



LAEFF Reporter

Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Villafranca del Castillo

<http://www.laeff.esa.es>

Año IX, núm. 34. Marzo 2003



EL PODER DE LAS NUBES

Planetas errantes jóvenes

BOOTES: el centinela del cielo. Cinco años del primer observatorio robótico de España

Últimas fases en la vida de una estrella

AMANDA, observatorio de neutrinos

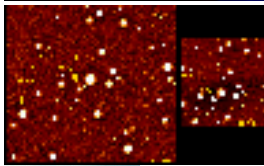
Medición de la velocidad de la gravedad

PARTNeR en la Feria de Madrid por la Cien-

SUMARIO

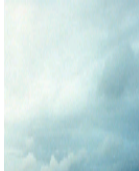


Única imagen del espectacular bólido observado desde la mitad sur de España el pasado 27 de enero a las 20:50:36 hora oficial. El cuerpo-posiblemente un fragmento de origen asteroidal- de varios cientos de kg de masa sobrevoló el noreste de Marruecos y sur de Melilla en sentido este-oeste, alcanzando magnitud -15. La imagen, de 45 s es parte de una toma que recoge continuamente todo el cielo por medio de una cámara diseñada por Alberto Castro-Tirado como parte de la instrumentación de BOOTES, el primer observatorio astronómico robótico que opera en España desde 1998.



Primera Plana
Planetas errantes jóvenes
María Rosa Zapatero Osorio

3



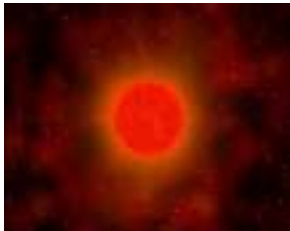
La Tarima
El poder de las nubes
Juan R. Acarreta

8



Dossier
BOOTES: el centinela del cielo
Cinco años del primer observatorio robótico de España
Alberto J. Castro Tirado

13



Apuntes
Últimas fases en la vida de una estrella
José Vicente Perea

15



Astronoticias
-Medición de la velocidad de la gravedad
-AMANDA, observatorio de neutrinos
-PARTNeR en la Feria de la Ciencia de Madrid

17

Director: Benjamín Montesinos
Redactora Jefe y Editora: Concha Prieto
Diseño: Jesús García y Concha Prieto
Distribución: Laboratorio

Depósito Legal: M-11899/95
ISSN: 1135-1802

Consejo de Redacción

David Barrado, Itziar de Gregorio, José Francisco Gómez, Elena Jiménez,
Miguel Mas, Bruno Merín, Benjamín Montesinos, Concha Prieto.

Laeff Reporter. Marzo 2003



El LAEFF es un laboratorio del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial en el que investigan científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en virtud de un convenio de colaboración firmado entre ambas entidades.



Planetas errantes jóvenes

María Rosa Zapatero Osorio (LAEFF-INTA)

En nuestra galaxia, y fuera del sistema solar, existen planetas gigantes en órbita alrededor de estrellas, y planetas errantes que no están ligados por gravedad a ninguna estrella. Es posible que la población de estos planetas errantes sea tan numerosa como la estelar.

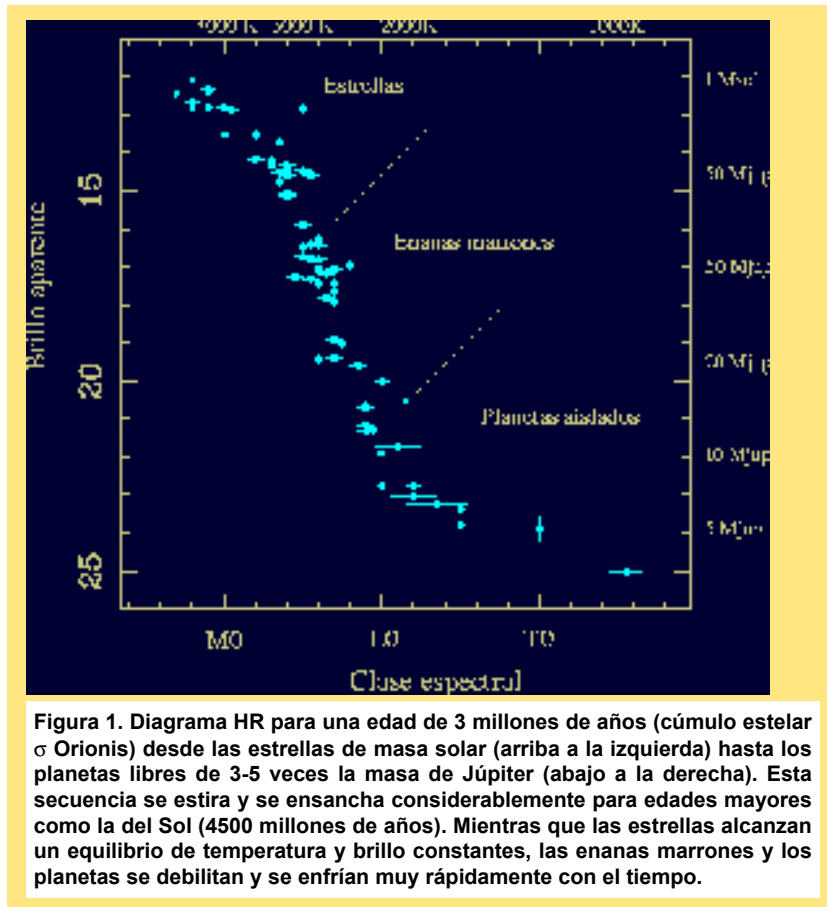
Demostrar la existencia de planetas fuera del sistema solar ha sido durante más de un siglo uno de los objetivos más ambiciosos en Astrofísica. Hoy día se conocen más de 100 planetas en órbita alrededor de otras estrellas de la Galaxia desde que en 1992 se identificaran los primeros. Son planetas gaseosos y gigantes con masas muy parecidas a las de Júpiter y Saturno, los planetas mayores de nuestro sistema solar. Parece ser que los llamados planetas gigantes extrasolares (o "exoplanetas") no son una especie rara en la Vía Láctea. Sin embargo, el descubrimiento de planetas que no están asociados gravitatoriamente a estrellas ha conmovido a la comunidad científica desde finales de los años noventa. Los "planetas libres" son una nueva clase de cuerpos astronómicos que han desafiado todos nuestros conocimientos y teorías sobre el origen de las estrellas, los planetas, y los sistemas planetarios.

En 1995 se descubrieron las primeras enanas marrones jóvenes que habitan en las Pléyades de 120 millones de años. Son el eslabón entre los planetas y las estrellas más pequeñas, y se diferencian sustancialmente de las estrellas porque las enanas marrones son incapaces de producir energía mediante reacciones nucleares constantes. La luz que observamos de las estrellas tiene su origen

principalmente en la fusión nuclear del hidrógeno y del helio. Pero las enanas marrones son demasiado pequeñas, con temperaturas frías, y en su interior no se reúnen las condiciones necesarias para que tengan lugar este tipo de reacciones energéticas. Tienen masas inferiores a un 7,5% la masa del Sol, es decir, las enanas marrones más grandes tienen 75 veces la masa de Júpiter. Este valor es conocido como el "límite subestelar", y marca la frontera entre las estrellas y las enanas marrones. Debido a la falta de un horno nuclear, las enanas marrones y los planetas evolucionan enfriándose y debilitándose hasta llegar a ser cuerpos muy apagados. Cuando son jóvenes, con edades inferiores a unos pocos cientos de millones de años, aún son detectables en el visible y en el infrarrojo cercano. Se han observado enanas marrones aisladas, sistemas binarios de enanas marrones, y enanas marrones en órbita alrededor de estrellas.

