

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.csic.es/revista.html>

OCTUBRE 2006, NÚMERO: 20

¿CÓMO NACE UN SOL?

FORMACIÓN ESTELAR
ESTRELLAS PECULIARES
OBSERVATORIO VIRTUAL
TELESCOPIOS



INSTITUTO DE ASTROFISICA DE ANDALUCÍA
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
IIA-CSIC

<http://www.iaa.csic.es>



SUMARIO

REPORTAJES

¿Cómo se forma un Sol?.....3

El observatorio virtual.....7

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS

Estrellas peculiares.....10

ACTUALIDAD.....12

ENTRE BASTIDORES.....15

CIENCIA: PILARES E
INCERTIDUMBRES.....16

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA
Pero, ¿quién inventó el telescopio?.17

ACTIVIDADES IAA.....18

FE DE ERRATAS (número 19)

La investigación descrita en el artículo "La retroalimentación de los supercúmulos estelares sobre el medio interestelar" ha sido realizada por Enrique Pérez (IAA) en colaboración con Guillermo Tenorio Tagle (Investigador del INAOE, Méjico), de cuya presencia estamos disfrutando al hallarse en estancia sabática en el IAA). Desde aquí nuestras disculpas por traspapelar tu nombre en la versión final impresa del artículo. Además, en este mismo artículo se lee 104 K y 106 K cuando se quiere decir 10^4 y 10^6 grados Kelvin. En una noticia breve de Actualidad se lee "Sorpresa en un cúmulo de galaxias" cuando debería decir "Sorpresa en un grupo de galaxias".

Director: Carlos Barceló. **Jefa de ediciones:** Silbia López de Lacalle. **Comité editorial:** Antxon Alberdi, Emilio J. García, Rafael Garrido, Javier Gorosabel, Rafael Morales, Olga Muñoz, Miguel Ángel Pérez-Torres, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. **Edición, diseño y maquetación:** Silbia López de Lacalle. **Imprime:** ELOPRINT S.L.

Esta revista se publica con la ayuda de la Accion Complementaria CCT003-05-00325 del Programa Nacional de Fomento de la Cultura Científica y Tecnológica.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

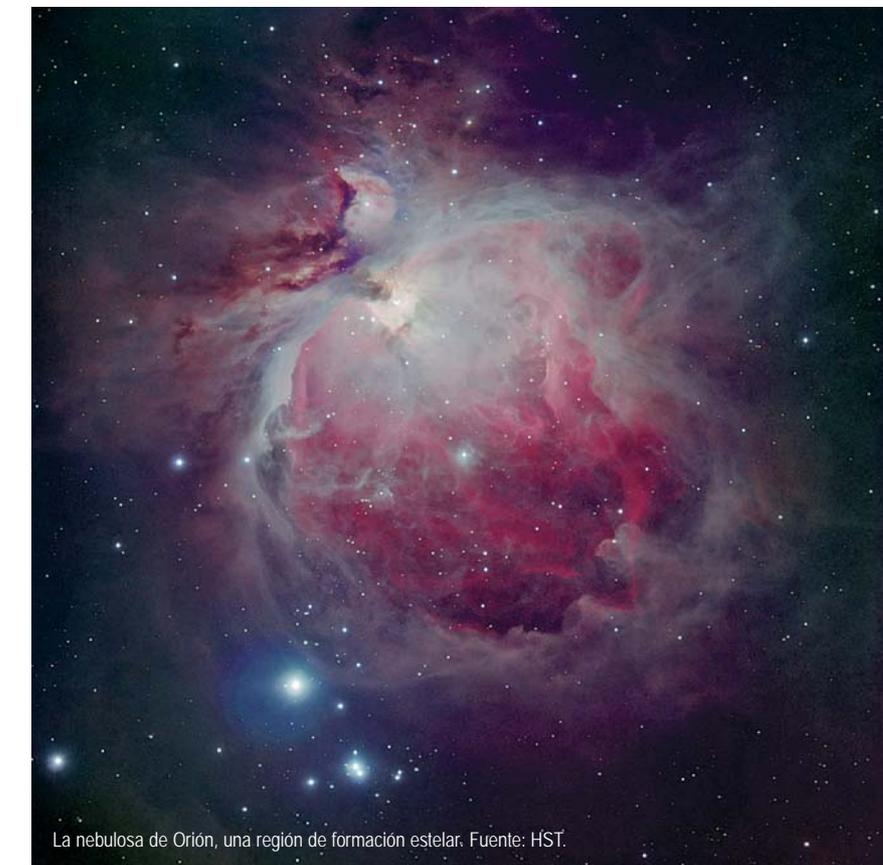
¿Cómo se forma un sol?

TRANCURREN ENTRE 50 Y 60 MILLONES DE AÑOS DESDE QUE PARTE DE UNA NUBE DE GAS Y POLVO COMIENZA A CONTRAERSE HASTA QUE LA ESTRELLA COMIENZA A QUEMAR HIDRÓGENO. SEGUIMOS EL PROCESO PASO A PASO.

Por Matilde Fernández
(IAA-CSIC)

LA ENERGÍA DE LAS ESTRELLAS.

En 1967, Hans A. Bethe recibió el premio Nobel de Física por sus contribuciones teóricas al estudio de las reacciones nucleares y, en particular, por su descubrimiento en relación con la producción de energía en las estrellas. Gracias a él sabemos que su principal fuente de energía es la fusión del hidrógeno que las constituye (se trata de una reacción que tiene lugar a nivel de los componentes de los átomos y que libera gran cantidad de energía). Esta reacción hace posible que una estrella como el Sol lance al espacio cada segundo la energía equivalente a la producción anual de más de dos mil millones de centrales eléctricas grandes. El Sol nos puede parecer, así, una fuente inagotable de energía. De hecho, a pesar de que en la Tierra ha habido décadas en las que ha descendido la temperatura media algunos grados, no hay indicios de que la potencia del Sol esté mermando. Sin embargo, sabiendo que su calor se genera a partir de la materia que lo constituye, basta pensar que tiene una masa limitada (2×10^{30} kg) para entender que su fuente de energía sí es agotable. La vida del Sol será, sin embargo, muy larga: brillará todavía unos 5000 millones de años antes de empezar a apagarse. Este es también, aproximadamente, el tiempo que ha transcurrido desde que empezó a brillar. Si el Sol, en lugar de estar formado por hidrógeno y helio, estuviese constituido por carbón, al ritmo actual de producción de energía no podría brillar más de 330 años. Pero la fusión del hidrógeno requiere que el gas alcance temperaturas muy



La nebulosa de Orión, una región de formación estelar. Fuente: HST.

altas, de casi seis millones de grados. Teniendo en cuenta que la materia a partir de la que se forma una estrella está a una temperatura muy inferior a ésta ¿cómo llega a brillar una estrella?

El nacimiento

Las estrellas se forman en el seno de las nubes interestelares, llamadas así por su parecido en fotografías a las nubes de la atmósfera terrestre. Estas nubes están constituidas por gas (en gran parte hidrógeno) y polvo, que brillan cuando reflejan o reemiten la luz que les llega de estrellas en su proximidad.

Debido a mecanismos todavía en estudio, la densidad (no homogénea) de una zona de una nube interestelar puede aumentar, atrayendo hacia sí materia de los alrededores. Se trata de un proceso que se retroalimenta: cuanto más materia se acerca a la zona o núcleo denso y pasa a formar parte de él, mayor es la atracción que éste ejerce sobre la materia de su entorno. El gas y el polvo que se mueven hacia el núcleo se

aceleran y se calientan. La radiación emitida por ese núcleo, cuya temperatura va en aumento, es absorbida en su mayor parte por la materia que lo rodea. En estos momentos la futura estrella obtiene su energía a partir de la energía gravitacional (potencial) del gas y polvo de la nube que van cayendo hacia la zona central de ese núcleo en contracción. La densidad va aumentando. La temperatura también. Cada vez se emite una mayor cantidad de radiación (energía) al exterior, con lo que se calienta el gas y polvo menos denso de la zona de la nube interestelar que rodea al núcleo. Cuando este gas y polvo del entorno se hacen más tenues, podemos ver la estrella todavía en formación. Es decir, empieza a emitir suficiente energía en las longitudes de onda visibles. Desde el punto de vista formal no podemos decir que se trate de una estrella, porque en esta fase la fuente de energía es la contracción gravitatoria, no la fusión del hidrógeno. Sin embargo, a simple vista es indistinguible de las verdaderas estrellas. Nuestra futura

estrella tiene algo menos de un millón de años. Esta edad se calcula a partir del momento en que se inició la contracción del núcleo denso de la nube interestelar.

La característica que define de una manera más decisiva la vida y evolución de una estrella es su masa. De la misma manera, también hay diferencias entre la formación de estrellas masivas (varias veces la masa del Sol) y las de menor masa. Aquí nos ocuparemos de la formación de estas últimas, entre las que se encuentra el Sol. Es en estas estrellas, en las que el núcleo denso en contracción empieza a brillar y a ser visible para nosotros, cuando ha transcurrido algo menos de un millón de años desde que comenzó la contracción del gas y polvo de la nube interestelar. Cuando la futura estrella alcanza una edad de uno o dos millones de años, su parecido con las estrellas propiamente dichas es muy grande: aunque todavía está en la fase de contracción, su tamaño es ya sólo dos o tres veces superior al que será su tamaño final y a su temperatura superficial le faltan sólo

unos 1.500 grados para alcanzar la que será la temperatura final. Su brillo es muy similar al que tendrá en la etapa de fusión del hidrógeno, porque el hecho de tener todavía una temperatura superficial inferior a la final queda compensado por su mayor volumen (mayor superficie emisora). Se estima que la estrella en formación tarda unos 50 ó 60 millones de años en alcanzar

La característica que define de una manera más decisiva la vida y evolución de una estrella es su masa; también hay diferencias entre la formación de estrellas masivas y las de menor masa

la etapa en la que su fuente principal de energía es la fusión del hidrógeno y no la contracción gravitatoria. Esa etapa se denomina secuencia principal, porque es en la que discurre gran parte de la vida de la

estrella. Se trata de la etapa más estable, en la que el brillo es más constante. Para una estrella como el Sol esta etapa dura unos 10.000 millones de años.

¿Y los planetas?

La situación que hemos descrito hasta ahora corresponde al caso del colapso de un núcleo denso en una nube interestelar en reposo. En este escenario no parece que haya cabida para la formación de planetas y cuerpos menores, como los que giran en torno al Sol, ya que la materia que no pasa a formar parte de la estrella se disipa, alejándose de la estrella en todas las direcciones. Sin embargo, las nubes interestelares de una galaxia no siempre están en reposo. En una galaxia como la nuestra estas nubes comparten el giro de las estrellas en torno al centro de la galaxia. Por ello, la formación de una estrella en realidad resulta del colapso de gas y polvo en movimiento que acelera su giro durante el colapso hacia la zona central del núcleo denso, al igual que una bailarina acelera su

ESTRELLAS PRE-SECUENCIA PRINCIPAL

El estudio de la formación de una estrella, que corresponde a la etapa pre-secuencia principal, llevaría demasiado tiempo si nos dedicásemos a seguir la evolución de una estrella en particular, por eso se buscan muestras de estrellas con edades variadas (desde menos de un millón de años hasta casi cien millones) y se completa de esta manera lo que es, en promedio, el proceso de formación de una estrella como el Sol. Sin embargo, habíamos mencionado que ya con un millón de años la futura estrella tiene la apariencia de una auténtica estrella. ¿Cómo se distinguen, entonces, las estrellas que están todavía en la etapa pre-secuencia principal de las otras estrellas?

