

# I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

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

FEBRERO DE 2012, NÚMERO 36

## Púlsares

Espectroscopía (II)

Un universo acelerado

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

Imagen: John Rowe Animations



Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Miguel Abril, Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle. Comité asesor: Rafael Garrido, José Juan López Moreno, Jesús Maíz y José Vílchez. 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.

Instituto de Astrofísica de Andalucía  
c/ Camino Bajo de Huétor 50, 18008 Granada. Tlf: 958121811 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

Depósito legal: GR-605/2000  
ISSN: 1576-5598

# SUMARIO

## REPORTAJES

Púlsares: faros para navegantes cósmicos ...2

Espectroscopía: leyendo entre líneas (II) ...7

Un universo acelerado...10

CIENCIA EN HISTORIAS. Margaret Burbidge ...13

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Hola, soy Nikola...14

EL "MOBY DICK" DE... Cristina Rodríguez López (IAA-CSIC) ...16

ACTUALIDAD ...17

ENTRE BASTIDORES ...21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. La Vía Láctea...23

AGENDA/RECOMENDADOS ...24

Imagen: ESO/L. Calçada

## CÁLCULOS MUY MUY PRECISOS

Los púlsares constituyen un hito en precisión para la determinación de distintos parámetros: por ejemplo, puede medirse la masa de una estrella de neutrones con un error de diezmilésimas de masas solares o, en el caso de un sistema binario, la de su estrella compañera con un error de milésimas de masas solares. El periodo de rotación se mide con una precisión de attosegundos (la trillonésima parte de un segundo) y, si se detectara un púlsar en las proximidades de Sgra\*, el agujero negro supermasivo del centro de la Vía Láctea, podría estimarse su masa con un error de unas pocas masas solares (en la actualidad el error oscila entre las veinte mil y treinta mil masas solares).



# Púlsares: los faros para navegantes cósmicos

**LOS PÚLSARES SE ESTÁN REVELANDO COMO OBJETOS FASCINANTES, CUYO ESTUDIO ABARCA DESDE LA FÍSICA ESTELAR HASTA LA FÍSICA GRAVITACIONAL O LA ELECTRODINÁMICA CUÁNTICA**

Por Antxon Alberdi (IAA-CSIC)

**EL DESCUBRIMIENTO DE LOS PÚLSARES EN EL AÑO 1967 SUPUSO EL NACIMIENTO DE UNA NUEVA ERA NO SOLO EN ASTROFÍSICA**, sino también en física fundamental. Como desarrollaremos a lo largo de este artículo, los púlsares son objetos con una densidad enorme, donde la materia está sometida a unas condiciones extremas. También constituyen relojes extremadamente estables y son herra-

mientas muy útiles para la investigación en muchas ramas de la astrofísica. Así, a lo largo de estos cuarenta y cinco años, los púlsares han servido como fuente de información única para estudios sobre el interior de las estrellas de neutrones, la estructura de la Vía Láctea, el medio interestelar, la física y la evolución estelar, la física gravitacional o la electrodinámica cuántica.

## ¿Qué son los púlsares?

Los púlsares son estrellas de neutrones en rotación, altamente magnetizadas, que emiten un cono de radiación muy estrecho a lo largo de su eje magnético. Debido a ello, únicamente detectamos su radiación en una fracción muy pequeña de su periodo de rotación, cuando el cono de radiación intercepta la dirección del observador, y se comportan de forma parecida a un faro. Los periodos típicos oscilan entre 1,4 milisegundos y 8,5 segundos de tiempo, y en todos los casos se van relajando con el tiempo. Su campo magnético característico oscila entre valores de cien millones de gauss para los púlsares con periodos de milisegundos hasta el billón de gauss para los

de periodos de segundos -como comparación, el campo magnético del Sol oscila entre uno y dos gauss de media-. Pueden llegar incluso a valores de miles de billones de gauss en el caso de unos púlsares muy peculiares, los magnetares. Aunque los púlsares fueron inicialmente detectados en ondas de radio, en los últimos años han sido detectados también a altas energías, lo que ha convertido el estudio de estos objetos en una ciencia multirrangó. De hecho, podríamos decir que su definición ha ido evolucionando de considerarse “una fuente astrofísica que emite radiación pulsada en longitudes de onda de radio” a considerarse “una fuente astrofísica que emite radiación pulsada debido a su rotación y cuya emisión tiene su origen en la energía rotacional del sistema”.