Debido a la naturaleza fría y luminosidad baja de los objetos subestelares (enanas marrones y planetas), ha sido necesario definir dos nuevas clasificaciones espectrales de acuerdo a las propiedades atmosféricas. Las nuevas letras asignadas son L y T (2300-800 K), y extienden la ya clásica clasificación estelar O, B, A, F, G, K, M (42000-2300 K) del

Primera Plana



sistema MK (figura 1). Se conocen más de 200 enanas marrones con masas entre 75 y 13 veces la masa joviana que pueblan los cúmulos estelares jóvenes (como las Pléyades), las asociaciones de reciente formación de estrellas (como la Nebulosa de Orión), y el disco de la Galaxia. Las búsquedas más sensibles continúan rastreando diferentes regiones galácticas y no parecen encontrar el final de la población menos masiva.

Las teorías actuales para

explicar el origen de las estrellas y las enanas marrones suponen que estos cuerpos nacen como resultado del colapso y fragmentación de nubes moleculares frías. Mediante la física que relaciona presión, temperatura y densidad, se deduce que existe una masa mínima para la fragmentación de nubes, por debajo de la cual no se pueden formar objetos de manera aislada. Esta cota está alrededor de 10 veces la masa de Júpiter. Las teorías para la formación de planetas suponen que éstos se

originan en un disco alrededor de una estrella central, mediante la captura del gas y polvo residual que deja la estrella en su formación. Estos procesos pueden explicar planetas terrestres en órbitas circulares, pero tienen grandes dificultades en explicar el origen de planetas gigantes en órbitas pequeñas.

En 1998, Tamura (Observatorio Astronómico Nacional de Japón) y sus colaboradores hallaron evidencias de una población con masas en el "régimen de los planetas gigantes" por debajo de las 10-13 veces la masa de Júpiter en la nube molecular de Camaleón I, una región muy joven de la Galaxia. A pesar de ser objetos muy débiles, radian energía resultado del colapso gravitatorio al que están sometidos. Estos cuerpos, aún siendo tan pequeños, están aislados, y no orbitan alrededor de ninguna estrella. Poco después, en el 2000, un equipo británico (Lucas y Roche) y otro español y alemán (Zapatero Osorio y colaboradores) descubren cantidades importantes de estos objetos en Orión (figura 2), en concreto en la nebulosa del mismo nombre y en el cúmulo estelar alrededor de la estrella σ de esta constelación (figura 3). Todos tienen edades inferiores a los 5 millones de años. Si bien las medidas son complicadas en

Primera Plana

Los planetas errantes jóvenes son más calientes y brillantes que los planetas gigantes y gaseosos del sistema solar

Camaleón I y en la Nebulosa de Orión porque todavía están afectados por la nube molecular progenitora, σ Orionis ha disipado su nube y la masa de los candidatos se puede determinar con cierta facilidad a partir del brillo. Las medidas indican que son objetos de tamaño planetario con masas entre 3 y 13 veces la masa joviana.

El nombre apropiado para designar a estos objetos es tema de debate actual en la comunidad científica. Al igual que los planetas gigantes del sistema solar, no presentan ningún tipo de reacciones nucleares (la reacción nuclear menos energética es la quema del deuterio, y ésta tiene lugar en interiores de enanas marrones mayores que 13 masas jovianas). Son cuerpos convectivos con superficies muy frías que evolucionarán hasta alcanzar temperaturas (y muy posiblemente, apariencias) similares a las de los planetas de nuestro sistema solar (pocos cientos de grados). Su tamaño es similar al de Júpiter y, en algunos casos, tienen incluso

un volumen menor. Por lo que conocemos hasta ahora de sus propiedades atmosféricas, son más parecidos a los planetas que a las estrellas. Sin embargo, desconocemos su origen y cómo pueden existir "en solitario". Su existencia aislada podría sugerir que nacieron sin la presencia de una estrella central. Parte de la comunidad científica ha comenzado a llamarlos "planetas errantes" o "planetas libres" en base a la estimación de su masa, y a disgusto de aquéllos que prefieren denominaciones fundamentadas en procesos de formación.

Esta nueva clase de objetos astronómicos se han encontrado en regiones de formación estelar y en cúmulos abiertos, donde están agrupadas miles de estrellas jóvenes. Estas estrellas se dispersarán probablemente con el tiempo y deambularán por la Galaxia al igual que lo hace el Sol. Los "planetas errantes" de estas regiones jóvenes sufrirán, en su mayoría, el mismo destino, posiblemente en escalas tempo-



Figura 2. Orión es una de las regiones jóvenes de formación estelar más prolíficas de la Galaxia. Aquí residen miles de estrellas, enanas marrones y planetas libres recién nacidos. Algunos de estos planetas aislados se han encontrado en la Nebulosa de Orión (M42) y alrededor de la estrella σ Orionis. (Foto obtenida de la NASA)

rales más cortas debido a su menor masa. Una vez que hayan abandonado su lugar de nacimiento, serán mundos muy fríos y oscuros, difícilmente detectables.

Los "planetas errantes jóvenes" son más calientes y brillantes que los planetas gigantes y gaseosos del sistema solar. No obstante, su temperatura y brillo superficiales intrínsecamente pequeños (inferiores a 2000 K y a la milésima parte del brillo solar) definen sus propieda-

Primera Plana

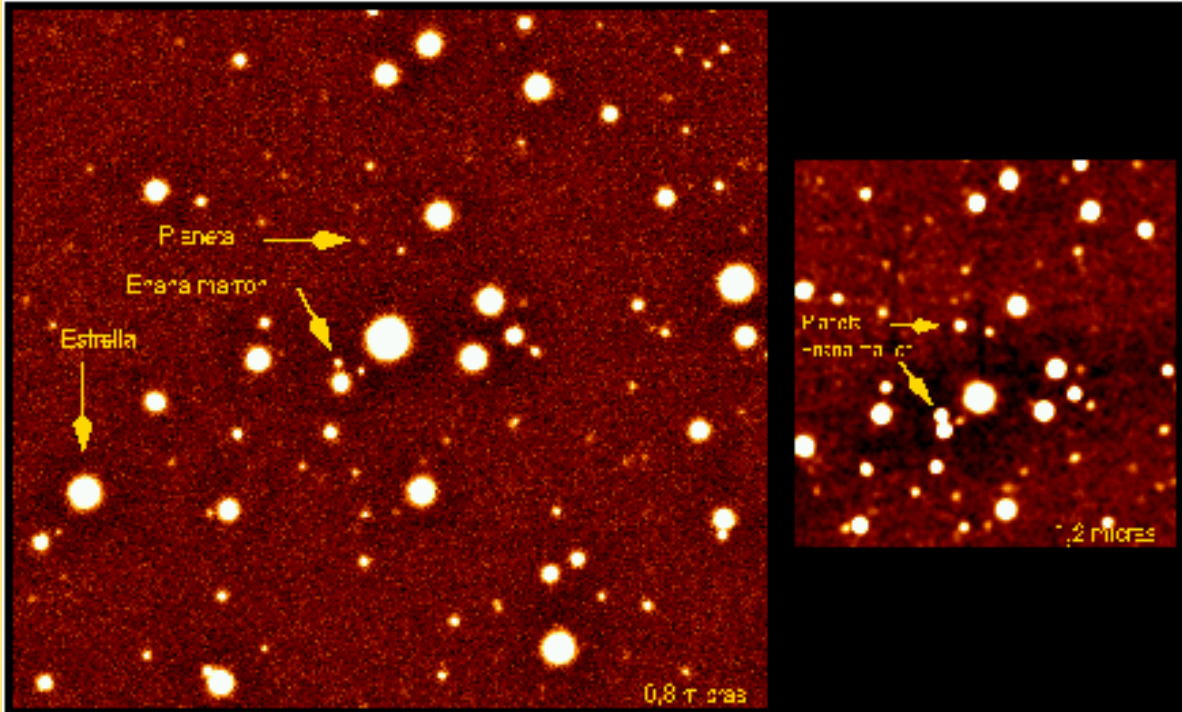


Figura 3. Campo del cúmulo estelar σ Orionis donde están una estrella, una enana marrón y un planeta errante. La imagen de la izquierda corresponde al visible rojo (tomada con el telescopio Nórdico del Observatorio del Roque de los Muchachos), y la imagen de la derecha corresponde al infrarrojo cercano (tomada con el telescopio Carlos Sánchez del Observatorio del Teide). Obsérvese que la enana marrón y el planeta son cuerpos muy rojos, y emiten una fracción considerable de su energía en el infrarrojo cercano. (Norte es hacia arriba, este a la izquierda).