Las primeras estrellas jóvenes (todavía en formación) de las que se tuvo certeza se descubrieron de manera fortuita. En 1945 Alfred H. Joy, astrónomo estadounidense, publicó un estudio sobre las variaciones de brillo de varias estrellas de la constelación del Toro. Se trataba de un grupo de estrellas variables irregulares, que no fueron clasificadas en ninguno de los grupos de estrellas variables conocidos hasta el momento. Dos años

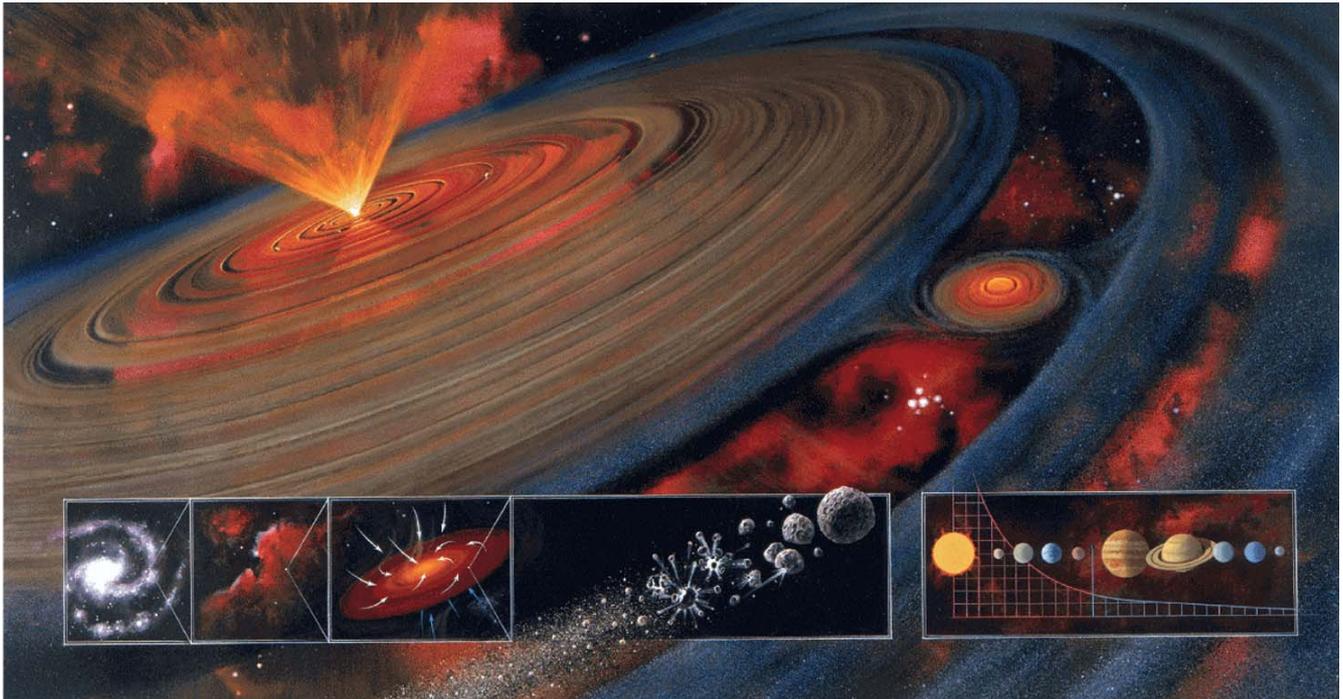
después, el astrónomo armenio-ruso Viktor A. Ambartsumian propuso que se trataba de estrellas en formación. La variabilidad que descubrió Alfred H. Joy se debe esencialmente a que una estrella tarda millones de años en emitir energía de una manera estable. En sus etapas más tempranas esas variaciones están estrechamente ligadas a la materia de la nube interestelar que todavía queda en el entorno de la estrella; cuando esa materia se disipa, las variaciones de brillo (ya menores) están asociadas a la interacción del campo magnético de la estrella, todavía intenso, con el mecanismo a través del cual se transporta la energía desde el interior de la estrella hasta su superficie. No debemos olvidar que una estrella es una esfera de gas (plasma) en equilibrio entre la expansión a la que empuja la energía que se produce en su interior y el colapso al que tenderían las zonas más externas por la atracción gravitatoria del interior. Alcanzar este equilibrio estable requiere, para estrellas como el Sol, varias decenas de millones de años. Esta variabilidad ha servido para descubrir más estrellas en formación en distintas zonas del cielo. Se ha visto



Cerca del centro de la imagen está la estrella V410 Tau, de masa similar al Sol pero con solo un millón de años de edad. La nube en la que se ha formado es oscura porque no hay ninguna estrella suficientemente brillante que la ilumine.

que las estrellas se forman en cúmulos y asociaciones. Las regiones de formación estelar suelen ser fácilmente reconocibles porque el gas y el polvo que todavía quedan de la nube interestelar original absorben, reflejan y/o reemiten la luz de las estrellas en formación. Sin embargo, la identificación de estas estrellas no es siempre fácil, ya que con frecuencia se confunden con estrellas de fondo y con estrellas más viejas de otras regiones más próximas a nosotros, situadas en la línea de visión. La

particular variabilidad de su brillo, al igual que otras características o indicadores de juventud, son las herramientas que nos permiten distinguir las estrellas jóvenes del resto de las estrellas. En el año 1988 se conocían unas 750 estrellas en formación; en la actualidad el número supera ya las 10.000. Casi todas ellas están en nuestra Galaxia, ya que el estudio de estrellas individuales de masa parecida a la del Sol en otras galaxias todavía está muy limitado por las posibilidades técnicas.



Recreación artística de un disco de acreción en el que empiezan a formarse los planetas y cuerpos menores que en el futuro orbitarán en torno a la estrella central.

giro al acercar sus brazos al cuerpo. Al tener en cuenta este giro, añadimos un ingrediente esencial al modelo de formación de estrellas como el Sol. Lo que hasta ahora era un núcleo en contracción, sobre el que caía la materia de la nube, se trata en realidad de un núcleo en torno al que gira un disco de materia, en un esquema semejante, en apariencia, a Saturno y sus anillos. Este disco se forma porque la materia de la nube que experimenta la atracción hacia el núcleo en contracción está contagiada de una cierta velocidad de rotación que le impide caer directamente sobre el núcleo. La materia que cae desde la nube se va acercando al plano perpendicular al eje de giro del núcleo y de esta manera se forma un disco. La materia del disco gira en torno al núcleo, en órbitas que, a diferencia de lo que ocurre en los anillos de Saturno, no son estables. La densidad del disco es alta y el rozamiento provoca una pérdida de energía que hace que la materia del disco se vaya desplazando a órbitas cada vez más próximas al núcleo, hasta terminar cayendo sobre él. Por este motivo estos discos reciben el nombre de discos de acreción. Cuando la futura estrella tiene una edad de un millón de años, este disco juega todavía un papel importante, no tanto por la materia que va a aportar a la estrella (que va a ser menos del 1% de lo que será la masa final de la estrella), sino porque gran parte de las variaciones de brillo que caracterizan a la estrella en este momento están relaciona-

das con él. La materia del disco que cae sobre la estrella produce un calentamiento en la zona del impacto, en la que la temperatura puede ascender 2.000 ó 3.000 grados sobre la temperatura del resto de la superficie de la estrella. Esta región tan caliente produce un exceso de emisión que apreciamos como un aumento temporal del brillo de la estrella, de la misma manera que el impacto del cometa Shoemaker-

En ocasiones el paso muy próximo de otra estrella ejerce una atracción gravitatoria que perturba el disco y puede distorsionarlo de tal manera que se frena el proceso de acreción de materia sobre la estrella

Levy provocó manchas brillantes sobre la superficie de Júpiter en julio de 1994. Este es el tipo de variaciones de brillo que midió Alfred H. Joy en 1945 (ver recuadro en la página contigua).

El disco se disipa

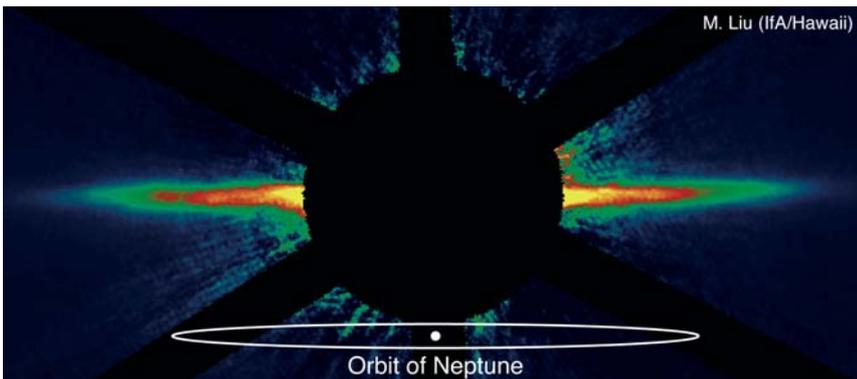
Normalmente, en el transcurso de unos pocos millones de años el disco de crecimiento se va gastando: una parte de la materia cae sobre la estrella y otra parte es lanzada al exterior. El tiempo que el disco de acreción tarda en disiparse varía mucho en función del entorno de la estrella. En el caso de estrellas que se forman en nubes de

baja densidad, en las que se están formando pocas estrellas y bastante alejadas unas de otras, el proceso de disipación del disco es lento y encontramos estrellas con casi diez millones de años que todavía tienen disco. Este es el caso de la asociación de TW Hya, en el hemisferio sur. Sin embargo, en otras regiones en las que se están formando muchas estrellas a partir de una nube grande y densa, como es el caso de Orión, podemos encontrar estrellas con tan solo uno o dos millones de años en las que el disco se ha disipado ya. En ocasiones el paso muy próximo de otra estrella ejerce una atracción gravitatoria que perturba el disco y que puede llegar a distorsionarlo de tal manera que se frena el proceso de acreción de materia sobre la estrella. En resumen, la evolución del sistema estrella-disco no depende solo de la masa del núcleo que será la futura estrella, sino también de su entorno.

Cuando decimos que el disco se disipa queremos decir, realmente, que dejamos de verlo y dejamos de ver su efecto sobre la estrella. Pero gran parte de la materia del disco sigue estando ahí. Lo que ocurre es que se va enfriando y ya no emite radiación que podamos ver (visible), aunque todavía se puede detectar en el infrarrojo y, sobre todo, a longitudes de onda de radio, utilizando radiotelescopios. El polvo que forma parte de la materia del disco, que proviene de la nube interestelar, está formado por partículas de diversos tamaños, del orden de una micra. Cuando

el proceso de acreción de masa sobre la estrella se frena, la temperatura del disco va bajando y estas partículas comienzan a unirse unas a otras (coagulación). Todavía no se conoce el proceso completo, pero se tiene la certeza de que, a pesar de la turbulencia del disco y del hecho de que las colisiones vuelven a provocar la ruptura en partículas de menor tamaño, el efecto dominante es el aglutinamiento de las partículas en piedras cada vez mayores.

Cálculos llevados a cabo en los últimos años parecen confirmar que en medio millón de años se podría formar un protoplaneta que tuviese ya una masa sesenta veces inferior a la de la Tierra. El proceso completo de formación de un planeta como el nuestro está todavía por determinar. Algunos expertos apuntan a una duración de 50 ó 100 millones de años, mientras que otros consideran posible que se formase en tan sólo diez millones de años.

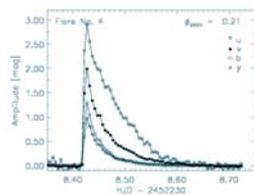


AU Mic, una estrella roja poco brillante con tan solo la mitad de masa que el Sol, muestra un disco de gas y polvo con irregularidades que indican la presencia de planetas en formación. Fuente: M.Liu (IfA/Hawaii).

■ ¿CÓMO INFLUYE LA ESTRELLA JOVEN SOBRE LAS ATMÓSFERAS PLANETARIAS?

Dado que la Tierra debió de formarse dentro del periodo de tiempo en el que se formó el Sol, es muy posible que las variaciones de brillo del joven Sol influyesen en ciertas etapas de la formación de la Tierra. En particular, en la evolución de nuestra atmósfera. Es sabido que la atmósfera terrestre actual dista mucho de la que tenía el planeta originalmente. Se ha propuesto una secuencia de varias atmósferas intermedias hasta llegar a la actual. Para que tuviese lugar la primera de estas transiciones habría sido necesario que la emisión ultravioleta del Sol en ese periodo hubiese sido cien veces superior a la actual. Esa emisión habría hecho posible el mecanismo denominado escape hidrodinámico del hidrógeno. El hidrógeno es un gas muy abundante en la atmósfera terrestre original pero del que no quedan restos en la atmósfera actual. En el año 2001 llevamos a cabo una campaña internacional de observaciones coordinadas

de la estrella V410 Tau y descubrimos que atravesaba una etapa de frecuentes fulguraciones. Las fulguraciones son un fenómeno asociado a la variabilidad mencionada anteriormente, que caracteriza a las estrellas en formación una vez que se disipa el disco. Se cree que son similares,



en naturaleza, a las del Sol, pero emiten mucha más energía que sus análogas solares. La más intensa de estas fulguraciones se muestra en la imagen. Nuestros cálculos indican que la energía ultravioleta liberada por varias de las fulguraciones de V410 Tau estuvo por encima del umbral establecido por los que estudian la evolución de la atmósfera terrestre, por lo que, de haber

tenido lugar en el Sol joven, estas fulguraciones podrían haber sido la forma de proporcionar a la atmósfera terrestre original la energía necesaria para que tuviese lugar el escape hidrodinámico del hidrógeno. Dado que V410 Tau tiene tan sólo un millón de años, es probable que los posibles planetas en formación en su entorno no hayan adquirido todavía una fracción considerable de su masa. Por ello, estamos extendiendo nuestras observaciones a estrellas con edades comprendidas entre tres y cien millones de años, con objeto de estudiar en ellas la frecuencia de fulguraciones que liberen energías por encima del mencionado umbral y ver si podrían provocar el escape hidrodinámico del hidrógeno en las atmósferas de los posibles planetas en formación en su entorno. Esta será una pieza más a colocar en el gran puzzle que todavía es el proceso de formación del Sol y de su sistema planetario.

¿CÓMO LANZAN LAS ESTRELLAS MATERIA AL EXTERIOR?

En unos pocos millones de años el disco de acreción se va gastando: una parte de la materia cae sobre la estrella y otra parte es lanzada al exterior. Este segundo fenómeno, el de la eyección de materia, resulta un poco sorprendente ya que se supone que estamos tratando el proceso por el que la futura estrella logra acumular toda su masa. A nivel teórico todavía no se conocen todos los detalles de esta eyección de materia, pero en las últimas décadas se ha avanzado mucho en el modelado de los chorros que salen despedidos desde la estrella en formación. Se sabe que son el mecanismo que utiliza la estrella para liberarse del exceso de energía de rotación (momento angular) de la materia que cae sobre el disco. Los procesos de eyección y de acreción de materia son simultáneos, en el sentido de que un aumento repentino de la cantidad de materia del disco que cae sobre la estrella va asociado a un aumento repentino de la materia eyectada. La cantidad de materia que se lanza es una pequeña fracción de la que será la masa de la estrella, pero la gran cantidad de energía liberada en estos chorros y su espectacular interacción (choques) con los restos de la nube interestelar los convierten en el fenómeno más llamativo dentro del proceso de formación de una estrella como el Sol. Algunos de estos chorros pueden seguir hasta distancias de veinte años luz de la estrella en formación, que es varias veces la distancia que nos separa de Próxima Centauri, la estrella más cercana al Sol, situada a 4.2 años luz.