Los púlsares nacen en las explosiones de supernova de estrellas masivas. Se trata de objetos extremadamente compactos, que pueden contener el equivalente a toda la materia del Sistema Solar en una esfera de veinte kilómetros de diámetro. La estructura de las estrellas de neutrones es muy compleja, con densidades que aumentan desde una tonelada por centímetro cúbico en su superficie hasta los cientos de millones de toneladas por centímetro cuadrado en su centro. Las capas más exteriores constituyen un sólido rígido con una estructura cristalina formada fundamentalmente por núcleos de hierro. En sus capas más internas están formados por una mezcla de material superfluido (ver recuadro inferior) y superconductor, formado esencialmente

La **superfluidez** es un estado de la materia caracterizado por la ausencia de viscosidad (así, en un circuito cerrado, la materia en este estado fluiría interminablemente sin fricción).

La **superconductividad** es la capacidad que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones.

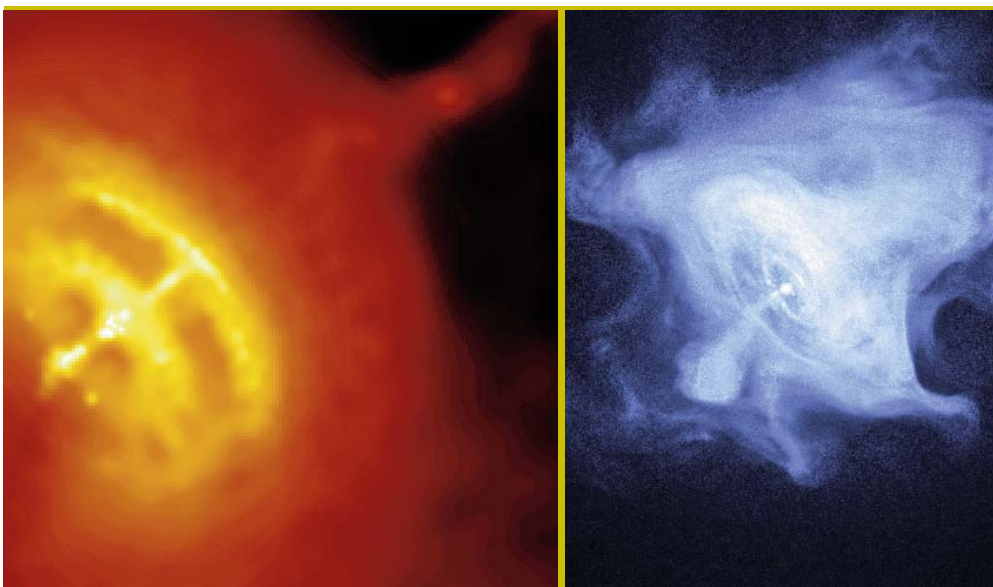


Imagen en rayos X de dos de los dos púlsares más conocidos: a la izquierda, el púlsar de Vela, que muestra claramente un chorro de emisión, y a la derecha el púlsar del Cangrejo, producto de la supernova SN 1054 documentada por astrónomos chinos, japoneses y árabes. Fuente: Chandra (NASA).