des atmosféricas. Al igual que las enanas marrones envejecidas, emiten la mayor parte de su energía en el infrarrojo cercano, sus colores son muy rojos, cuentan con atmósferas neutras con un alto contenido de vapor de agua, y son capaces de condensar partículas de polvo en las capas altas de la atmósfera formando nubes. La dinámica causada por la rotación y los fenómenos convectivos pueden provocar turbulencias que alterarían la estabilidad de las nubes. Se habla de "meteorología subestelar". En cuerpos aún más

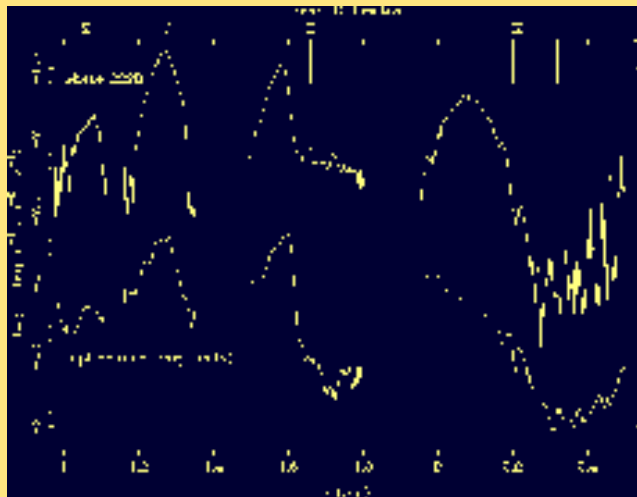


Figura 4. Energía en el infrarrojo cercano emitida por una enana marrón del disco galáctico (arriba) y por Júpiter (abajo). Con una atmósfera de 1000 K, la enana marrón presenta intensas absorciones de metano, muy similar al planeta Júpiter. Imagen cedida por Ben Oppenheimer.

Primera Plana

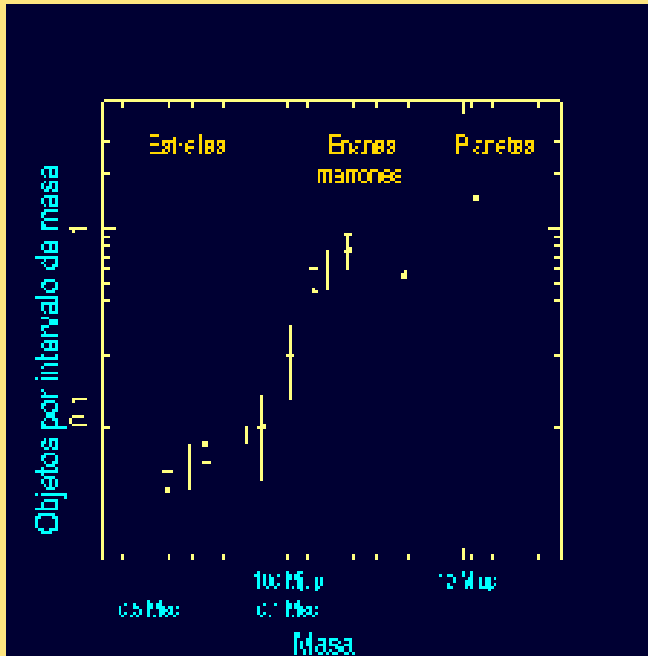


Figura 5. Distribución del número de objetos por intervalo de masa en el cúmulo estelar de σ Orionis. La masa se incrementa hacia la izquierda. El aumento de objetos para masas menores es importante, lo que indica que las enanas marrones y los planetas errantes constituyen una población muy abundante en este cúmulo.

fríos, las nubes se depositan por su propio peso en el fondo de la atmósfera, y se observa la presencia del gas metano. El espectro de energías observado en el infrarrojo cercano en cuerpos con atmósferas por debajo de 1300 K es muy parecido al de Júpiter (figura 4).

El censo subestelar aún no está completo ni en el disco galáctico ni en ningún cúmulo estelar joven debido en parte a la debilidad de los objetos. Sin embargo, los recientes descubrimientos apuntan a que el número de enanas marrones y "planetas errantes" es comparable a la población

de estrellas. La distribución de masas en asociaciones jóvenes con un contenido metálico parecido al solar muestra que hay más objetos cuanto menor sea su masa (figura 5). Si el ritmo de descubrimientos continúa, sería posible que el cuerpo astronómico más próximo al sistema solar fuera un "planeta errante" envejecido (con una edad similar al Sol), y no una estrella. Detectarlo es todo un reto para la tecnología actual. A pesar del gran número de objetos subestelares, las cifras actuales no son suficientes para que esta población contribuya significati-

vamente a resolver el dilema de la materia oscura de la Galaxia.

Apenas ha comenzado un nuevo siglo y con él se ha abierto un nuevo campo en la investigación astrofísica. El origen de las enanas marrones y los planetas libres sigue siendo un misterio. Desde su reciente descubrimiento han surgido nuevas teorías que intentan explicar la existencia de estos cuerpos y su formación en escalas de tiempo inferiores a los pocos millones de años. Desde el punto de vista observacional, seguimos reuniendo datos que nos ayuden a entender mejor las propiedades físicas, los procesos de formación y la evolución de los planetas errantes. Así, también comprenderemos mejor nuestro propio sistema solar y los sistemas planetarios extrasolares.

La autora agradece a sus colaboradores y a todos los equipos internacionales de investigación el esfuerzo que dedican al estudio de las enanas marrones y los planetas libres.

. Este artículo es una versión reducida de la publicación que aparecerá en Tribuna de Astronomía en los próximos meses.

de la hora (el evento comenzó a las 06:00 de la mañana), la fiesta estuvo muy animada. Los distintos científicos e ingenieros que han participado en la misión fue-

La Tarima

El poder de las nubes

Juan R. Acarreta

Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)



Figura 1: Nubes de Venus (*Galileo*, izda) y superficie del mismo planeta (*Magallanes*, centro) . A la derecha se presenta una imagen de Júpiter (*HST*) donde se ven diferentes tipos de nubes.

Son objetos con aspecto compacto, aunque casi todo su volumen es aire. Su poder es indiscutible: capaces de barrer literalmente con sus precipitaciones edificios enteros, o interrumpir de forma importante las comunicaciones con su actividad eléctrica. La comunidad científica no duda que ellas son la principal fuente de incertidumbre en las predicciones climáticas. Y desde el espacio son simples velos que protegen gran parte de la vida de la Tierra.

Es difícil determinar quién fue el primero en estudiar las nubes. A fin de cuentas, siempre han estado con nosotros ahí “en el cielo”. De igual modo que los seres humanos siempre establecieron a la bóveda de estrellas como la casa de diferentes dioses, los fenómenos atmosféricos han sido, durante mucho tiempo, su forma de hablar con los humanos. Exceptuando el viento, que nadie puede ver, las nubes contienen gran parte de nuestros temores y esperanzas. Desde la lluvia que acaba con la sequía, hasta la inundación que destruye parte de una ciudad, hay un amplio abanico de posibilidades.