HH-47, un extenso chorro de material eyectado por una estrella joven. STScI, ESA, Univ. Arizona y NASA.

El Observatorio Virtual

EL OBSERVATORIO VIRTUAL SE ESTÁ REVELANDO COMO UN EFICAZ INSTRUMENTO CIENTÍFICO

Por Juan de Dios Santander (IAA-CSIC)

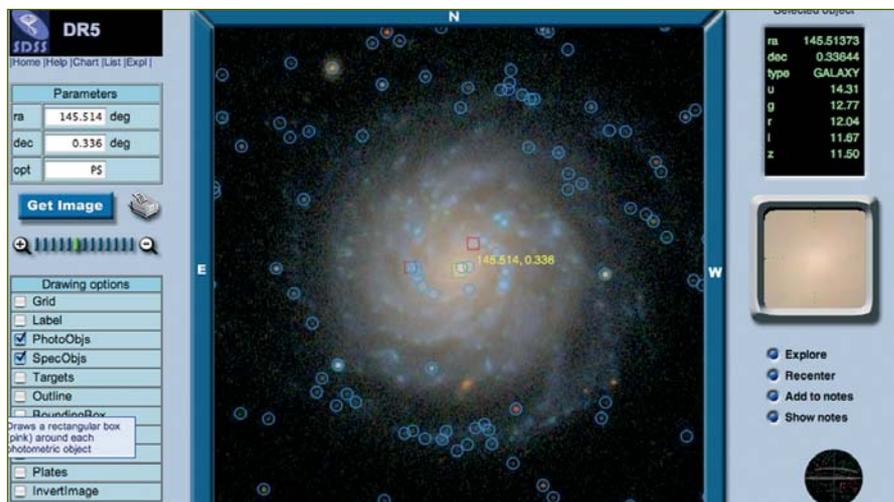
YA EN 1968, ARTHUR C. CLARKE ESCRIBIÓ EN SU OBRA 2001: UNA ODISEA ESPACIAL:

Desde que orbitaron los primeros satélites, hacía unos cincuenta años, billones y cuatrillones de impulsos de información habían estado llegando del espacio, para ser almacenados para el día en que pudieran contribuir al avance del conocimiento. Solo una minúscula fracción de esa materia prima sería tratada; pero no había manera de decir qué observación podría desear consultar algún científico, dentro de diez, o de cincuenta, o de cien años. [...] Formaban parte del auténtico tesoro de la Humanidad, más valioso que todo el oro encerrado inútilmente en los sótanos de los bancos.

Clarke siempre fue un visionario, y dio en el clavo cuando intuyó que los bancos de datos de información astronómica irían creciendo enormemente con el tiempo, y que la preservación de esa información, para obtener nuevos resultados de ella, sería clave.

En la actualidad estamos asistiendo a este proceso: se está generando una ingente cantidad de datos provenientes de un número creciente de instrumentos astronómicos con cada vez mejor resolución, lo que está multiplicando las necesidades de almacenamiento. Por ejemplo, se han puesto en marcha grandes proyectos de estudio exhaustivo del cielo, como el *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS), que generan por sí mismos billones de datos. Se prevé que solo los datos elaborados del SDSS ocuparán el equivalente a 50 unidades de disco duro de 80GB, o cerca de 1000 DVDs.

Como Clarke vivía en un tiempo en que los ordenadores no se conectaban entre sí, y sólo se comunicaban mediante el intercambio de discos, no pudo anticipar -al menos en



su obra 2001- el advenimiento de Internet: un sistema de conectividad global que permite que cualquier ordenador se comunique con otro, sin importar la localización geográfica ni las diferencias entre sistemas operativos. Además, las capacidades de almacenamiento y el ancho de esas conexiones no han hecho más que crecer.

Sin embargo, eso no resuelve el problema del todo: con una ADSL de 20 megas se tardaría más de 18 días en bajar todos los datos del SDSS. Ahora pensemos que miles de astrofísicos necesitan acceder a esos mismos datos, ¿qué ordenadores necesitarían para tratar la información? y ¿cómo encontrarían lo que buscan? Parafraseando a Jack Swigert del Apolo 13: "Tenemos un problema aquí" Para resolverlo, se necesita:

1. Que los diferentes instrumentos unifiquen la forma en que publican su información: así cualquier programa podrá acceder a cualquier dato astronómico, y no habrá que crear, ni saber usar, un programa por instrumento.
2. Que los datos elaborados por un grupo de investigación puedan ser utilizados por cualquier otro. Aparte del uso de un formato común, es necesario adjuntar la lista de operaciones que se realizaron con los datos originales, para determinar su calidad, y poder recuperarlos y revisar su tratamiento en caso necesario.
3. Que el movimiento de la información sea mínimo: los análisis se realizarán en los ordenadores que contengan los datos, y sólo viajarán los resultados de los análisis.
4. Que existan programas que encuentren

automáticamente relaciones entre conjuntos de datos diferentes, sin tener que descargar ninguno de esos conjuntos de datos; esto se conoce como "minería de datos".

5. Que los datos disponibles estén permanentemente actualizados, y que se notifique automáticamente la aparición de nuevos servicios de datos astrofísicos, o incluso de modelos teóricos para poder hacer comparaciones.

El Observatorio Virtual (OV) es la infraestructura que proporcionará esas capacidades, y las siguientes secciones nos servirán para ver cómo.

1. Unificación de formatos

La comunidad astronómica, desde finales de los años 70, ha contado con un formato común: el formato FITS, *Flexible Image Transport System*. Sin embargo, este formato común es exclusivo de la astrofísica; además, está lleno de modismos propios de cada instrumento, puesto que los avances tecnológicos hicieron necesario añadir nuevas capacidades, muchas veces de forma independiente para instrumentos similares. Como el número de instrumentos y extensiones era al principio manejable, la necesidad de que el formato de los archivos fuese realmente único era menor: bastaba con el uso de las herramientas de manipulación de datos propias de cada instrumento.

Por otra parte, con el avance de las comunicaciones, dentro del mundo de la empresa se ha ido imponiendo un estándar de descripción de datos, que comparte algunas similitudes con las necesidades de la astrofísica. Y

es que en el mundo de los negocios, casi todo el mundo necesita hablar de lo mismo: inventario, unidades vendidas, ingresos... aunque nadie haga negocios exactamente igual. Así que si las empresas quieren compartir información, es necesario poder describir esas diferentes formas de hacer negocios. Del mismo modo, en astrofísica, los científicos estudian fenómenos similares, con instrumentos parecidos, pero nadie lo hace exactamente de la misma forma. Así que el problema de comunicación de las empresas y de la astrofísica es parecido. Este estándar de comunicación común a la astrofísica y los negocios es el XML. XML es un lenguaje de marca, esto es, un lenguaje que se introduce junto con los datos para marcarlos, especificando la función o el papel de cada uno de esos datos, para eliminar ambigüedades. Tiene la ventaja de que existen multitud de herramientas que pueden manipular archivos XML -por su origen técnico/empresarial-, frente al formato FITS, que sólo puede ser manipulado por herramientas específicas de la astrofísica.

Sin embargo, XML es incluso más flexible que FITS, lo puede llevarnos a la falta de uniformidad en la forma de aplicar XML sobre los datos astrofísicos. Ahí entra en juego la Alianza Internacional del Observatorio Virtual (IVOA, *International Virtual Observatory Alliance*), que tiene el papel de normalizar los modelos de datos astrofísicos y los protocolos de acceso (o cómo conversan los diferentes ordenadores entre sí). Algunos ejemplos de modelos de datos por normalizar serían: cómo se especifica y almacena el rango de frecuencias en el que opera el filtro del telescopio, cómo se proporcionan las coordenadas de un objeto en el cielo o la cantidad de luz que recibimos del mismo.

Así, los modelos de datos y protocolos establecidos por IVOA, utilizando XML como lenguaje de marca, unifican la forma de describir y comunicar datos astrofísicos, y per-

miten la creación de programas que sirvan para múltiples instrumentos de forma más sencilla.

2. Historial de operaciones

El viaje de la luz hasta nosotros es bastante laborioso, y hay que tener en cuenta muchos efectos. Por ejemplo, la luz que llega desde una supernova que se encuentra en una galaxia muy lejana llegará enrojecida por el efecto Doppler, con una determinada polarización, atravesará la atmósfera terrestre, y se atenuará por el camino. Cuando llegue al sensor, se registrará su energía con un cierto grado de precisión, y existirán unos deter-



Observatorios Virtuales nacionales o supranacionales que son miembros de IVOA. El SVO es el Observatorio Virtual Español.

minados niveles de ruido. La información registrada será procesada con un determinado conjunto de programas usando ciertos parámetros, y se publicará, finalmente, una imagen, un espectro, o alguna otra unidad científica de información, cuya interpretación depende de la forma en que se observó (por cuánto tiempo se hizo, hacia dónde apuntaba en concreto el instrumento, las condiciones del cielo, los ajustes del instrumento, etcétera). Asimismo, también dependerá de qué programas se utilizaron para tratar los datos, de los procesos que se siguie-

ron, en qué orden, y con qué ajustes.

El registro de forma sistemática y estandarizada de las operaciones realizadas sobre los datos nos permitirá establecer la calidad de los mismos, y determinar si son aptos para el estudio que se quiere realizar, o si es necesario volverlos a analizar.

3. Análisis remoto

Recordemos el SDSS, ese estudio del cielo que ocuparía miles de DVDs. La forma más sencilla de recibir toda esa información sería, aparentemente, pedir esos mil DVDs, o bien ocho enormes discos duros con los datos. Aún así, necesitaríamos ordenadores capaces de manejar semejante volumen de información. Los PC típicos solo pueden manejar una milésima parte de toda esa información de una sola vez... y las estaciones de trabajo (ordenadores de uso científico-técnico) más potentes solo podrían manejar entre un uno y un cinco por ciento. No todo el mundo puede permitirse ordenadores tan grandes, y al trabajar por separado se pierden muchas posibilidades de encontrar interrelaciones entre los datos y los estudios de diferentes grupos.

La solución es hacer que los datos viajen lo mínimo posible, y para ello es necesario proporcionar programas que permitan a los usuarios acceder a datos ya elaborados -con lo que se optimiza el tiempo de cómputo-, o realizar sus propias manipulaciones sobre los datos remotamente. Esas manipulaciones quedarán registradas de forma automática, de modo que quien utilice esos datos sabrá qué es lo que se ha hecho exactamente con los originales.

También existe una tendencia a lo que se llama "red de computación", que consiste en permitir el acceso a los recursos de computación de la misma forma en que accedemos a la red eléctrica: estamos conectados a la red y pagamos por su uso. Eso permite repartir las tareas de proceso, cuando sea necesario, a la red, y la propia tarea determinará el tipo de máquina o máquinas que

OV en Internet

IVOA <www.ivoa.net> Página de la Alianza Internacional del Observatorio Virtual. Nivel avanzado.

SVO <laeff.esa.es/svo> Página del Observatorio Virtual Español. Dispone de materiales de formación en castellano sobre el Observatorio Virtual. Nivel medio-alto.

Aladin Sky Atlas <aladin.u-strasbg.fr> *Aladin* fue el prototipo europeo de OV, y es igualmente atractivo para aficionados y profesionales. El programa se puede descargar de forma gratuita, y accede a múltiples fuentes de información gracias a los protocolos del OV. Las últimas versiones integran *VOspec* en el mismo paquete. Los materiales ofrecidos -en inglés- permiten

aprender mucho tanto de *Aladin* como de astrofísica. Nivel medio-alto.

Datascope <heasarc.gsfc.nasa.gov/vo> Portal del *National Virtual Observatory* de los EEUU que permite acceder a toda la información públicamente disponible de múltiples clases de instrumentos: radio, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos-X, rayos Gamma... Nivel medio-alto.

SDSS <www.sdss.org> El *Sloan Digital Sky Survey* es una recopilación sistemática de imágenes que cubrirán la mitad norte del cielo, con cinco filtros diferentes, con el objetivo de proporcionar un mapa en tres dimensiones para cerca de un millón de galaxias y cúasares. Para los objetos más brillantes, proporcionará espectros detallados. Existen materiales educativos -también en inglés- que enseñan, por ejemplo, cómo encontrar asteroides.

necesite. De esa forma se pueden aprovechar recursos de super-computación disponibles en otro lugar sin tener que invertir en capacidad de cálculo adicional. Esto se complementa con la posibilidad de crear grandes sistemas de cómputo asociando muchos ordenadores pequeños, con lo que la capacidad de computación de "la red" se podría ampliar tanto como se quisiera.

4. Minería de datos

Con volúmenes de datos tan grandes, no sólo se vuelve difícil su tratamiento, sino también la extracción de resultados. El mejor detector de patrones que conocemos es el cerebro humano... siempre que el conjunto de patrones por descubrir, o el ámbito en el que se busquen, sea reducido, porque si no llegan el cansancio y el aburrimiento, y se deja de ver coincidencias. Si queremos buscar, literalmente, una aguja entre mil millones de pajares, necesitamos utilizar ordenadores.

La minería de datos pretende encontrar conexiones entre diferentes variables, que muchas veces no son evidentes. Se utilizan técnicas clásicas de inteligencia artificial, como redes neuronales o análisis de probabilidad, basadas en el entrenamiento de un programa para reconocer los patrones que queremos encontrar y clasificarlos con una posibilidad de error que queremos minimizar. Algunas de esas técnicas permiten localizar objetos exóticos o inusuales que no se ajustan a ninguna clasificación particular, por lo que se espera que se puedan realizar nuevos descubrimientos aplicando esas técnicas a los datos ya existentes.