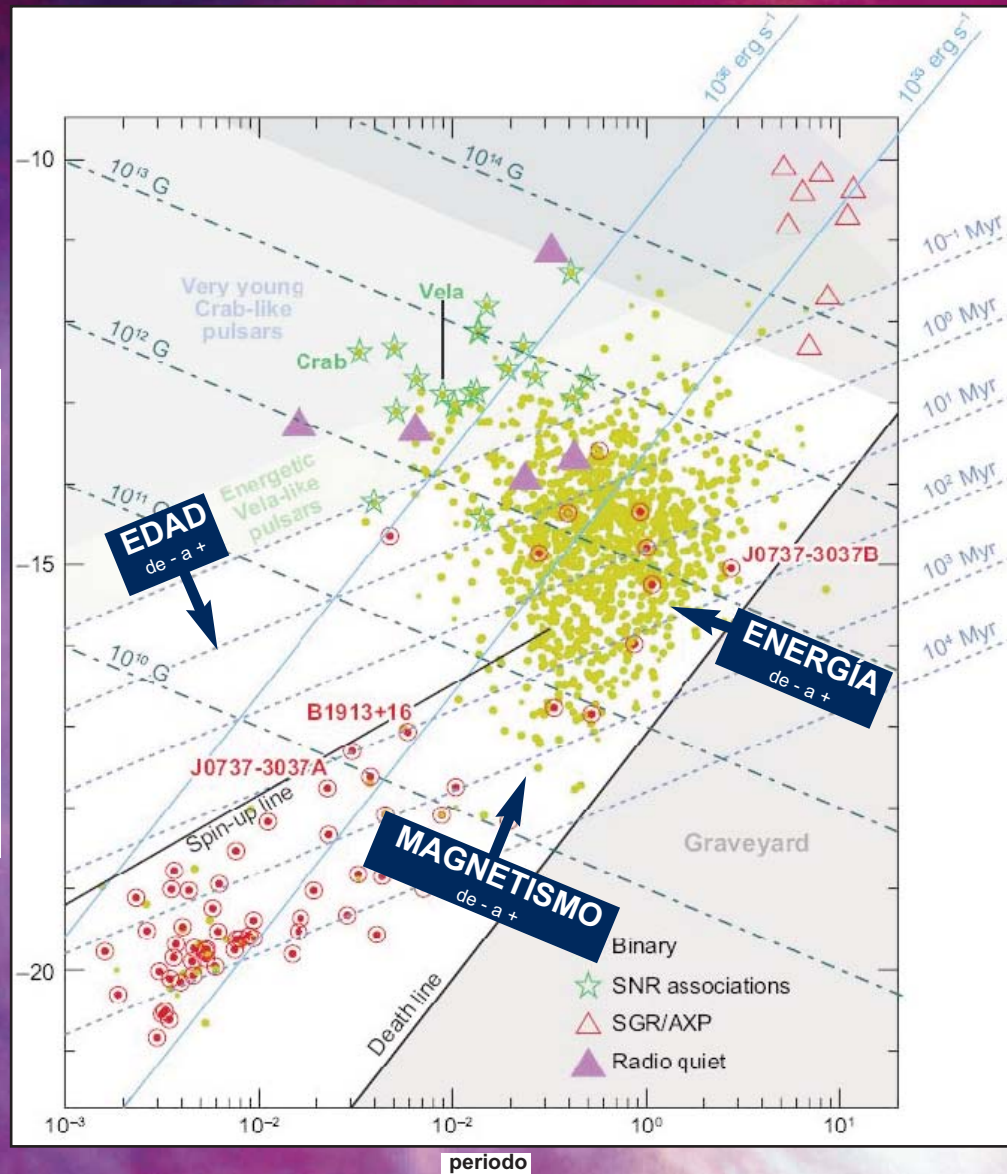
# EVOLUCIÓN Y POBLACIÓN DE LOS PÚLSARES

La emisión de un púlsar, que es energía asociada a su campo magnético, proviene de la energía rotacional; por ello su periodo de rotación se va relajando con el tiempo. Observando con regularidad un púlsar pueden determinarse con gran precisión los valores de su periodo y ralentización del mismo. Y todos los púlsares pueden ubicarse en un sencillo gráfico en el que se representan ambos valores en los ejes de coordenadas (imagen). Usando aproximaciones físicas muy sencillas, podemos acotar varios parámetros que caracterizan la física de los púlsares mediante la determinación observacional de su periodo y la relajación del mismo, como la intensidad del campo magnético, la edad y la luminosidad total.