Recordemos que las nubes, con sus preci-

pitaciones permiten el cierre del ciclo del agua y, por ello, permiten la diversidad biológica que encontramos fuera de los océanos. Así, por ejemplo, en la mitología nórdica, Thor personificaba a las tormentas eléctricas. Los hindúes asociaban a Indra el papel de dios del tiempo, a la vez que utilizaba como arma el rayo por lo que pudiera ocurrir. Los griegos pensaban que era Zeus quien se encargaba del tiempo atmosférico. Por su parte, los romanos confiaban en Júpiter. Incluso en nuestros días es posible ver procesiones con algún santo local con el que se intenta arreglar sequías permanentes. Los indios Hopi son los que popularizaron la “danza de la lluvia” (o

La Tarima

también la “danza de la serpiente”), un ejemplo de nuestro intento por modificar las nubes. Curiosamente, hoy en día existen programas experimentales de modificación de las nubes produciendo lluvia “artificial” a la vez que se disminuye la probabilidad de existencia de precipitaciones en forma de granizo. Aunque, sin dudarlo, en nuestro tiempo la confianza sobre lo que harán las nubes se deposita en el denominado “hombre (o mujer) del tiempo”.

Quizá una de las propiedades más sorprendentes de una nube es su aspecto más o menos sólido, cuando en realidad es básicamente aire que contiene alguna sustancia condensada. Las nubes son objetos que deben entenderse en un contexto radiativo, esto

vista) las nubes son compactas, en otras, como ocurre con un radar, son transparentes. Por eso un avión, dentro de las nubes, es seguido sin problemas por la torre de control del aeropuerto. Esta propiedad es muy interesante, dado que nos permite estudiar la estructura vertical nubosa de un planeta gigante, o bien la superficie de un planeta cubierto siempre por nubes, como es el caso de Venus (figura 1).

La generación de una nube es, en primera aproximación, un proceso simple. Se necesita un compuesto que sea capaz de condensar en las condiciones termodinámicas existentes en la atmósfera. Subsecuentemente los condensados (bien en forma líquida, bien en forma sólida) evolucionan, hasta generar una

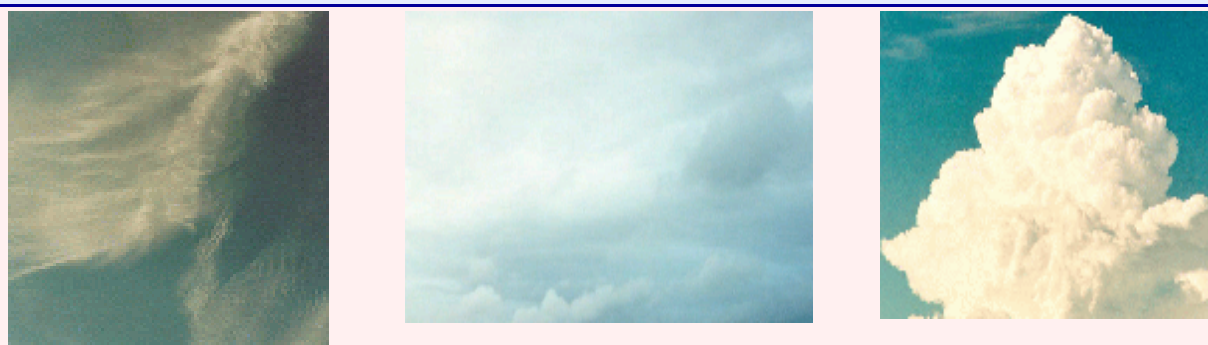
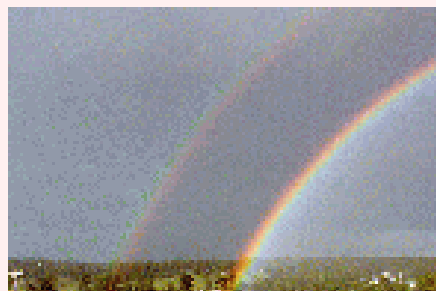


Figura 2: Tipos básicos de nubes propuestos por Howard: Cirrus (arriba, izda.), Stratus (arriba, centro), Cumulus (arriba, dcha.) y Nimbus con arco iris (abajo).



es, en su relación con la radiación electromagnética, también definida de forma imprecisa como luz. Mientras que en determinadas longitudes de onda ópticas (es decir, a simple

nube. En esta fase es donde deben realizarse los cálculos denominados microfísicos. En realidad, tales no son más que la expresión de los fenómenos necesarios para condensar

La Tarima

un vapor y hacer crecer las gotas y/o cristales de hielo. Cuando tenemos en una región atmosférica determinada un cierto número de gotas o cristales con cierto tamaño por encima de cierto umbral, se dice que

Cuando tenemos en una región atmosférica determinada un cierto número de gotas o cristales con cierto tamaño por encima de cierto umbral, se dice que se ha formado una nube.

se ha formado una nube. En función del umbral, hablaremos de diferentes tipos de nubes. Una de las grandes dificultades en el proceso es que las nubes no son objetos pasivos sino que influyen, a su vez, el estado atmosférico. Incluso una vez el proceso de formación de una nube termina, ésta modificará el balance radiativo y dinámico de la atmósfera. Es por ello por lo que la evolución de una nube depende tanto de su formación como de su continua interacción con la atmósfera. Esta idea quedó muy bien reflejada por William Shakespeare en su obra Henry VI (1591) escribiendo "Every cloud engenders not a storm".

Se acepta que una clasificación de las nubes de una manera estructurada no se hizo hasta 1800. El inglés L. Howard tuvo la idea de definir algunos tipos básicos de nubes que podían combinarse de manera aditiva. Por las mismas fechas, una clasificación muy similar fue propuesta por el francés J. Lamarck. Sin embargo, Howard fue más previsor utilizando nombres en latín en vez de inglés o francés (como hizo Lamarck).

Las ideas de Howard se plasmaron en tres tipos principales de nubes. Los Cirrus (mechón de pelo), Cumulus (apilamiento) y Stratus (estrato). La cuarta clase fue definida como aquellas nubes que producen precipitación o Nimbus, del latín "lluvia". Estos tipos básicos se pueden combinar para producir estructuras como Cúmulo-Nimbos, Cirro-

Estratos, etc. La clasificación de Howard fue complementada con algunos tipos más, siendo de plena vigencia. Sin embargo, hoy en día las clases de Howard se encuentran englobadas en un esquema más completo. Organizaciones como la WMO (*World Meteorological Organization*) o ISCCP (*International Satellite Cloud Climatology Project*) aceptan un conjunto más amplio de tipos de nubes combinadas con una etiqueta relacionada con la altura (en términos de "bajo", "medio" y "alto") en la que se forman. En cualquier caso, es interesante destacar que tanto en la definición de una nube presentada anteriormente, así como en su tipo, no se hace referencia alguna a la composición química. La física de las nubes es, en realidad, poco exótica, aunque compleja. Por eso en Venus tenemos nubes de ácido sulfúrico, mientras que en Titán son de metano. En Júpiter abundan las nubes de amoníaco, en Marte hay nubes de dióxido de carbono, y en la Tierra de agua.