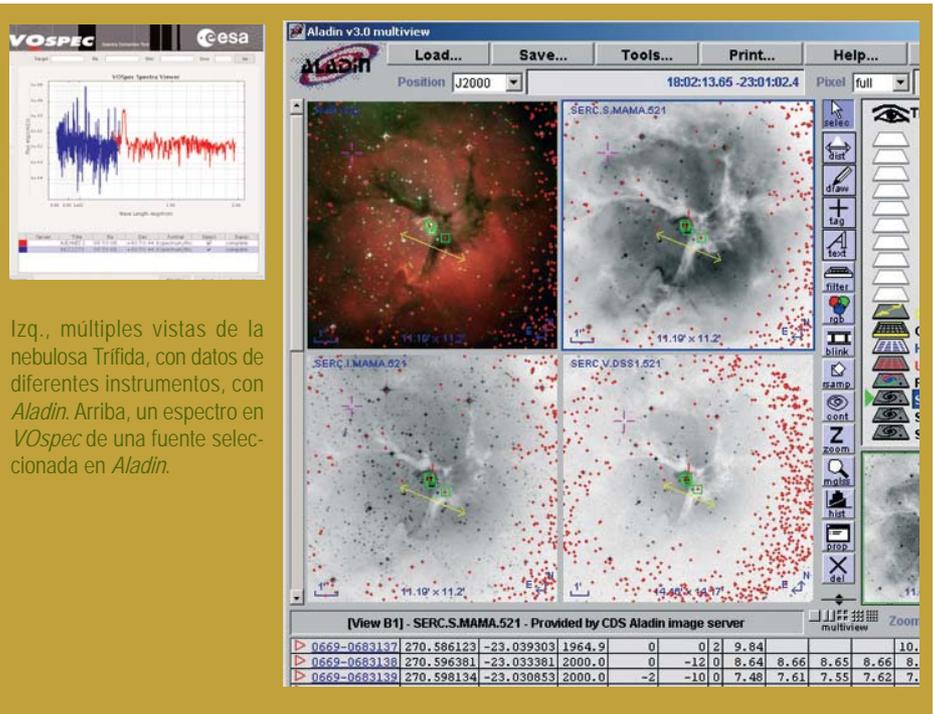
El OV pretende utilizar los avances disponibles en minería de datos, enriqueciéndolos con las descripciones detalladas proporcionadas por los modelos de datos, así como la unificación de formatos, para crear herramientas de minería de datos específicas de la astrofísica.

Un ejemplo es la misión *Gaia*, que pretende catalogar cerca de mil millones de estrellas de nuestra galaxia, y obtener características espectrales para todas ellas, a partir de los datos obtenidos por un satélite específico que se espera lanzar en 2011. Ese trabajo no se puede realizar manualmente, y se utilizarán técnicas de minería de datos para clasificar las estrellas automáticamente. El entrenamiento previo se está realizando con los datos de misiones anteriores, y se podrá refinar con los propios datos de la misión.

5. Actualización automática y registro de datos

Con todo lo que hemos descrito hasta ahora,

Izq., múltiples vistas de la nebulosa Trífida, con datos de diferentes instrumentos, con *Aladin*. Arriba, un espectro en *VOspec* de una fuente seleccionada en *Aladin*.



podemos establecer una infraestructura de OV que permita explotar datos conocidos por toda la comunidad. Pero si alguien publicase datos nuevos sobre uno o más objetos, tendríamos que descubrirlo por nuestra cuenta y añadir manualmente esa publicación a nuestro programa de análisis.

Eso se evita con los registros de recursos del OV, de modo que un programa que use el OV pueda preguntar, por ejemplo, por datos en ultravioleta (UV) y recibir una lista de todos los servidores que almacenan datos UV y que se pueden consultar. Para mayor disponibilidad, existen múltiples registros que se comunican entre sí de modo que, en caso de mal funcionamiento de uno, se pueda utilizar cualquier otro de forma indistinta.

El OV en acción

Ilustraremos el uso del OV con *Aladin*, una herramienta creada por el Centro de Datos de Estrasburgo (CDS) como prototipo de herramienta OV, capaz de recopilar información de cualquier instrumento o base de datos que forme parte del OV.

En una sesión típica, indicaríamos el nombre de un objeto astronómico, y gracias a un protocolo de OV se obtendrían automáticamente sus coordenadas.

A partir de las coordenadas y un radio de búsqueda, se obtendrían imágenes del objeto tomadas con diferentes clases de luz -visible, infrarroja, o UV, por ejemplo-, e identificarían diferentes condiciones físicas. También podríamos comparar imágenes del mismo objeto, tomadas en diferentes épocas, para comprobar su evolución. Así podríamos ver, por ejemplo, la expansión de las capas

de una estrella tras una explosión de supernova.

A continuación, podríamos obtener las zonas de esa galaxia para las que existen datos espectrales, y superponer sus datos con otro programa, denominado *VOspec*, creado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Los espectros nos proporcionan información sobre la abundancia de ciertos elementos, sus temperaturas, y otros parámetros físicos.

Aladin también permite crear programas capaces de identificar los puntos de mayor luminosidad coincidentes entre instrumentos, de calcular tamaños de objetos a partir de una imagen o muchas otras tareas que antes implicaban la inspección visual por parte de un astrónomo. *VOspec*, por su parte, puede calcular a partir de un espectro la temperatura a la que se encuentra una estrella, o la del disco de polvo que la rodea; y puede incluso actualizar el modelo teórico con el que realiza el cálculo.

El poder relacionar datos de posición en imágenes con los de espectros en una base de datos o un modelo teórico, y establecer la relación entre programas diferentes, es posible gracias a la estandarización establecida por el OV, tanto para los datos en sí (XML), como para las relaciones entre datos de diferentes tipos (modelos de datos), y la forma de acceso a datos de diferentes clases (protocolos de acceso).

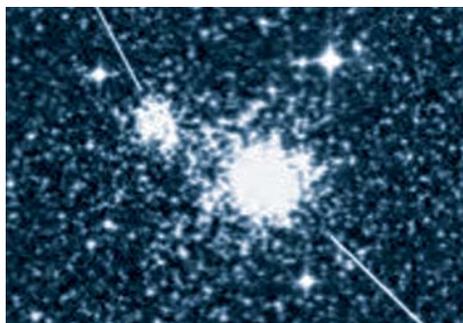
Esta estandarización es la que nos permite simplemente elegir la región del cielo que necesitamos estudiar, y apuntar nuestro OV como un instrumento más, que accederá a los datos disponibles de forma automática y siempre actualizada.

LA INCIDENCIA DE ESTRELLAS QUÍMICAMENTE PECULIARES EN LAS NUBES MOLECULARES

[1] Los cúmulos estelares son asociaciones de estrellas unidas mediante su atracción gravitatoria mutua. Se distinguen dos grupos principales: los cúmulos abiertos o galácticos y los cúmulos globulares.

Los cúmulos globulares se caracterizan por su forma esférica y un núcleo muy denso producido por la intensa fuerza gravitatoria. La mayoría se formaron solo unos cientos de millones de años después del inicio del Universo, así que están constituidos por estrellas viejas y pobres en metales, ya que la nube molecular de la que se originaron contenía mayoritariamente hidrógeno y helio, que fueron los únicos elementos que por nucleosíntesis se produjeron en el Big-Bang.

Todas las estrellas del cúmulo tienen más o menos la misma edad y composición química, aunque difieren en masa, tamaño, temperatura, color o luminosidad.



El sistema binario de cúmulos NGC2137 (izq.) y NGC2136, situado en la Gran Nube de Magallanes. Fuente: *The NGC project*.

Los cúmulos estelares [1] presentan algunas características que los hacen particularmente útiles para la comprobación de la teoría de la evolución estelar. Aunque no se conocen las masas individuales de sus estrellas, el hecho de que tengan la misma edad introduce un concepto teórico muy útil, el de la isocrona. Una isocrona es el lugar geométrico en el diagrama HR [2] de los puntos con la misma edad. Si recordamos que las estrellas evolucionan cada cual con su ritmo, que depende primordialmente de su masa y composición química, podremos construir una curva en tal diagrama a partir de una red de modelos teóricos de evolución estelar [3]. La figura inferior muestra un típico diagrama HR (las masas están dadas en unidades solares y en escala logarítmica). Si inspeccionamos numéricamente cada una de las trazas que componen la red podremos inferir para cada una de ellas la luminosidad y la temperatura efectiva para una determinada edad, digamos, diez millones de años. Procediendo de manera idéntica para otras edades, obtendremos una familia de curvas, cada una representativa de

una edad. Pero estas isocronas no son muy útiles para el análisis de las propiedades de los cúmulos porque no medimos directamente las luminosidades y las temperaturas efectivas de las estrellas y sí sus magnitudes aparentes e índices de color. Así que, antes de comparar con los datos observacionales hay que transformar los parámetros teóricos en magnitudes e índices de color [4]. Esto se hace con la ayuda de estrellas de calibración, de modelos de atmósfera estelares y de curvas de desenrojecimiento [5].

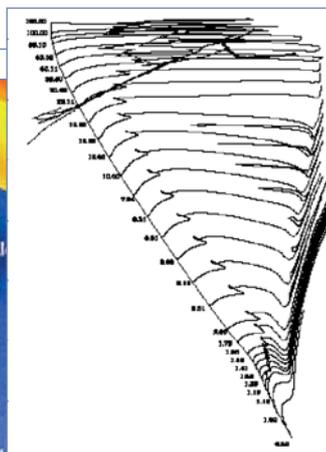
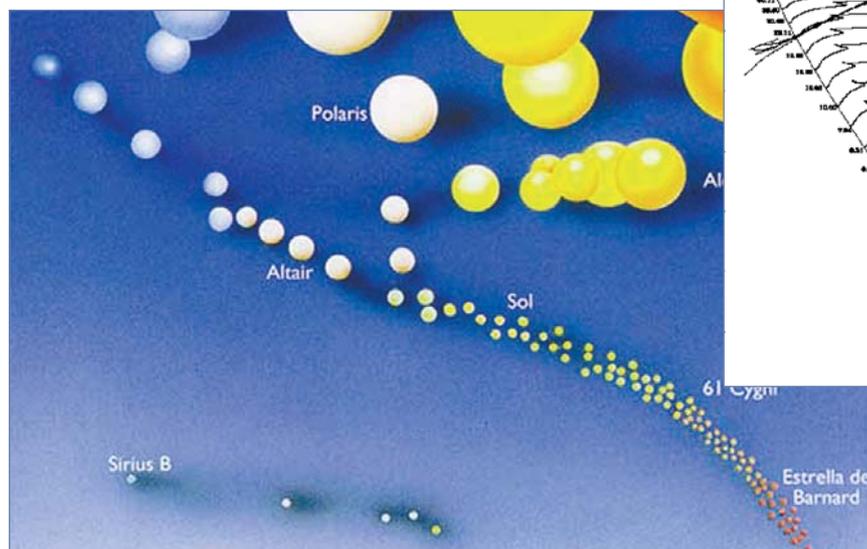
El sistema fotométrico δa y las estrellas químicamente peculiares

Las estrellas pertenecientes a los cúmulos pueden ser binarias o rotar muy rápido, lo que cambia radicalmente sus propiedades. Es muy difícil en muchos casos distinguir estas anomalías usando los sistemas fotométricos tradicionales. Si dicha característica viene dada por una anomalía química y por la presencia de campos magnéticos, el problema se complica aún más ya que tal estrella no se aparta considerablemente de la franja de pun-

[2] Un gráfico muy útil para representar la evolución de las estrellas es el diagrama de Hertzsprung-Russell o diagrama HR. En el eje vertical se sitúa la luminosidad de la estrella y en el horizontal su temperatura efectiva o superficial (de menor a mayor luminosidad y de más caliente a más fría). Cuando situamos en el diagrama las estrellas, vemos que es recorrido por una banda diagonal donde se hallan la mayoría de ellas. Las estrellas en la parte superior izquierda de la banda son muy luminosas y calientes, mientras que las de la parte inferior derecha son más frías y menos brillantes. Las estrellas situadas en esta banda, conocida como Secuencia Principal, acaban de comenzar su vida como estrellas con el inicio de reacciones termonucleares en su interior. Pero además esta banda representa una secuencia de masas ya que la luminosidad está relacionada con la masa, siendo las estrellas más luminosas también las más masivas. No conocemos las masas de las estrellas en cúmulos, aunque sí sabemos que tienen más o menos la misma edad. Usando modelos teóricos se puede calcular cómo envejecen estrellas de distintas masas que tengan la misma composición química del cúmulo. Cada estrella evolucionará a su ritmo (cuanto más masiva más rápido) y así podemos situar en el diagrama HR el modelo según va evolucionando hasta que alcanza la edad del cúmulo.

[3] Una red de modelos teóricos de evolución estelar describe de forma matemática una estrella en un momento determinado de su vida. Para ello hay que desarrollar sofisticados programas informáticos que resuelvan las ecuaciones fundamentales de estructura estelar y el transporte interno de energía. Nos da información sobre la distribución de parámetros como temperatura, gravedad, luminosidad, masa, presión, densidad y composición química en las diferentes capas que componen la estrella, desde el centro hasta su superficie.

En el caso que nos ocupa, la red está constituida por modelos de estrellas con diferentes masas en la secuencia principal -la banda diagonal-, como podemos ver en el diagrama de la izquierda.