En la imagen se representan todos los púlsares en un esquema bidimensional en función del periodo y su variación. La gráfica muestra más de dos mil radio púlsares, con periodos comprendidos entre 1,40 milisegundos (PSR J1748-2446ad) hasta 8,5 segundos (PSR J2144-3933). De ellos, ciento setenta son púlsares que pertenecen a sistemas binarios, con periodos orbitales para el sistema que varían entre noventa y cinco minutos (PSR J0024-7204R) y algo más de cinco (PSR J1638-4725). Las estrellas compañeras son estrellas de la secuencia principal, enanas blancas, estrellas de neutrones o planetas. Se muestra también un púlsar doble (PSR J0737-3037A/B).

En la gráfica se representan líneas diagonales de campo magnético constante, desde  $10^{10}$  gauss hasta  $10^{13}$  gauss e incrementándose hacia la parte superior, líneas de edad constante (desde cien mil años hasta mil millones de años, incrementándose hacia la parte inferior) y de potencia emitida constante (de  $10^{33}$  a  $10^{36}$  ergios por segundo, incrementándose hacia la izquierda).

variación del periodo (segundos por segundo)



## ¿Qué conclusiones se extraen de la gráfica?

- ▀ La **mayoría de los púlsares** se encuentran en torno a periodos de 0,6 segundos y variación de  $10^{-15}$  segundos por segundo, con edades de entre uno y diez millones de años y campos magnéticos del orden de  $10^{12}$  gauss.
- ▀ Los **púlsares más jóvenes** se sitúan en la parte superior de la figura: presentan edades inferiores a cien mil años, campos magnéticos más intensos (de alrededor de  $10^{13}$  gauss) y variación del orden de  $10^{-12}$  segundos por segundo, lo que significa que ralentizan su periodo más rápidamente.
- ▀ Los **púlsares más viejos** se sitúan en la parte inferior izquierda de la figura: presentan edades superiores a cien millones

de años, campos magnéticos inferiores a  $10^{10}$  gauss, periodos del orden del milisegundo de tiempo y variaciones inferiores a  $10^{-18}$  segundos por segundo, lo que indica que disminuyen muy lentamente. Corresponden a la población más vieja de todos los púlsares conocidos.

▀ Los **magnetares** (puede verse un artículo sobre ellos en el número 26 de esta revista), situados en la parte superior derecha, corresponden a estrellas de neutrones que rotan lentamente (periodos de dos a doce segundos), muestran variaciones entre  $10^{-13}$  y  $10^{-10}$  segundos por segundo, campos magnéticos superiores a  $10^{14}$  gauss y son, además, muy jóvenes. Los magnetares no se han detectado en radio.



## VIDA Y MUERTE DE LOS PÚLSARES

Podríamos pensar en una posible evolución en la vida de los púlsares: se considera que los púlsares nacen con un rango de distribución de periodos de entre 14 y 140 milisegundos de tiempo. Con la edad, van evolucionando hacia la parte central del diagrama (periodos típicos de 600 milisegundos), donde pasan la mayor parte de su vida -puede observarse que, en esa evolución, pasan de emitir una energía de  $10^{36}$  ergios/segundo hasta valores de  $10^{33}$  ergios/segundo. Como no se conocen radio púlsares con un periodo de giro por encima de los ocho segundos, se cree que una estrella de neutrones deja de funcionar como púlsar cuando su periodo llega a este valor máximo, que se alcanza cuando el objeto alcanza los diez millones de años de edad. El motivo de la "muerte" reside en que, al decelerar la rotación, el campo eléctrico generado pierde fuerza y, o bien ya no puede arrancar partículas cargadas o es incapaz de acelerarlas para producir radiación.