El modelo de formación de nubes mediante procesos de condensación representa una parte de la historia. La otra parte proviene de la consideración de los denominados CCN (*cloud condensation nuclei*) equivalentes a las "semillas" sobre las que se produce la condensación (en fase líquida o sólida). Este hecho es muy importante, por cuanto en una atmósfera absolutamente limpia, los procesos de formación de nubes son mucho más ineficientes. Fundamentalmente, Los CCN son de dos tipos: antropogénicos y naturales. A veces de manera general se identifica a los CCN con los denominados aerosoles (figura 3), pequeñas partículas que siempre se encuentran en suspensión en nuestra atmósfera. No todos los aerosoles

son CCN, aunque la presencia de aerosoles modifica las propiedades y efectos radiativos de las nubes (los efectos denominados “directo” y “semi-indirecto”). Sin entrar en detalles, es importante recalcar que una importante parte de los CCN proviene de procesos biológicos, como ocurre con los hidrocarburos denominados Terpenos emitidos por las plantas, o el DMS (Di-Metil-Sulfido) emitido por algunos tipos de fitoplacton. Es mediante este proceso cómo los procesos biológicos entran en el juego de la producción y modificación de las nubes.

Un ejemplo muy sencillo de la relación

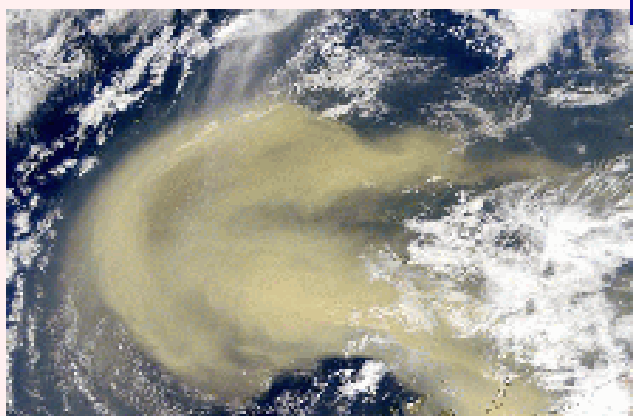
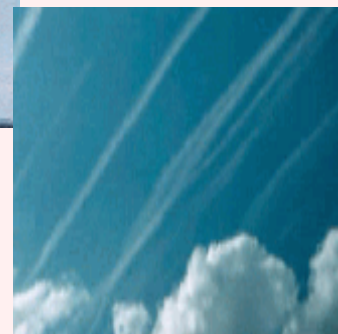


Figura 3: Imagen SeaWiFS (20 feb 00), mostrando una mezcla entre nubes y aerosoles provenientes del Sahara (abajo a la dcha. se encuentran las islas Canarias).

entre la generación de núcleos de condensación (CCN) y la formación de nubes lo podemos ver en la figura 4. En ella se muestran dos ejemplos de cómo los efectos antropogénicos pueden generar nubes, bien partiendo de un incendio, bien mediante las emisiones residuales de la combustión de los aviones actuales. Este tipo de procesos (al igual que la interacción entre las nubes y la vida anteriormente citada), dificulta enormemente la determinación de los efectos de las nubes en



Figura 4: PiroCumulo (izda) y Contrails (de la expresión inglesa CONDensation TRAIL).



grandes escalas de tiempo (efectos climáticos). Y es por eso, por lo que existe un intenso, e interesante, debate sobre como definir con sentido el denominado “cambio climático” así como sus futuras consecuencias.

Para terminar, recordemos que predicciones globales deberían, en principio, basarse en estudios globales, especialmente considerando fenómenos tan complejos como las nubes, donde incluso los procesos biológicos son importantes en primer orden. Es en este campo donde los satélites son fundamentales. La historia, sin embargo, no es muy extensa. El primer satélite meteorológico fue el *Tiros-I*. Posteriormente, y hasta nuestros días, nos encontramos con las series de satélites como GOES, GOMS, METEOSAT, NOAA, etc., por citar sólo algunas de las múltiples misiones que han sido lanzadas al espacio. La vida útil de un satélite no es mucha, entre dos y cinco años, por lo que las “medidas de satélite” en realidad son una amalgama de medidas de distintos instrumentos. Esa es la razón por la que resulta

La Tarima



Figura 5: La denominada *Blue Marble* es una de las mejores imágenes globales de que disponemos. Generada por el instrumento MODIS (Satélite *EOS-Terra*) en el verano de 2001.

complicado la producción de resultados sólidos en términos de evolución de la contaminación atmosférica, grado de cobertura nubosa, etc. Fijémonos que incluso las nubes siempre son objetos que se encuentran dentro del campo de visión de un satélite. De ahí que una gran cantidad de medidas (contenido de ozono, gases contaminantes, aerosoles, color del océano, avance de desiertos, etc.) necesita considerar a las nubes como elementos que perturban una medida directa. Por eso el estudio de las nubes es siempre imprescindible.

Se hace, por tanto, fundamental el mantenimiento de un continuo programa de satélites en órbita destinados al estudio de la Tierra, en especial las nubes. En 1990, la NASA emprendió un análisis detallado de la salud de nuestro planeta, generándose el programa EOS (*Earth Observing System*), y lanzando la primera plataforma *EOS-Terra* en 1999 (figura 5). Confiemos en que próximas misio-

nes, como la esperada *CloudSat* para 2004, nos permitan entender algo mejor a las nubes y a sus complejas interacciones, biológicas o no, con el planeta en su conjunto. No olvidemos que, si las nubes a veces se comportan como la caja de Pandora, gracias a ello la esperanza para comprenderlas siempre estará presente.

Todas las imágenes son cortesía de Michael Bath y Jimmy Deguara (*Australian Severe Weather*). NASA-GSFC, NASA-JPL, NASA-HST.

BOOTES: El centinela del cielo

Cinco años del primer observatorio robótico de España

Alberto J. Castro Tirado (Investigador principal del proyecto BOOTES) IAA-CSIC

<http://www.laeff.esa.es/BOOTES>

El nombre latino de la constelación del Boyero, BOOTES, sirve como acrónimo, en varias lenguas, *Burst Observer and Optical Transient Exploring System*, al primer telescopio robótico de nuestro país, fruto de una colaboración hispano-checa en Astrofísica de altas energías, iniciándose el proyecto en 1996 en el LAEFF-INTA, desde su División de Ciencias del Espacio. Su principal razón de ser es la observación de contrapartidas en el visible de GRB (explosiones cósmicas de rayos gamma) y es parte de un amplio esfuerzo de apoyo en tierra, para satélites científicos como INTEGRAL, lanzado exitosamente en octubre pasado. Aunque en un principio BOOTES fue pensado como un

instrumento para la investigación de los GRB, ha ido acumulando en estos cinco años de observaciones una cuantiosa base de datos fotométricos de más de 200 Gbytes donde buscar objetos que exhiben variaciones de corto periodo.

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 Técnica 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 (IAA) del CSIC en Granada.

El instrumental diverso de BOOTES comprende tres telescopios Schmidt-Cassegrain (dos de 30 cm de diámetro y uno de 20 cm de diámetro) más una serie de cámaras de gran campo (que oscilan entre 16° x 11° y todo el cielo) y campo estrecho (hasta 50') para imagen directa. Complementa el instrumental un espectrógrafo estelar de campo ancho cuyo objetivo es obtener, por primera vez, un espectro de un GRB con un campo de visión (figura 1). 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 astronómico robótico de España y uno de los primeros del mundo.

RESULTADOS CIENTÍFICOS

Desde la primera luz en 1998, hasta la fecha se ha obtenido fotometría de unos 70 eventos con el instrumental diverso de BOOTES, en ocasiones simultáneamente o en otras empezando tan sólo tres minutos tras el comienzo del GRB. Los resultados han sido diferentes según los casos, dando lugar hasta la fecha a más de una treintena de trabajos entre artículos y comunicaciones diversas. La mayoría de las observaciones de seguimiento han dado límites superiores a la emisión óptica simultánea, aún a pesar de la pronta respuesta del sistema, ratificando así lo escurridizo de los fenómenos que se pretenden estudiar. Los cinco resultados más importantes obtenidos por BOOTES en el campo de GRB, son la detección de una fuente transitoria en el



Figura 1: El telescopio de 30 cm de BOOTES-1 con las cámaras de gran campo de 16° x 11° y el espectrógrafo estelar de campo ancho montado en el foco Cassegrain con una cámara CCD adosada.