A la izq. vemos un diagrama HR ilustrado, y a la drch. uno teórico: cada traza constituye la evolución de una estrella con una determinada masa.

ESTRELLAS QUÍMICAMENTE PECULIARES EN LAS NUBES DE MAGALLANES

tos que caracteriza el cúmulo. Las principales características de las estrellas químicamente peculiares (CP) [6] son: las líneas de absorción son peculiares y variables, presentan sobreabundancia de silicio, cromo, estroncio y europio, y variabilidad del campo magnético. Por otra parte, desde el punto de vista instrumental, se ha diseñado en Austria un sistema fotométrico de tres filtros llamado *delta a*. Este sistema se ha mostrado muy útil para discriminar las estrellas CP. Por lo tanto, hemos adaptado nuestra red de modelos evolutivos teóricos a este sistema para calcular las distancias y el enrojecimiento de los cúmulos, previa transformación de los parámetros, como antes hemos comentado. El resultado para el cúmulo NGC 6405 puede ser visto en la figura inferior. Hemos aplicado tales isocronas a docenas de cúmulos localizados en nuestra galaxia con resultados idénticos en lo que al comportamiento de la línea de normalidad de cada uno se refiere. El siguiente paso lógico ha sido estudiar la incidencia de las CP en otros entornos, como las Nubes de Magallanes. Se están llevando a cabo inten-

tas campañas observacionales con telescopios situados en el hemisferio sur con el fin de obtener datos para estas dos galaxias. Se han estudiado dos campos de estrellas, uno de los que contiene un cúmulo joven (NGC 1711), en la Gran Nube de Magallanes. Más recientemente, también en la Gran Nube de Magallanes, se ha investigado el cúmulo binario (posiblemente triple) NGC 2136 y NGC 2137. Además de la discriminación de las CP, también se han descubierto estrellas del tipo Ae/Be. Cabe también destacar que se ha observado que solo un 2% del total de las componentes son químicamente peculiares, aproximadamente la mitad de la incidencia de las CP en nuestra galaxia. Tal dato impone restricciones muy severas a los modelos de evolución [7]. Como próximo paso, se intentará establecer la incidencia de estrellas químicamente peculiares en la Pequeña Nube de Magallanes, una galaxia con menos contenido metálico todavía que la Gran Nube.

ANTONIO CLARET (IAA)

deconstrucción: **CRISTINA RODRÍGUEZ-LÓPEZ (IAA)**



Gran Nube de Magallanes. Fuente: AURA/ NOAO/ NSF.

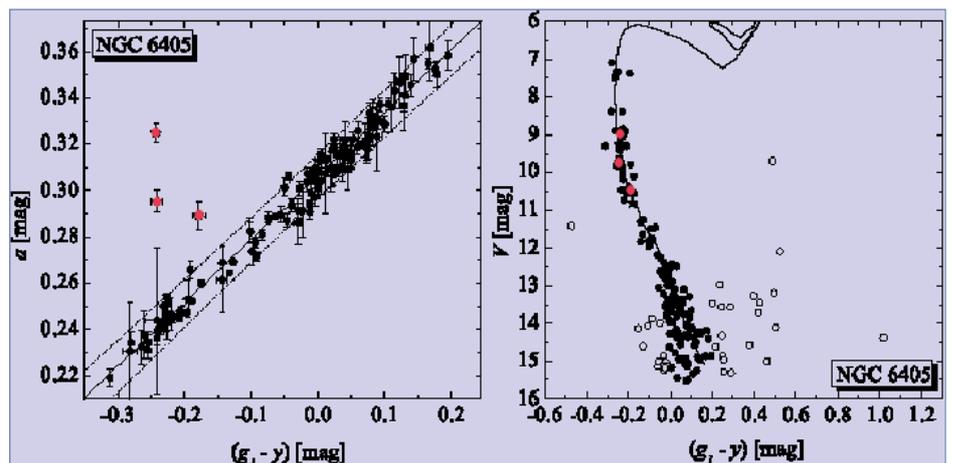
[6] Las estrellas químicamente peculiares son excelentes para avanzar en nuestro conocimiento de procesos astrofísicos como difusión, convección y estratificación en atmósferas estelares en presencia de intensos campos magnéticos.

[7] Los modelos teóricos para desentrañar su origen solo han sido comparados con observaciones realizadas en la Vía Láctea. Ya que su origen parece estar directamente relacionado con la metalicidad y el campo magnético global, estudiando la abundancia de estas estrellas en otros entornos diferentes - como las Nubes de Magallanes-, se pueden imponer restricciones a los modelos evolutivos. Así, se podría dar respuesta a cuestiones tales como si el campo magnético estelar es debido a la supervivencia de campos magnéticos "fósiles" originados en el medio en que la estrella se formó o a un mecanismo de dinamo en el interior de la estrella.

[4] La magnitud aparente es una escala relativa que mide el brillo de una estrella desde la Tierra comparándolo con otra, sin tener en cuenta su distancia. Cuanto más brillante sea la estrella menor será su magnitud aparente. Sirio, por ejemplo, la estrella más brillante del cielo tiene una magnitud aparente de -1.5. La escala está definida de forma logarítmica, de manera que una diferencia de un punto en la escala corresponde a un cambio en brillo de 2,512. Así, una estrella de magnitud 1 será 100 veces más brillante que una de magnitud 6, que serían las más débiles que podemos observar en un cielo oscuro sin ayuda de ningún instrumento óptico. Además, la luz que nos llega de las estrellas no es monocromática, sino que tiene diferentes frecuencias o longitudes de onda, es decir, diferentes colores. A la diferencia de brillo o magnitud medida con ayuda de filtros en diferentes intervalos del espectro (o diferentes colores) se le llama índice de color.

[5] Los modelos de atmósferas estelares son programas informáticos que describen el comportamiento de los fotones del núcleo estelar cuando interactúan con los átomos e iones presentes en la atmósfera de la estrella, su zona más fría. Parte de los fotones serán absorbidos por las especies químicas de la atmósfera, dando lugar a líneas de absorción características en el espectro. Por comparación de estos espectros creados sintéticamente y los observados, podemos deducir qué elementos están presentes en la atmósfera de la estrella y en qué proporción.

Por otro lado, el enrojecimiento se produce cuando la luz procedente de las estrellas atraviesa el medio interestelar y sufre cierta absorción y dispersión por partículas de polvo. Esta extinción interestelar afecta más a los fotones de longitud de onda más corta, es decir, a la parte más azul del espectro, así que vemos la estrella más roja de lo que es en realidad. Se trata del mismo efecto que produce los atardeceres y amaneceres rojizos, aunque por efecto de la atmósfera terrestre: en estos momentos, la luz solar atraviesa una capa de atmósfera mayor y la luz azul es absorbida y dispersada con más eficiencia que la luz roja, que se ve prácticamente inalterada y genera los hermosos colores rojizos de las puestas y salidas del Sol.



En el diagrama de la derecha (un diagrama tradicional) las CP (en rojo) no son distinguibles mientras que el diagrama de la izquierda las CP salen notoriamente de la línea de normalidad, lo que claramente revela las anomalías.

IC5217: detección de nuevas componentes nebulares

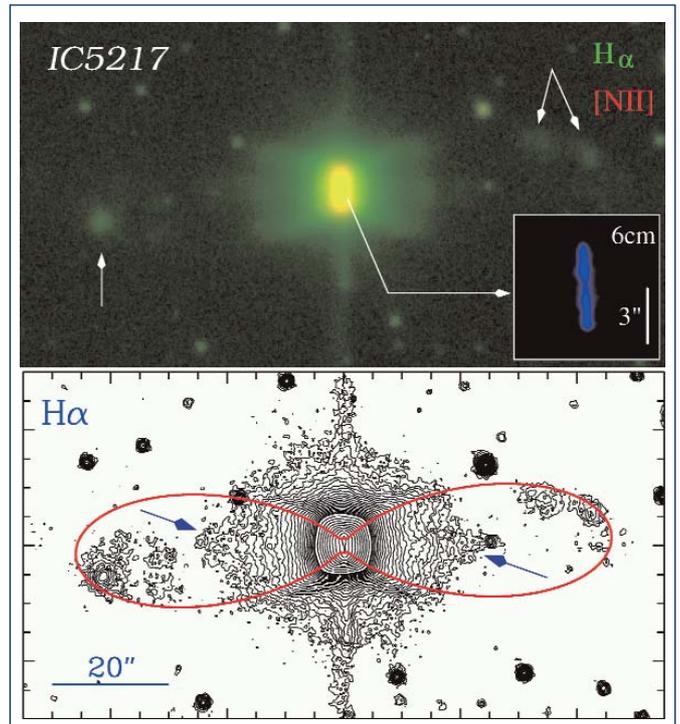
Un grupo internacional de astrónomos ha utilizado el telescopio de 1,5 metros del Observatorio de Sierra Nevada para investigar nebulosas planetarias

▶ Las nebulosas planetarias (NPs) son envolturas gaseosas brillantes alrededor de una estrella evolucionada y caliente.

Representan el estado evolutivo por el que pasan las estrellas como el Sol al final de su vida, justo después de la fase de supergigante roja. Los procesos de eyección de masa en la etapa de gigante determinan las componentes nebulares observadas en la fase de planetaria (para más información sobre las NPs ver Revista IAA, nº 3, Pág.3). Para inferir los procesos físicos que han intervenido en la formación de una NP, el primer paso crucial consiste en conocer con precisión las componentes nebulares que están presentes en la misma.

Durante los últimos años, un equipo de astrónomos de España (L.F. Miranda; IAA-CSIC) y México (R. Vázquez, S. Ayala, P.F. Guillem; IA-UNAM) ha usado el telescopio de 1,5 metros del Observatorio de Sierra Nevada (Granada) para detectar componentes nebulares en NPs que pudieran haber pasado desapercibidas en imágenes previas. Un buen ejemplo de los resultados obtenidos

es IC5217, considerada como una simple NP bipolar con dos lóbulos separados por un anillo central brillante. Estas componentes se reconocen en las imágenes del OSN que, además, muestran estructuras nebulares débiles muy alejadas del centro no detectadas anteriormente. Las estructuras débiles parecen formar parte, junto con el anillo central brillante y los dos lóbulos, de una única estructura bipolar tipo "reloj de arena" caracterizada por un cociente enorme entre el tamaño de sus ejes (eje mayor/eje menor = 37). Los datos cinemáticos de IC5217, obtenidos con el telescopio de 2,2 metros del Observatorio de San Pedro Mártir (Baja California, México), indican que esas componentes débiles se mueven a unos 500 km/s, mientras que las velocidades en el anillo brillante son de 10-30 km/s. Además, en el centro de los lóbulos se puede distinguir una estructura alargada, tampoco detectada previamente, que podría estar relacionada con una envoltura cilíndrica muy colimada. Para complementar estas observaciones, se han utilizado datos de IC5217 con alta



(Arriba) Imagen en falso color de IC5217 combinando la emisión del hidrógeno (verde) y del nitrógeno una vez ionizado (rojo). Las componentes débiles se indican con flechas. El recuadro muestra la emisión en ondas centimétricas (6 cm) correspondiente al disco central. (Abajo) Contornos de la emisión del hidrógeno (negro) y modelo "reloj de arena" (rojo). Las flechas (azul) indican la estructura alargada.

resolución a longitudes de onda centimétricas disponibles en el archivo del Very Large Array (Nuevo México, USA). Estos datos muestran, por primera vez, la estructura del anillo central que resulta ser un disco extremadamente delgado (o plano) visto de canto.

La geometría del disco central difícilmente puede explicar la formación

de IC5217 por medio de una simple colimación hidrodinámica. Las observaciones apuntan más bien a una colimación magnética o a un flujo o viento estelar colimado y variable como posibles agentes involucrados en la formación de IC5217, lo que ha resultado ser menos simple de lo que se pensaba.

Luis F. Miranda (IAA).

▶ En junio de este año las agencias de noticias anunciaban: "Dos matemáticos chinos han demostrado la Conjetura de Poincaré, uno de los problemas sin resolver más famosos de las matemáticas". Y muchos de nosotros, profanos de las matemáticas, simplemente nos quedamos con la sensación anecdótica de que alguien había sido capaz de terminar un súper Sudoku infernal publicado hace más de cien de años. Sin embargo, detrás de la conjetura de Poincaré

se esconde mucho más que una anécdota. Vivimos en un mundo tridimensional. Sabemos que podemos ir hacia delante o hacia atrás, hacia arriba o hacia abajo y hacia derecha o izquierda. Lo que no

conocemos es la forma del Universo considerado como un todo. Imaginemos que pudiéramos dar largos paseos por el Cosmos embutidos en uno de esos trajes espaciales con los que los astronautas

reparan el transbordador espacial. Podría suceder que, tomando una dirección cualquiera y yendo obstinadamente hacia delante, volviéramos siempre al lugar de partida. También podría ser que esto sola-

La conjetura de Poincaré

Esta afirmación formulada hace más de un siglo constituía uno de los problemas sin resolver más famosos de las matemáticas

mente sucediera para algunas direcciones particulares, pero no para todas. Imaginemos ahora que tuviéramos un dispositivo que pudiera materializar de la nada, sin más que apretar un botón, una soga gigantesca de longitud astronómica en forma de lazo con nudo corredizo, como las que usan los vaqueros americanos. Al tirar del nudo podría ser que pudiera recoger toda la cuerda sin problemas; sin embargo, también podría ser que hubiera alguna obstrucción en el espacio mismo (estas son las llamadas obstrucciones topológicas) que hiciera esta operación imposible. Cuando se piensa en estos problemas en detalle se aprecia que las posibles formas y obstrucciones que podría tener el Universo son muchas y algunas difícilmente imaginables. La Conjetura de Poincaré no es más que la afirmación de que "si el Universo fuera cerrado (finito pero sin bordes) y no tuviera ninguna obstrucción topológica de la clase descrita previamente, este tendría la forma de la generalización a tres dimensiones de la esfera" (1). Esta afirmación, planteada en 1904 por el gran matemático francés Henri Poincaré, pero no completamente demostrada hasta la actualidad, la podemos enmarcar en el problema más ambicioso de clasificar todas las posibles formas que el Universo, al menos en principio, podría tener. La lucha de muchos matemáticos durante estos 100 años por demostrar esta conjetura ha resultado en tremendos avances en nuestra comprensión del problema más general de clasificación de

(1) Para aquellos interesados en el enunciado literal del problema por Poincaré, es este: "Considérons maintenant une variété [fermée] V à trois dimensions ... Est-il possible que le groupe fondamental de V se réduise à la substitution identique, et que pourtant V ne soit simplement connexe?"

