teléfono móvil: informes a la carta del estado de los observatorios, incluyendo la posición de las cúpulas e información meteorológica completa, alertas de fallos en el sistema, tales como problemas en la abertura y cierre de las cúpulas, condiciones climatológicas adversas e interrupción del suministro eléctrico, capacidad de abrir y cerrar las cúpulas a voluntad en cualquier momento. El objetivo es hacer de BOOTES uno de los primeros observatorios robóticos inteligentes del planeta.

Aparte de observaciones en el campo de GRB, BOOTES colabora con otros científicos españoles en el estudio de meteoros. Estos estudios incluyen observaciones con doble estación y la evolución de los trazos



Fuente óptica transitoria asociada a la explosión de rayos gamma GRB 000313.

BOOTES-1 (El Arenosillo), 23/08/07 04:19:11 UT



Imagen desde la estación BOOTES-1 en Huelva de un espectacular bólido atravesando el cielo nocturno que fue visible en gran parte de Andalucía la noche del 23 de agosto de 2007. Varias cámaras como la que recogió este fenómeno se encuentran ya registrando el cielo andaluz de manera continuada.

de meteoros en la alta atmósfera. En el caso de los brillantes bólidos que ocasionalmente atraviesan el cielo, la obtención de imágenes desde ambas estaciones posibilita el determinar el lugar de caída de meteoritos y su recuperación, en caso de haberse producido éstos al no desintegrarse el cuerpo original al atravesar la atmósfera.

BOOTES es el primer telescopio robótico óptico existente en España, y ya ha producido importantes resultados, como los publicados en la prestigiosa revista científica *Nature* en 2006. Su extensión al infrarrojo cercano ya es un hecho, porque en el Observatorio de Sierra Nevada (Granada), propiedad del Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC está en funcionamiento desde otoño de 2007 una cámara infrarroja adosada a un telescopio robótico de 60 cm de diámetro. BOOTES-IR (que así se llama el conjunto) se convierte igualmente en el primer telescopio robótico trabajando en el IR en nuestro país (y en el cuarto del planeta) pero, además, es el telescopio más veloz

(por lo que al apuntado se refiere) en su clase. Con un costo modesto, BOOTES-IR nos permitirá descubrir y estudiar los objetos más distantes del Universo como jamás se ha hecho, en virtud de su capacidad y rápido tiempo de respuesta.

¿Cual es el futuro inmediato? El reemplazo a finales de 2007 de los modestos telescopios de BOOTES-1 y BOOTES-2 por instrumentación más potente (telescopios de 60 cm de diámetro) va a ser una realidad, gracias a la consideración de Proyecto de Investigación de Excelencia por parte de la Junta de Andalucía, que se ha unido al constante apoyo del INTA y CSIC (y de la Fundación Málaga para BOOTES-2). Y más allá se vislumbra la extensión de nuestra red de telescopios robóticos a otros puntos del planeta (como Nueva Zelanda en 2008). Pero eso ya lo dejaremos para otro artículo...

PARA SABER MÁS



Alrucaba (revista anual de la Sociedad Malagueña de Astronomía), Málaga.

Jiménez, A. y Castro-Tirado, A. J. 1998, *Astronomía X*, ed. Equipo Sirius, Madrid (ISBN: 84-86639-83-2).

IAA: Información y Actualidad Astronómica (revista semestral del Instituto de Astrofísica de Andalucía), Granada.

Morrison, P., Eames, C. y Eames, R. 1984, *Potencias de Diez*, ed. Labor, Barcelona (ISBN: 84-7593-001-8).

Shapiro, S. L. y Teukolsky, S. A. 1983, *Black holes, white dwarfs and neutron stars*, John Wiley & Sons, Nueva York (ISBN: 0-471-87317-9).

Tribuna de Astronomía (revista mensual de divulgación científica), ed. Equipo Sirius, Madrid.