Centro de Experimentación del Arenosillo del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) en Mazagón,

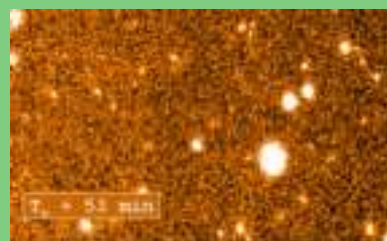


Figura 2: Fuente transitoria asociada al GRB 000313, descubierta por BOOTES.



Figura 3: El espectacular bólido de 27 de enero de 2003 sobrevolando el sur de Melilla.

visible, candidata a ser la contrapartida del GRB de corta duración GRB 000313 y la observación simultánea a GRB 010220, GRB 020531, GRB 021201 y GRB 030226.

El 13 de marzo de 2000, BOOTES respondió a la detección efectuada por el satélite *CGRO* de un GRB y comenzó a tomar imágenes en las coordenadas dadas tan sólo cuatro minutos después del evento. La primera exposición duró cinco minutos en el filtro *I* y llegó a una magnitud 13 (figura 2). Una fuente de magnitud 9 que no se encuentra en la Carta del Cielo Digital (DSS) fue identificada. Esta puede ser la primera detección de un GRB de corta duración con espectro duro.

En el caso de GRB 010220, ésta fue la primera ocasión en la que se tomaron imágenes inmediatamente



Figura 4: Estación de sondeos atmosféricos del Centro de Experimentación del Arenosillo (INTA) en Mazagón (Huelva) donde se encuentra BOOTES-1.

antes, de forma simultánea, y después de ocurrir un GRB. La primera de las exposiciones comenzó 52 segundos antes de que el satélite *BeppoSAX* registrara el evento y cubrió sus primeros ocho segundos. En este caso no se encontró ninguna fuente nueva en las imágenes. Esto se debió a la alta extinción ($A_v = 3,3$ magnitudes) en la dirección de las coordenadas proporcionadas, a sólo 1° del plano galáctico.

GRB 020531 y GRB 021201 han sido GRBs de corta duración detectados por *HETE-2* para los cuales no se ha detectado contrapartida alguna, a pesar de disponer de observaciones simultáneas que han impuesto límites a la emisión óptica de 8.0 y 10.0 respectivamente. Estas son las únicas observaciones simultáneas a un GRB de corta duración tomadas por instrumento alguno hasta la fecha.

GRB 030226 ha resultado ser un GRB con una intensa emisión posluminiscente en el óptico. Sin embargo, no se ha llegado a detectar emisión simultánea (la única imagen existente es la de BOOTES) por encima de $R = 11.5$ lo que resalta el hecho de que GRB 990123 fue un caso excepcional (con contrapartida en magnitud 9).

Aparte de observaciones en el campo de GRB, BOOTES colabora con la Red Española de Meteoros en el estudio de estos fenómenos. Incluyen observaciones con doble estación y la evolución de los trazos de meteoros en la alta atmósfera. El último de tales trabajos refleja el extraordinario bólido de magnitud -15 que tanta repercusión tuvo el 27 de enero pasado, al ser avistado por decenas de miles de personas en el sur de España (figura 3 y portada).

EL FUTURO

BOOTES es el primer observatorio astronómico robótico existente en España. ¿Cuáles son los objetivos futuros? El paso siguiente es la extensión de BOOTES a las longitudes de onda del infrarrojo (IR) cercano, de cara a los nuevos satélites que dedicados al estudio del fenómeno GRB se van a lanzar durante esta década (*SWIFT*, *GLAST*). Por ello un equipo de 22 científicos e ingenieros hemos presentado un proyecto dentro del Plan Nacional de Astronomía y Astrofísica para el desarrollo de una cámara IR que, complementado con un telescopio de 60 cm de diámetro, se ubicaría en el Observatorio de Sierra Nevada (Granada) del IAA-CSIC por sus cualidades excepcionales para la Astronomía IR. BOOTES-IR estará operativo en el 2004. Para entonces no sólo será el único telescopio robótico trabajando en el IR no ya sólo en España, sino el único telescopio robótico IR en todo el Hemisferio Norte. 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.

Información adicional en <http://www.laeff.esa.es/BOOTES>

Últimas fases en la vida de una estrella

José Vicente Perea Calderón

ISO DATA Centre-Vilspa

De la fase AGB a Nebulosa Planetaria

En el desarrollo del estudio de la evolución estelar, quizá la fase de transición que lleva a una estrella en la Rama Asintótica de las Gigantes (o *Asymptotic Giant Branch* del inglés, AGB) a convertirse en una nebulosa planetaria (PN) sea de las más interesantes, ya que los procesos físicos que ocurren en la estrella, dan lugar a cambios apreciables en ésta en periodos de tiempo relativamente cortos. En ocasiones, tan cortos, que incluso se han podido observar cambios a escalas de tiempo comparables a nuestra propia vida. Esta corta y poco conocida fase de la evolución estelar es sólo sufrida por estrellas con masas entre 0.8 y 8 veces la masa del Sol y tiene una duración de alrededor de 10^5 años.

Mientras existe suficiente combustible para que tengan lugar las reacciones de fusión nuclear en el interior de las estrellas, éstas permanecen en un estado de relativa estabilidad, conocido como fase de Secuencia Principal. Sin embargo, el agotamiento del hidrógeno, combustible principal de estas reacciones

de fusión, produce en la estrella fuertes inestabilidades en las capas más externas de ésta. Una de las consecuencias más notables de estas inestabilidades es la intensa pérdida de masa que sufren al entrar en la fase AGB. Esta pérdida de masa da lugar a la formación de una envoltura de gas y polvo alrededor de la estrella, ya que parte del material que proviene de ésta en estado gaseoso pasa a estado sólido (polvo) como consecuencia del descenso de la temperatura al alejarse de la estrella el material eyectado.



Ilustración de una estrella en fase AGB.

La formación de estas envolturas circunestelares tiene una consecuencia observacional muy importante ya que hace que estas estrellas sean en ocasiones prácticamente invisibles en el rango óptico. Sin embargo, se convierten en objetos muy brillantes en el rango infrarrojo debido a la reemisión térmica del polvo, al ser calentado por la estrella.



Ilustración de una estrella al final de la fase AGB.



Ilustración de una estrella en fase post-AGB.

La estrella sólo puede mantener la pérdida de masa mientras tenga material disponible que perder en la envoltura y, por tanto, llega un momento en que la pérdida de masa se detiene. A partir de este momento, conocido como fase post-AGB, la envoltura circunestelar se va alejando de la estrella a la vez que se va diluyendo. Al mismo tiempo, la estrella va sufriendo un paulatino aumento de la temperatura debido a la contracción de su núcleo.

Apuntes

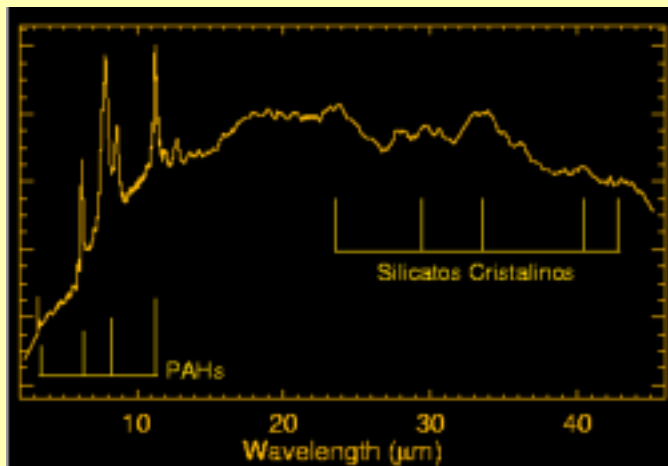


Nacimiento de una nebulosa planetaria "The IAC Catalogue of Northern Galactic Planetary Nebulae".