O, traducido al español con terminología moderna:

"Consideremos una variedad tridimensional V compacta y sin borde. ¿Es posible que el grupo fundamental de V sea trivial sin que la variedad V sea homeomorfa a la esfera tridimensional?"



Henry Poincaré.

las posibles formas del Universo. Recíprocamente, ha sido este entendimiento mucho más global el que ha permitido encontrar una demostración de la conjetura. Ahora, un poco sobre las personas involucradas en este tramo final de la historia de la conjetura. El matemático ruso Grigori Perelman, del Instituto Steklov de Matemáticas (San Petersburgo), envió en 2002-03 a la red una serie de artículos de los que se derivaba una demostración de la conjetura. Estos trabajos extendían los análisis llevados a cabo por Richard Hamilton de la Universidad de Columbia (Estados Unidos) sobre una importante conjetura (La conjetura de geometrización) debida a William Thurston (actualmente en la Universidad de Cornell, Estados Unidos) que contiene a la de

Poincaré. Sin embargo, una demostración claramente desarrollada no ha aparecido hasta este junio con el artículo de dos matemáticos chinos, Zhu Xiping de la Universidad en Zhongshan (sur de China) y Cao Huaidong de la Universidad de Lehigh (Estados Unidos), en la revista *Asian Journal of Mathematics*. El tiempo dirá qué nombre o nombres quedarán ligados con la famosa demostración. De momento, la comunidad matemática internacional, en su reciente reunión en Madrid ha concedido la medalla Fields (el Nobel de las matemáticas) a Grigori Perelman. Sin embargo, este ha rechazado el premio argumentado al parecer que "no quiere ser ninguna cabeza visible de las matemáticas".

Carlos Barceló (IAA).

EN BREVE

Un nuevo ciclo solar

► El pasado 31 de julio, una diminuta mancha solar que apenas duró tres horas despertó la curiosidad de los astrónomos: se hallaba en una región en la que las manchas se orientan de Norte a Sur, pero su polaridad estaba invertida, como muestra este magnetograma obtenido por el satélite SOHO.



Las manchas solares se producen porque el campo magnético del Sol bloquea el transporte de energía hacia la superficie y ocasiona un descenso de temperatura. Se trata, sencillamente, de regiones algo más frías que revelan la intensidad de la actividad solar. Esta crece y decrece en ciclos de once años, y los campos magnéticos del Sol se invierten al cambiar de uno a otro. La mancha solar invertida podría ser la primera del ciclo número 24, que se augura especialmente intenso.

Los agujeros negros supermasivos inhiben la formación de estrellas

► El telescopio espacial GALEX (*Galaxy Evolution Explorer*, NASA) ha observado más de 800 galaxias elípticas de diversos tamaños y ha revelado que, cuanto más masiva es la galaxia, menos estrellas jóvenes alberga. Los investigadores atribuyen esta circunstancia a los agujeros negros supermasivos situados en los núcleos galácticos, cuyo tamaño es proporcional al de la galaxia donde se hallan. Así, en las galaxias mayores los agujeros negros crean un ambiente hostil para la formación de estrellas, bien porque su violenta expulsión de materia en forma de chorros dispersa el gas necesario para que nazcan o porque su atracción gravitatoria lo calienta e impide que se aglutine.

Reparaciones en el Hubble

Un fallo en una de las cámaras interrumpió las observaciones durante casi dos semanas

► El telescopio espacial Hubble (HST) constituye una de las herramientas más útiles y, por lo tanto, más requeridas por los astrofísicos hoy día. Actualmente el HST está dotado del instrumento infrarrojo NICMOS y de los denominados WFPC2, STIS y ACS, sensibles

desde el ultravioleta hasta el óptico. Este último ofrece unas características de sensibilidad, rango espectral y campo inmejorables hasta el momento.

De hecho, la imagen óptica más profunda del Universo tomada hasta la fecha, conocida como

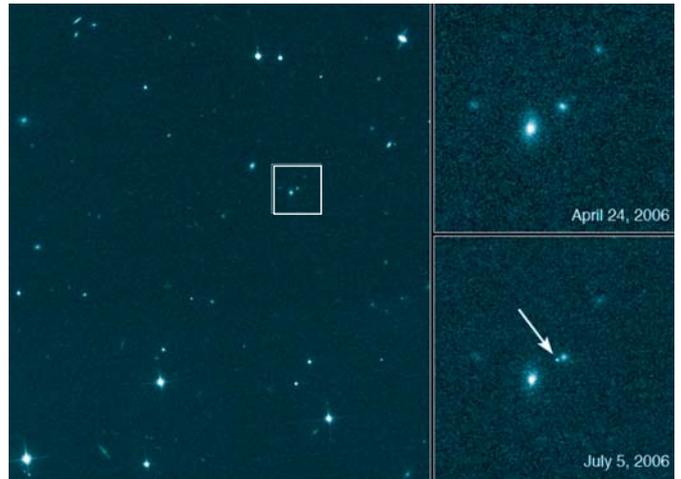
"Campo Ultra Profundo del Hubble", se debe a la ACS (*Advance Camera for Surveys*). De hecho, actualmente el 70% de las observaciones realizadas con el HST se llevan a cabo con la ACS, lo que demuestra la importancia de este instrumento para la comunidad astrofísica internacional. La ACS ha venido observando regularmente desde su instalación en el HST en marzo de 2002. Sin embargo, el pasado día 19 de junio la ACS

sufrió una inesperada interrupción de sus operaciones. Este incidente provocó una rápida reacción por parte de NASA, que creó un comité técnico con el fin de determinar las causas de la anomalía, evaluar los posibles daños y encontrar soluciones que permitieran recuperar la ACS. Tras varios días de investigaciones, el grupo de trabajo concluyó que el fallo provenía muy probablemente de la fuente de alimentación que soporta la electrónica de las CCDs de las cámaras. El comité llegó a la conclusión que la electrónica no era recuperable, pero que podría suplirse con electrónica redundante a bordo de la ACS capaz de controlar sus detectores CCDs.

La electrónica fue puesta en funcionamiento por primera vez el pasado día 30, después de un lapso de once días. Tras varios controles, el día 2 de julio la ACS volvió a la vida. Durante dos días se realizaron series de calibraciones y finalmente el 4 de julio se retomaron las observaciones de carácter científico. Cabe resaltar que, desde entonces,

la CCD de la cámara de gran campo de la ACS opera a -81 grados en lugar de a -77 grados como trabajaba antes. Esta aparentemente pequeña variación supone un enorme esfuerzo en la recalibración de los datos de la ACS, que afectará a los productos a los que el usuario pueda acceder, como el archivo del HST. La nueva temperatura de trabajo provocará que la contaminación de píxeles calientes se reduzca en un 50% y que la sensibilidad aumente en 0.1 magnitudes aproximadamente.

Para mostrar el perfecto estado de salud de la ACS (incluso mejorando las prestaciones anteriores a la interrupción), el día 12 de julio NASA hizo pública una nota de prensa en la que mostraba el descubrimiento por parte del equipo liderado por S. Perlmutter (Universidad de California, Berkeley) de una supernova distante tipo Ia. Lo interesante del asunto es que el descubrimiento se llevó a cabo comparando las imágenes del 12 de julio con imágenes del mismo campo tomadas en abril de 2006. El



La imagen de la izquierda muestra el campo de cúmulo de galaxias donde el pasado día 5 de julio el HST descubrió una supernova la con un corrimiento al rojo de $z=1.2$. Las dos imágenes de la derecha representan una ampliación del cuadrado inscrito en la imagen izquierda. La imagen superior fue tomada el 24 de abril, antes de la interrupción de las operaciones de la ACS. La inferior, tomada después de la reactivación de la ACS, reveló la presencia de una SN Ia (indicada con la flecha). Como se puede apreciar, la calidad de las imágenes no se han visto en absoluto degradada tras el paréntesis de dos semanas que han sufrido las operaciones científicas de la ACS. Fuente: NASA/ESA/HST y H. Perlmutter.

hallazgo constituyó una prueba inmejorable de la calidad de las imágenes tomadas antes y después del restablecimiento de las operaciones de la ACS.

Esperemos que tras este sobresalto de casi dos semanas la ACS continúe con el servicio que viene prestando desde 2002.

Javier Gorosabel (IAA).

Plutón ya no es un planeta

Definir qué es un planeta ha resultado más difícil de lo esperado: un año de deliberaciones y varias votaciones en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) han redibujado nuestro Sistema Solar, que a partir de ahora cuenta con ocho planetas

► El descubrimiento, el pasado año, del objeto 2003UB313 más allá de la órbita de Neptuno sembró las dudas en la comu-

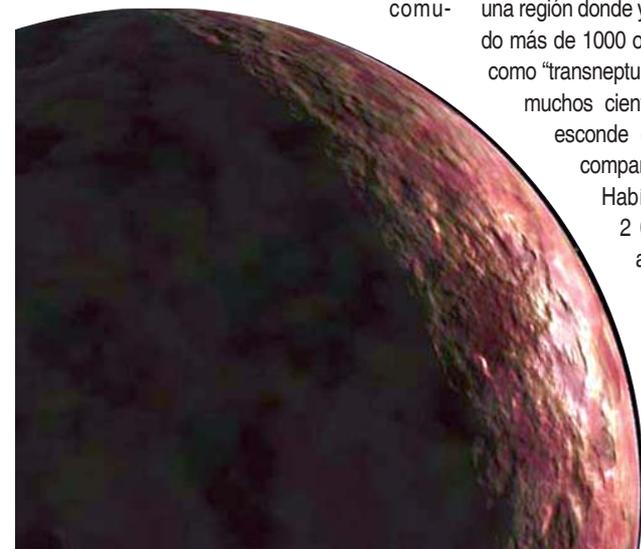
nidad internacional: su tamaño superaba al de Plutón y enseguida comenzó a hablarse de "décimo planeta". Pero 2003 UB313 se halla en una región donde ya se han detectado más de 1000 objetos -conocidos como "transneptunianos" (TNOs)- y muchos científicos creen que esconde otros de tamaño comparable al de Marte.

Había que elegir: o 2 0 0 3 U B 3 1 3 ascendía a la categoría de planeta o Plutón renunciaba a ella.

Tras varias votaciones,

los astrónomos reunidos en Praga en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) aceptaron una definición de planeta que exige, por un lado, que el cuerpo que gira alrededor del Sol se halle en equilibrio hidrostático, lo que se traduce en una forma esférica, y que haya limpiado el vecindario alrededor de su órbita. Este segundo requisito fue el que expulsó a Plutón, 2003UB313 y Ceres (ambos nuevos candidatos a planeta) de la lista de elegidos, y se deriva del modo en que se forman los planetas: nacen de un disco de gas y polvo mediante acumulación de planetesimales, o pequeños cuerpos que van engordando el embrión de planeta. Así, al

final no queda casi nada a su alrededor, ya que sería atraído o expulsado por mecanismos gravitatorios. Esto ocurre en el caso de Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, todos ellos objetos dominantes en su zona, pero no en el de Plutón y 2003UB313, integrantes de un mismo grupo de cuerpos conocido como Cinturón de Objetos Transneptunianos, ni en el de Ceres, miembro de mayor tamaño del Cinturón Principal de asteroides, situado entre Marte y Júpiter. Estos tres objetos pasarían a engrosar el grupo de los "planetas enanos", que se definen como objetos que giran alrededor del Sol, tienen forma redondeada y no son satélites (por curioso que parezca y, a pesar del nombre, estos objetos no son planetas). Quedaría un tercer grupo, el de los "cuerpos pequeños del Sistema Solar", que abarcaría todos los otros objetos: la mayoría de los asteroides y del los objetos transneptunianos, cometas y otros objetos pequeños. Por duro que parezca el declive de

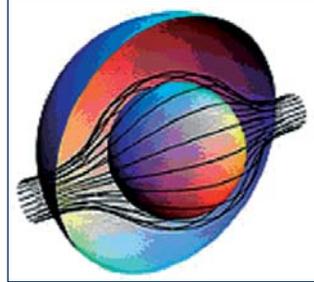


Plutón (un artículo periodístico al respecto titulaba "¿Queremos que vuelva Plutón?"), resulta bastante lógico y no se trata del primer caso: poco después de ser descubierto en 1801, Ceres perdió su rango de planeta al irse encontrando nuevos objetos en la misma franja entre Marte y Júpiter. Todos ellos pasaron a denominarse asteroides. El caso de Plutón, descubierto en 1930, resulta similar; aunque se creía en la existencia de un cinturón de cuerpos parecidos a él, hasta 1992 no se halló el primero que confirmara esta hipótesis. En 1999, con un buen número de objetos transneptunianos descubiertos, la IAU se negaba, en una nota de prensa, a degradar a Plutón y asignarle un número de planeta menor. Plutón aún contaba con la ventaja de ser, con sus 2.200 kilómetros de diámetro, el objeto de mayor tamaño. Aunque los astrónomos no se ponen de acuerdo sobre el tamaño de 2003UB313, que oscila entre los 2.300 y los 3.300, es definitivamente mayor que Plutón. Solo las "razones históricas" podían mantener a este último entre los planetas, pero por lo visto no han sido suficientes.