Debido al calentamiento de la estrella central, la radiación a la que se ve sometido el material circunestelar aumenta en intensidad y en dureza, hasta el punto de que puede ser capaz de fotodisociar los granos de polvo, luego las moléculas y, por último producir la fotoionización del gas (cuando alcanza valores de ~20000 K). Es en este momento cuando ha nacido una nebulosa planetaria y comienzan a aparecer las primeras líneas de emisión en el espectro, las cuales caracterizan el hermoso colorido que presentan las imágenes de estos objetos en el rango óptico.

Aunque hemos visto que actualmente se tiene una idea aproximada de cómo se produce la transición de una estrella AGB a la fase de NP, quedan todavía muchas preguntas por resolver. En general, existen grandes dificultades observacionales por dos motivos importantes. Por un lado, el hecho de que es una fase de la evolución estelar que dura poco tiempo, implica que existen pocos objetos en la Galaxia que se encuentren en esta efímera etapa de la evolución estelar. Y, por otro lado, por el enorme oscurecimiento que sufren en el óptico y, en ocasiones, incluso en el infrarrojo cercano. Por tanto, su estudio sólo es posible a veces en el infrarrojo medio o lejano o en longitudes de onda submilimétricas y radio, a las que sólo recientemente se ha tenido acceso. Además, esta fase es crucial para el estudio del enriquecimiento químico de la galaxia, pues el material procesado en el interior de estas estrellas es dragado a su superficie y eyectado al medio interestelar, por lo que el conocimiento de los procesos que tienen lugar en el interior de estas estrellas y las alteraciones que producen en su composición química son fundamentales si queremos interpretar las abundancias químicas observadas en el medio interestelar.

Hace ya casi 20 años, el satélite IRAS aportó una enorme cantidad de información sobre esta fase evolutiva, descubriendo muchos de estos objetos y, especialmente algunos en la fase inmediatamente previa a la ionización de la envoltura, las así llamadas estrellas post-AGB. Recientemente, un buen número de estos oscurecidos objetos fue observado con el espectrógrafo SWS a bordo del Observatorio Infrarrojo Espacial (ISO), mejorando significativamente la calidad de los espectros IRAS Low Resolution Spectra (LRS) y extendiendo nuestro conocimiento de estas fuentes al rango espectral de 2.38-45.2 micras.

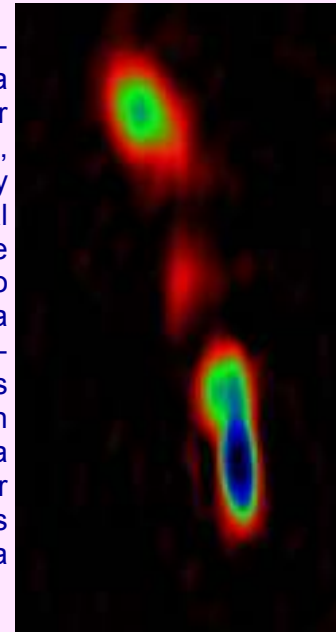


Espectro ISO SWS de Red Rectangle, mostrando la detección de compuestos en estado sólido como PAHs (Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos) y silicatos cristalinos. Objeto peculiar por mostrar una riqueza química tanto en carbono (PAHs), como en oxígeno (silicatos).

Hasta la fecha se han hecho grandes avances para llegar a un buen entendimiento en cuestiones puntuales como modelos de atmósferas extendidas, identificación de gran cantidad de compuestos gaseosos y sólidos, etc. Sin embargo, aún no se tiene una visión global desde el punto de vista de la evolución estelar que nos permita disponer de un esquema detallado de la evolución química. De este modo, podríamos conocer cual sería el tipo de química producido, en función de la masa de la estrella progenitora y, por tanto, el enriquecimiento químico del medio interestelar.

MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA GRAVEDAD

Acaba de ser medida una de las constantes fundamentales enunciada por Albert Einstein en la Teoría General de la Relatividad, la velocidad de la gravedad. El experimento ha sido realizado por científicos del NRAO (Observatorio Nacional de Radioastronomía), en Estados Unidos, mediante la técnica de interferometría de muy larga base. Para ello aprovecharon el tránsito de Júpiter frente al cuásar J0842+1835. El experimento consistió en medir las ondas de radio procedentes del cuásar, mientras se curvaban por efecto gravitatorio de Júpiter, extendiendo la teoría de Einstein para la propagación de la luz de manera que incluyera los efectos gravitatorios que produce un cuerpo en movimiento sobre la luz y las ondas de radio. Como resultado de medir el desplazamiento en la posición aparente del cuásar se halló que la velocidad de propagación de la gravedad es igual a la velocidad de la luz, con un error del 20 por ciento. Este descubrimiento tendrá importantes aplicaciones para los físicos teóricos que tratan de hallar una teoría unificadora de la física de partículas, la teoría de la relatividad y la teoría electromagnética.



Cortesía de NRAO.
**Imagen del cuásar
J0842+1835.**

Telescopio de neutrinos AMANDA



Cortesía de Robert Morse

En el Polo Sur, enterrado a una profundidad de 1.5 km bajo el hielo, se encuentra el telescopio AMANDA. Su finalidad es la de estudiar los neutrinos más energéticos procedentes de fenómenos de alta energía existentes en el Universo, como agujeros negros y supernovas. Estas partículas subatómicas apenas interactúan con la materia, por lo que atraviesan planetas, estrellas y campos magnéticos sin detenerse. El telescopio AMANDA es también capaz de detectar la dirección de procedencia de los neutrinos con una precisión de 3.5 grados. Está situado bajo el hielo apuntando hacia el centro de la Tierra, utilizando así nuestro planeta como filtro para este tipo de radiación. De esta forma AMANDA siempre dirige su atención hacia el Hemisferio Norte.

PARTNeR EN LA IV FERIA DE MADRID POR LA CIENCIA



Parte del equipo PARTNeR en la feria de Madrid por la ciencia.

Cortesía del equipo PARTNeR

Del 13 al 16 de febrero se celebró la IV feria de Madrid por la Ciencia, en el parque ferial Juan Carlos I. El objetivo de esta feria es acercar a niños y mayores al mundo de la ciencia de una forma sencilla, intuitiva y amena. Esta celebración contó con la participación de centros de investigación, institutos, universidades y museos. En los diferentes “stands” fueron representadas distintas ramas de la Ciencia, como la Física, la Química, la Arqueología, así como la Informática y las Telecomunicaciones. Gracias a las explicaciones de los monitores de cada centro (desde niños de primaria hasta científicos), se podía aprender y comprender multitud de fenómenos científicos de la forma más sencilla. Cabe destacar la participación de miembros del equipo de PARTNeR, del Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (INTA), quienes hablaron de fenómenos relacionados con la Astronomía, explicando por qué el cielo es azul, el principio de acción y reacción, o cómo se produce la agitación térmica de las moléculas. Además impartieron dos charlas sobre el proyecto PARTNeR y su importancia en la divulgación de la Astronomía a nivel nacional.

Teléfonos y direcciones electrónicas

Para acceder al Laboratorio hay que marcar el 918131 (para llamadas desde dentro de España) o el 34-918131 (para llamadas desde otro país) antes de la extensión de teléfonos. Las direcciones electrónicas se componen añadiendo al código de usuario la terminación @laeff.esa.es.