Silbia López de Lacalle (IAA).

Cómo crear objetos invisibles

► En dos artículos de la revista *Science* (23 junio 2006) liderados por J.B. Pendry, y U. Leonhardt se describen las técnicas para conseguir objetos invisibles, al menos en teoría. En ellos se detalla la forma de construir meta-materiales "transparentes" en una banda estrecha del espectro electromagnético. Estos meta-materiales se construyen a partir de materiales comunes, creando con ellos fábricas con estructuras periódicas a escala microscópica, y tienen la particularidad de poder guiar las ondas electromagnéticas (radio, luz visible, etc.) a través de su interior. Las ondas fluyen en torno a los cuerpos volviendo a sus trayectorias originales como si los hubieran atravesado sin distor-



Los metamateriales pueden guiar las ondas electromagnéticas en torno a ellos.

sión. Si, por ejemplo, construyéramos una bola hueca con este material, los rayos de luz serían guiados por su superficie como sucede con una naranja en una corriente de agua. Cualquier objeto colocado en el interior de la bola sería invisible desde el exterior.

Pero existen problemas: los meta-materiales solo serán "transparentes" a ciertas longitudes de onda por lo que la sensación de invisibilidad no será perfecta. Además, la construcción de meta-materiales es una tarea que se complica a medida que se reduce la longitud de onda a la que son eficaces. En los próximos 18 meses se espera tener ya meta-materiales "transparentes" a las ondas de radio (con longitudes de onda del orden de 10^{-3} m). Sin embargo, la construcción de aquellos adaptados a la luz visible aún puede tardar años. Para ello será necesario trabajar con estructuras por debajo de los 10^{-6} m adentrándonos en los terrenos casi ignotos de la nanotecnología. Una última curiosidad es que desde la zona invisible será imposible ver el exterior. Así pues, tendremos que esperar todavía años para poder ver la playa desde ese pisito tan mono oculto tras la urbanización.

Rafael Morales (IAA).

ENTRE BASTIDORES

CONCESIÓN DE TIEMPO EN LOS OBSERVATORIOS
POR MONTSERRAT VILLAR

En nuestros días, cualquier investigación en astronomía observacional comienza con el diseño y envío de una "propuesta de observación". Se trata de un documento (con formato estandarizado por cada observatorio) en el que se solicita el uso de diferentes telescopios e instrumentos para obtener datos observacionales adecuados para estudiar un tema concreto.

Un comité de expertos en diferentes áreas de la astrofísica estudia las propuestas recibidas para un telescopio en particular y sus diferentes instrumentos o, alternativamente, para un observatorio determinado. El comité se reúne al cabo de aproximadamente un mes después de la fecha límite de envío de las propuestas y distribuye las noches (o días) disponibles entre los mejores proyectos.

Una propuesta debe explicar qué cuestión quiere investigarse (e.g. medir la masa de agujeros negros supermasivos en galaxias) y cómo se pretende responder dicha cuestión (e.g. mediante el estudio de la cinemática de las estrellas en la zona nuclear). Debe describir el contexto

científico del proyecto y por qué es importante llevarlo a cabo, así como justificar por qué el telescopio y el instrumento solicitados son los más adecuados.

Escribir una buena propuesta de observación requiere un gran esfuerzo. La competición es tan dura (demasiado tiempo solicitado comparado con el disponible) que se rechazan proyectos de alta calidad. Los miembros del comité evaluador leen docenas de propuestas dedicadas a temas muy diferentes, algunos de ellos muy lejanos a su propia especialización. Es crítico, por tanto, que demostremos de forma concisa, clara y directa que la idea que proponemos está entre las mejores.

El exceso de propuestas hace difícil decidir cuáles merecen ser realizadas y obliga a rechazar algunas de alta calidad. En este caso es difícil entender las reglas del juego. Puesto que hay que elegir entre propuestas de similar nivel, son aspectos secundarios, como que el estudio propuesto esté de moda (es el caso de los estallidos de rayos gamma o los *surveys* -estudios de grandes áreas del cielo), los que inclinan la

balanza en favor de una u otra. El que los investigadores sean conocidos por miembros del comité puede influir de forma positiva cuando existe afinidad o, al contrario, negativa si se trata de grupos enfrentados.

En estos niveles en los que las sutilezas marcan la diferencia, el idioma (siempre el inglés) constituye una ventaja añadida para los angloparlantes. Se trata de un proceso altamente competitivo en el que hay que convencer a un panel de expertos de que lo que uno propone es lo mejor. Se necesita un buen manejo del idioma para conseguirlo.

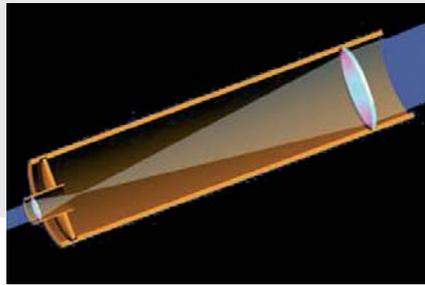
Así, en ocasiones, factores no estrictamente científicos convierten la decisión de los comités en algo aparentemente aleatorio.

Al cabo de unos tres meses desde que enviamos nuestras propuestas recibimos la decisión del comité. Si nuestro esfuerzo ha tenido recompensa y hemos obtenido tiempo de observación, ¡cruzaremos los dedos para que las nubes no nos jueguen una mala pasada!

Pilares científicos

EL TELESCOPIO REFRACTOR

EL TELESCOPIO REFRACTOR, INVENTADO POR HANS LIPPERSHEY Y POPULARIZADO POR GALILEO GALILEI, SUPUSO UNA INNOVACIÓN FUNDAMENTAL EN LA ASTRONOMÍA Y ES EL INSTRUMENTO CON EL QUE SE ASOCIA GENERALMENTE AL ASTRÓNOMO.



La función del telescopio consiste en facilitar la observación de objetos lejanos y por tanto empujados. Por este motivo, su utilidad ha trascendido el campo astronómico. Una diversidad de inventos basados en el telescopio astronómico nos rodean en la vida cotidiana: prismáticos, objetivos y zooms en cámaras fotográficas, telescopios de observación terrestre, miras de cacería, dispositivos de visión nocturna, etc.

El fundamento de un telescopio refractor para visión directa es el siguiente. El diseño más sencillo consta de dos lentes montadas en un

tubo: el objetivo (la más cercana al objeto observado) y el ocular (la más cercana al ojo). El corazón del telescopio es su objetivo, encargado de formar una imagen (invertida) del objeto en una región llamada plano focal. Esta imagen es muy difícil de observar directamente, pues es pequeña y se encuentra cerca al ojo. La lente ocular soluciona este problema, permitiendo una visión relajada del objeto. Los parámetros fundamentales de un telescopio de visión directa son tres: el diámetro

del objetivo, que nos determina la cantidad de luz observada, los aumentos, que nos determinan la magnificación del objeto, y el tamaño del campo de visión.

La astronomía moderna nace de la unión del telescopio en sí con otro desarrollo fundamental: la fotografía. Reemplazando el ocular de los telescopios por placas fotográficas era posible registrar una imagen de forma permanente y con mayor sensibilidad que la proporcionada por el ojo. En la actualidad esto mismo se realiza con dispositivos electrónicos (las CCD, CMOS y IR-arrays de la fotografía digital) situados en el plano focal del objetivo. De esta manera, el funcionamiento de un telescopio que obtiene imágenes CCD es idéntico al de una cámara fotográfica. Utilizando esta configuración se han obtenido algunas de las imágenes astronómicas más espectaculares.

Incertidumbres

INTERFEROMETRÍA ÓPTICA

AUNQUE LA POSIBILIDAD TEÓRICA DE USAR LA INTERFEROMETRÍA ÓPTICA COMO HERRAMIENTA ASTROFÍSICA ES CONOCIDA DESDE MEDIADOS DEL SIGLO XIX, SOLO EN LA ACTUALIDAD ESTÁ EMPEZANDO A SER POSIBLE SU REALIZACIÓN PRÁCTICA.

Cuando dos ondas emitidas por una misma fuente cumplen una condición llamada coherencia, y se encuentran en un mismo lugar tras recorrer caminos diferentes, la intensidad de la onda resultante no es la suma de las intensidades individuales. Si la diferencia entre el camino recorrido por cada onda es un múltiplo de la longitud de onda, se obtiene un máximo de intensidad (interferencia constructiva). Si el desfase aumenta en media longitud de onda, la intensidad disminuye hasta un mínimo (interferencia destructiva). Un interferómetro astronómico no es más que un conjunto de telescopios preparados para realizar interferencia entre la luz captada por cada par de telescopios individuales. La interferometría es una técnica astrofísica

ca madura en el rango de las ondas de radio, pero todavía en desarrollo para los dominios del visible e infrarrojo dada las mayores precisiones requeridas (10.000 veces mayores).

Una de las aplicaciones más atractivas de la interferometría es la obtención de imágenes por síntesis de apertura. Si se realizan observaciones de un mismo objeto con muchos pares de telescopios (la recta que une cada par de telescopios es llamada línea de base; así se habla de observaciones con muchas líneas de base), es posible reconstruir una imagen del mismo, con una resolución equivalente a la que proporcionaría un telescopio con un diámetro igual a la mayor línea de base. La utilidad de la técnica se comprende al comparar las dimensiones de los mayores telescopios (~10 metros) con las de los interferómetros (~300 metros), es decir, la interferometría permite aumentar la resolución de las observaciones en un factor ~30. Lo que no aumenta, sin embargo, es la capacidad colectora de

luz, lo cual restringe su aplicación a objetos muy brillantes y compactos (estrellas gigantes, estrellas con discos protoplanetarios, núcleos activos de galaxias, etc).

Otra aplicación de la interferometría es el "nulling", que consiste en eliminar la luz procedente de un objeto brillante mediante un uso adecuado de la interferencia destructiva. Esto permite observar los objetos débiles cercanos, que quedarían enmascarados de otra forma. El campo donde se espera una contribución decisiva de las técnicas interferométricas de síntesis de imagen combinadas con nulling es el de la búsqueda de planetas extrasolares similares a la Tierra.





Pero, ¿quién inventó el telescopio?

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

LUDOVICO: [...] Ahí tiene, por ejemplo, ese extraño tubo que venden en Ámsterdam. [...] Un estuche de cuero verde y dos lentes, una así - dibuja una lente cóncava - y otra así - dibuja una lente convexa - [...] Con ese chisme se ven las cosas cinco veces más grandes. Ésa es su ciencia.

GALILEO: ¿Qué es lo que se ve cinco veces más grande?

LUDOVICO: Las torres de las iglesias, las palomas; todo lo que está lejos. [...]

GALILEO: ¿Y dice que el tubo tenía dos lentes? Hace un dibujo en un trozo de papel.

¿Tenía este aspecto? Ludovico asiente.

¿Cuándo se inventó eso?

LUDOVICO: Creo que sólo unos días antes de salir yo de Holanda, por lo menos no llevaba más tiempo en el mercado.

Así recrea Bertolt Brech en su *Vida de Galileo* la primera vez que el genio de Pisa conoce, de boca de su alumno Ludovico Marsili, la existencia de un instrumento "con el que las cosas se ven cinco veces más grandes", es decir, un telescopio, una de las piezas clave en la revolución científica del siglo XVII que cambiaría para siempre nuestra concepción del Universo.

En realidad, esta escena solo existió en la mente de Brech. El propio Galileo, en su "Mensajero de las estrellas" (Sidereus Nuncius, 1610) describe cómo escuchó hablar por primera vez, en mayo de 1609, de una llamada lente espía (el nombre de telescopio, del latín *tele-scopio* o "ver lejos", fue propuesto por el matemático Giovanni Demisiani en 1611) que había sido construida en Holanda: "Hace unos diez meses llegó a mis oídos que un tal Fleming había construido una lente espía capaz de que los objetos lejanos aparecieran como cercanos. [...]"

Unos pocos días después, el rumor me fue confirmado, a través de una carta, por el noble Parisino Jacques Badovere, lo cual me animó a dedicarme en cuerpo y alma a responder los interrogantes que me llevarán a la invención de un instrumento similar"

Y bien que lo logró (aunque no conocía los fundamentos ópticos). En el verano de 1609 ya tenía un *perspicillum* - nombre con el que lo bautizó originalmente - de ocho o nueve aumentos que presentó ante el senado Veneciano, muy interesado por sus aplicacio-

nes militares. La demostración tiene lugar en la cima del Campanile de la plaza de San Marco y los presentes quedan fascinados: la isla de Murano parecía estar sólo a 300 metros. Para octubre o noviembre ya tenía uno de veinte aumentos.

¿Varios inventores?

Pero Galileo no fue el único. Un astrónomo y óptico inglés llamado Thomas Harriot ya había observado la Luna a través de un telescopio de su propiedad en agosto de ese mismo año; y Simón Marius ya en 1608 había comenzado a construir telescopios y "descubrió" los satélites de Júpiter independientemente, y pocos días después de que lo hiciera Galileo. A estos nombres se suman los de Fabricius, Cristoph Scheiner, etc., que abrieron un periodo de descubrimientos que aún no ha terminado.

Pero aún no hemos respondido a la pregunta que da título a este texto: ¿quién inventó el telescopio? Pues difícil pregunta.

Sabemos que ya en la antigüedad eran conocidas las propiedades aumentadoras de algunas piedras preciosas. Incluso una leyenda tradicional japonesa describe cómo unos gigantes de pelo rojo y rubio saquean Japón con la ayuda de un tubo "a través del cual se puede ver a miles de kilómetros".

Pero las lentes más o menos como las conocemos ahora aparecieron a finales del siglo XIII al norte de Italia. Los artesanos venecianos desarrollaron las técnicas de corte y pulido adecuadas para la construcción de unos finos discos de vidrio convexos por ambas caras y con aspecto de lenteja *-lensis* en latín, de ahí el nombre de lente - Estas lentes montadas en un armazón de madera, cuero o metal, conformaron las primeras gafas. Cuando alguien tenía problemas de visión iba a la tienda de uno de estos artesanos y por prueba y error adquiría el par de gafas que mejor le iban, es decir, poco más o menos como ahora.

En la década de 1450 ya existían todos los elementos para construir un telescopio, combinando lentes convexas y cóncavas, pero no parece existir ninguna referencia histórica respecto a algo parecido hasta 1570, cuando el matemático y astrónomo inglés, Thomas Digges, escribió que "situando adecuadamente unos cristales proporcionales en ángulos convenientes puedo descubrir cosas muy alejadas..." Ya en 1578 otro colega inglés,

William Bourne, publicó *Inventos y aparatos*, donde aseguraba que "Para ver cualquier objeto pequeño a gran distancia se requiere la ayuda de dos cristales...".

Llegado este punto la cosa se dispersa aún mas. En 1589, un italiano llamado Gianbattista della Porta, escribía en su libro "Magia Naturalis" una descripción de lo que parece ser un telescopio y del que no se tiene constancia si alguna vez se construyó, y un año después, un oscuro holandés, Zacarías Jansen, parece afirmar lo mismo.

La fecha definitiva

Pero a la hora de la verdad fueron dos artesanos ópticos holandeses, Hans Lippershey (probablemente el "tal Fleming" al que Galileo hace referencia) y Jacob Meltius, los que independientemente y con muy pocos meses de diferencia presentaron en 1608 la solicitud de patente al gobierno holandés de un instrumento "que ve las cosas lejanas como cercanas". Curiosamente la patente fue rechazada porque su diseño era "demasiado fácil de copiar" como para ser considerado un instrumento militar. En cualquier caso, Meltius recibió una compensación económica y a Lippershey se le encargó la construcción de varios modelos.

El invento se propagó por toda Europa. En el verano de 1609, al mismo tiempo que Galileo presentaba "su telescopio", ya se podían adquirir aparatos similares en París, Milán, Padua y la propia Venecia, aunque probablemente ninguno válido para la observación astronómica.

En resumidas cuentas, no existe un único "inventor" del telescopio o al menos no se conoce, quizá porque no fue un invento científico, sino de artesanos, que siempre han permanecido fuera de las páginas de la historia. Algo que sigue ocurriendo, ya que detrás de un descubrimiento asombroso de un nuevo telescopio o de un satélite se encuentra toda una corte de ingenieros, mecánicos, ópticos, etc., que lo han hecho posible y que nunca aparecen en los medios de comunicación.

Aluminizado del telescopio de 1,5 m del OSN

Durante el pasado mes de julio, ocho integrantes de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico y los cuatro supervisores del Observatorio de Sierra Nevada han alumi-

nizado los espejos del T150. Periódicamente los espejos de los telescopios del OSN son realuminizados para mantenerlos dentro de unas condiciones óptimas de alta reflectancia y baja luz dispersada y así poder obtener imágenes y datos astronómicos de buena calidad.

Los espejos de los telescopios del OSN están formados por un sustrato sobre el que se ha depositado una fina capa de aluminio, de forma que la superficie espejada es la primera con la que se encuentra la luz. Hay dos parámetros del recubrimiento de aluminio que se utilizan para tomar la decisión de realuminizar: reflectancia y cantidad de luz dispersada.

La reflectancia nos informa de la cantidad de luz que llegará al detector, ya que por cada reflexión en un espejo se pierde una fracción de la luz incidente al telescopio y, por tanto, se buscan valores lo más altos posibles para este parámetro.

La medida de la luz dispersada informa de la cantidad de polvo y degradación que presenta el aluminio. Cuanta más luz difusa hay, menor es la eficiencia de la reflexión de la luz en ese espejo y la imagen astronómica pierde contraste.

Debido a que la estructura que sustenta los espejos es abierta, durante la observación astronómica están muy expuestos y con el transcurso del tiempo, el polvo, la humedad, etc., hacen que disminuya su reflec-

tancia, aumente la cantidad de luz dispersada y se vaya deteriorando el aluminio.

Un aluminizado, que devuelve a los espejos a sus condiciones nominales, consiste en eliminar por procedimientos químicos la capa de aluminio que tiene el espejo depositado sobre su superficie y sustituirla por una nueva depositada por evaporación de aluminio puro (al 99,99%) en condiciones de alto vacío. Este proceso se viene realizando en las instalaciones del telescopio 3,5 m del Observatorio de Calar Alto (CAHA).

Para minimizar el número de realuminizados de los espejos se realizan limpiezas in situ para mantenerlos lo más cerca posible de sus condiciones nominales. Como la fina capa de aluminio es muy delicada y se va dañando con cada limpieza, se ha de realuminizar cuando sea necesario.

El proceso para aluminizar se inicia desmontando los espejos primario, terciario y secundario del telescopio para ser embalados y transportados hasta el CAHA con seguridad. Una vez aluminizados y de vuelta al OSN, los espejos son montados en el telescopio y, por último, se realinean ópticamente. Todo este procedimiento es complejo, delicado y arriesgado, por lo que se sigue un estricto protocolo.

M^a Concepción Cárdenas (IAA).



Espejos primario y secundario antes y después del aluminizado.

Tesis doctorales en el IAA

Obtención del ozono atmosférico de las medidas de MIPAS/ENVISAT.

Realización: Sergio Gil López
Dirección: Manuel López Puertas
Fecha de lectura: 31 marzo 2006
Universidad de Granada

Aplicación de dispositivos FPGA a la instrumentación espacial: Los instrumentos GIADA y OSIRIS de la misión Rosetta

Realización: Antonio López Jiménez
Dirección: José Juan López Moreno y Rafael Rodrigo Montero
Fecha de lectura: 9 junio 2006
Universidad de Granada

Variación de los observables no adiabáticos en el diagrama HR y estudio de la influencia de la rotación

Realización: Ricardo Casas del Castillo
Dirección: Rafael Garrido Haba, Andrés Moya Bedón, Juan Carlos Suárez Yanes
Fecha de lectura: 28 abril 2006
Universidad de Granada

Propiedades del gas neutro en galaxias aisladas

Realización: Daniel Espada Fernández
Dirección: Lourdes Verdes-Montenegro
Fecha de lectura: 23 junio 2006
Universidad de Granada

El Problema de la Energía Oscura en la Nueva Cosmología Estándar

Realización: José Antonio Jiménez Madrid.
Dirección: Pedro F. González-Díaz y Víctor Aldaya
Fecha de lectura: 26 mayo 2006
Universidad de Granada

Modelos energéticos, químicos y dinámicos de la alta atmósfera marciana.

Realización: Francisco González Galindo
Dirección: Miguel A. López Valverde
Fecha de lectura: 2 junio 2006
Universidad de Granada

Resumen en pdf:

Imágenes del 25 aniversario del Observatorio de Sierra Nevada



OSN 25 ANIVERSARIO DEL OBSERVATORIO DE SIERRA NEVADA Septiembre de 2009



¡25!



INSTITUTO DE ASTRÓNOMIA DE ANDALUCÍA
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
IAA-CSIC

<http://www.iaa.csic.es>



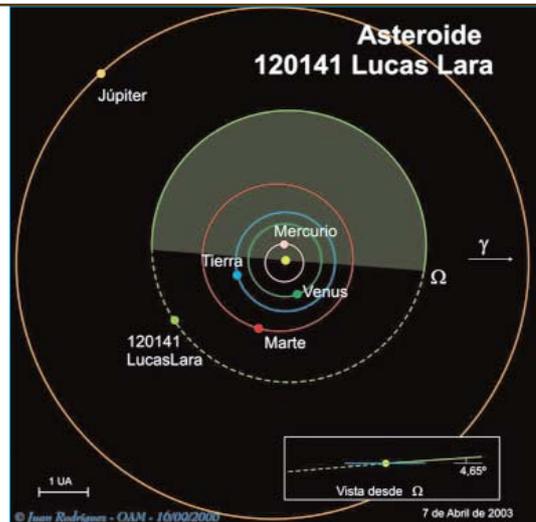
Con motivo del 25 aniversario del Observatorio de Sierra Nevada, se han organizado varias actividades: arriba vemos el dibujo ganador del concurso escolar de dibujo, realizado por Beatriz Zagaza Asensio, del CEIP García Lorca (Granada); a la izquierda la portada de la revista dedicada al OSN y a la derecha dos imágenes de las visitas guiadas al observatorio, que contaron un gran éxito de asistencia.

ASTEROIDE 120141 LUCAS LARA



EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MALLORCA (OAM) ASIGNÓ A UN ASTEROIDE DESCUBIERTO EN 2003 EL NOMBRE "ASTEROIDE 120141 LUCASLARA", COMO DISTINCIÓN A LA LABOR PROFESIONAL Y HUMANA DE NUESTRO COMPAÑERO. DESDE AQUÍ, NUESTRO AGRADECIMIENTO AL OAM POR TAN EMOCIONANTE HOMENAJE.

Imagen: órbita del asteroide LucasLara. Fuente: Juan Rodríguez (OAM).
 Información sobre el asteroide en:
http://www.mallorcaplanetarium.com/asteroides_120141.htm



AGENDA

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

<http://www.iaa.es/conferencias/>

FECHA	CONFERENCIANTE	TEMA O TÍTULO TENTATIVO
26 de octubre	Antxon Alberdi (IAA-CSIC)	<i>Viaje al centro de la Vía Láctea</i>
30 de noviembre	Joao Alves (CAHA)	<i>El Observatorio de Calar Alto (CAHA)</i>
21 de diciembre	Emilio J. Alfaro (IAA-CSIC)	<i>Bailando con números</i>

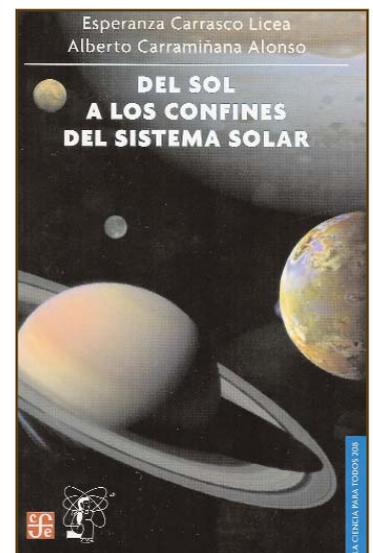
LIBROS DE DIVULGACIÓN

Del Sol a los confines del Sistema Solar. Esperanza Carrasco y Alberto Carramiñana. Editorial: Fondo de Cultura Económica, 2005. Colección: La Ciencia para todos, nº 208.

COMENTARIO DE EMILIO J. ALFARO (IAA-CSIC). Alguien dijo alguna vez que no hay nada más viejo que el periódico del día anterior. Existen, sin embargo, pequeñas islas con voluntad de permanencia que nos traen noticias previamente degustadas, como si le hubiéramos dado el periódico a un buen amigo y le pidiéramos que nos lo contara.

Esperanza y Alberto forman parte de esta estirpe de relatores a quienes muchos lectores habrán esperado cada semana en el periódico mexicano "Síntesis" para compartir su conocimiento y pasión por la Astronomía. Ahora, el "Fondo de Cultura Económica" ha recopilado sus columnas sobre el Sistema Solar en un mismo volumen de su colección "La Ciencia para todos".

El libro contiene 29 capítulos y un epílogo donde se apunta la existencia de otros sistemas planetarios orbitando alrededor de otras estrellas. Desde el nacimiento de la era de los viajes espaciales, el estudio de nuestro Sistema Solar ha sufrido continuas convulsiones en las que todavía estamos inmersos. No es lo mismo observar Marte a través de un buen telescopio que mandar un robot a la superficie marciana para que realice medidas "in situ". Otras misiones espaciales se han posado, orbitado o acercado a la mayoría de los cuerpos mayores del Sistema Solar y a un gran número de cuerpos pequeños. Esto ha cambiado completamente nuestra visión del sistema planetario donde se encuentra la Tierra o, mejor dicho, no tenemos por ahora una única visión del Sistema Solar, sino un conjunto de piezas cada vez más numerosas y detalladas de un rompecabezas, cuyo manual de uso tenemos que descubrir, y posteriormente armar. De todo esto trata este libro, pero con un tono singular. Este libro nos ofrece un punto de vista razonado y personal, perfilado por dos astrónomos del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Puebla (México) que aúnan una importante labor investigadora y académica con la pasión por difundir la Astronomía y una clara habilidad para realizar esta tarea.



CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden obtener más información en la página Web del instituto o contactando con Cristina Torrededia (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: ctr@iaa.es).