Secretaría:161 / Fax:160
WWW:<http://www.laeff.esa.es/>

Doctores:

David Barrado Navascués	261	barrado
Álvaro Giménez Cañete	155	ag
José Francisco Gómez Rivero	267	jfg
Miguel Mas Hesse	196	mm
Benjamín Montesinos Comino	195	bmm
Carmen Morales Durán	188	morales
Luis M. Sarro Baro	138	lsb
Lourdes Sanz F. de Córdoba	193	lourdes
Enrique Solano Márquez	154	esm
María Rosa Zapatero Osorio	309	mosorio

Postgraduados:

Carmen Blasco Fuertes	264	cblasco
Itziar de Gregorio Monsalvo	194	itziar
Oscar Delgado Mohatar	264	oscar
Albert Domingo Garau	266	albert
Cristina García Miró	138	cgm
Beatriz González García	138	bmgg
Raúl Gutiérrez Sánchez	260	raul
Elena Jiménez Bailón	266	elena
Bruno Merín Martín	194	bruno
Daniel Risquez Oneca	261	risquez
Carlos Rodrigo Blanco	264	crb
Celia Sánchez Fernández	163	celia
Olga Suárez Fernández	263	olga

Personal Administrativo:

Margie Guitart Martín	161	margie
Concha Prieto Alas	234	concha

Servicios Informáticos:

Jesús García Jiménez	263	jess
Juan Martínez Pacheco	260	juanmp

Direcciones postales

Servicios normales

Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Apartado 50.727
E-28080 - Madrid - España

Servicios COURIER

Estación de Seguimiento de Satélites - ESA
Villafranca del Castillo
E-28691 - Villanueva de la Cañada - Madrid - España

El Consejo de Redacción
no se responsabiliza del
contenido de los artículos.

ÚLTIMA

Inaugurado el Centro de Astrobiología

El pasado 14 de enero se inauguraron las instalaciones del Centro de Astrobiología, ubicado en el recinto del INTA en Torrejón de Ardoz. El CAB nace como un instituto mixto entre el INTA y el CSIC, asociado al *NASA Astrobiology Institute*, con el objetivo de estudiar el origen de la vida desde una perspectiva multidisciplinar y cosmológica. Tal y como se resume en la página de internet del CAB (www.cab.inta.es): "La Astrobiología es una nueva ciencia que surge de la necesidad de investigar el origen, presencia e influencia de la vida en el Universo. Hace suyas viejas preguntas; por ejemplo: ¿Cómo surgió la vida sobre la Tierra? ¿Existe o ha existido en otros cuerpos del Sistema Solar? ¿Es la vida un fenómeno poco común o es frecuente su presencia en el Universo? Y genera nuevas preguntas: ¿Existe un nexo de unión entre el origen del Universo y el origen de la vida? ¿Es la vida una consecuencia de la evolución del Universo? ¿Existen principios generales de la evolución de la materia viva? Las respuestas a estas preguntas no provendrán de ninguna disciplina particular, sino del esfuerzo combinado de muchas de ellas. A la interacción de todas esas disciplinas: Física, Geología, Química, Biología, Ingeniería, etc., que surge para dar respuesta a estas cuestiones, la llamamos Astrobiología".

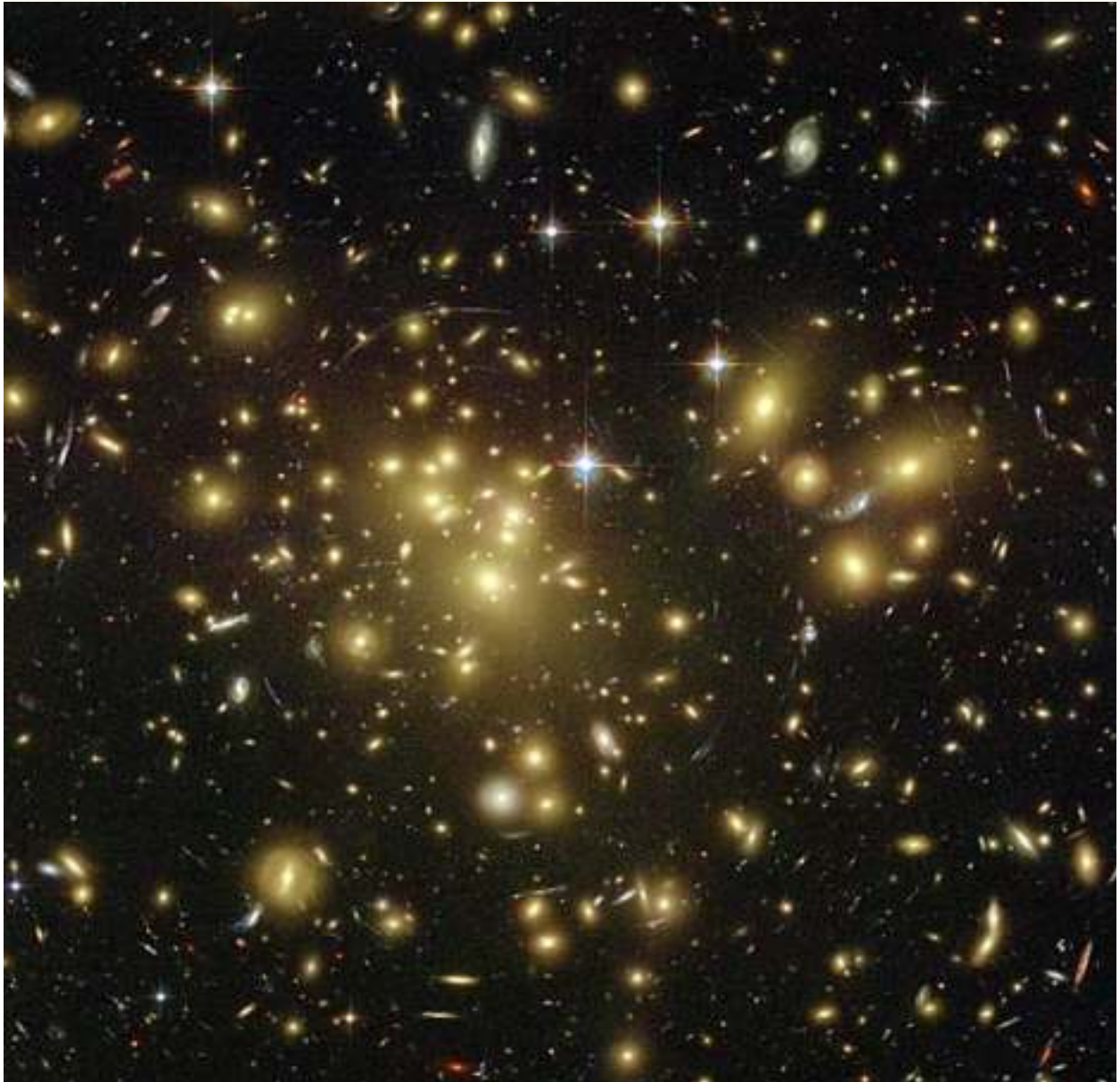
Desde el LAEFF Reporter les deseamos mucho éxito a nuestros compañeros del CAB en esta aventura que acaban de comenzar.

Consejo de Redacción



Instalaciones del CAB en Torrejón de Ardoz. Madrid.

Galería



La imagen corresponde al cúmulo de galaxias Abell 1689, el más masivo que se conoce. El efecto de lente gravitatoria que produce, distorsiona la imagen de numerosas galaxias que se encuentran a mayores distancias y que aparecen formando arcos. Imagen tomada con la nueva cámara ACS del *HST* (*Hubble Space Telescope*).