Quedarían fuera de ese esquema los púlsares de periodo de milisegundos, mucho más viejos, que parecen corresponder a "púlsares reciclados", procedentes de un púlsar binario muerto. Los magnetares no encajan tampoco en este esquema porque la emisión no parece surgir de la pérdida de energía rotacional, sino de la energía asociada con los enormes campos magnéticos presentes en este tipo de estrellas. La asociación entre los magnetares y los remanentes de supernova parece confirmar la juventud de estas fuentes. Los magnetares emiten fundamentalmente en altas energías, rayos X y gamma; el hecho de que no se detecten en radio parece estar relacionado con el campo magnético tan intenso, que impediría la formación del plasma de partículas cargadas que emite en estas longitudes de onda.

por neutrones, con una pequeña proporción de protones y electrones.

Como se trata de imanes intensísimos en rotación, los púlsares emiten radiación electromagnética asociada al campo magnético. Ello supone que parte de la energía de rotación se transforma en radiación electromagnética, lo que produce una disminución progresiva en la velocidad de rotación y, por lo tanto, un incremento en el periodo de rotación. Existe una causa adicional de deceleración: el flujo de partículas relativistas que emana de las regiones polares (denominado "viento del púlsar") ejerce un frenado sobre la rotación.

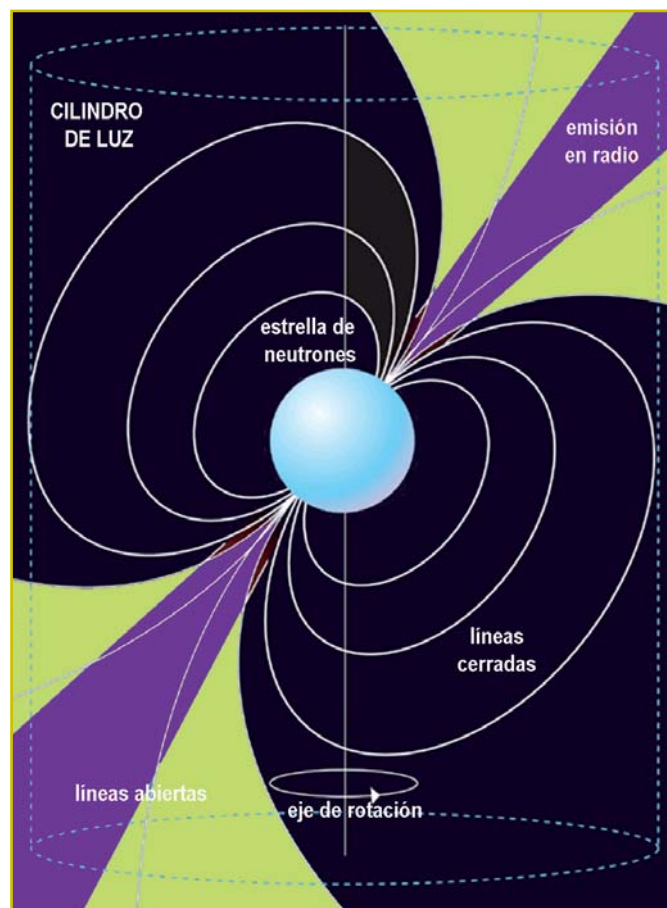
Aunque tan solo una pequeña fracción (una diezmilésima o una millonésima) de la energía rotacional perdida debido al aumento del periodo se transforma en emisión en radio, la mayoría de los púlsares han sido detectados en esta longitud de onda -lo que se debe, en buena medida, a la falta de capacidad tecnológica para detectarlos en rayos X o gamma (algo que ha cambiado en los últimos años con observatorios como Fermi o Chandra).

Es importante reseñar que un púlsar viene esencialmente caracterizado por su periodo de rotación y por la variación (ralentización) del mismo con el tiempo, lo que se conoce en inglés como el *spin down rate*. Los valores típicos de variación del periodo oscilan entre  $10^{-12}$  segundos por segundo para los púlsares más jóvenes y  $10^{-21}$  segundos por segundo para los más viejos (es decir, para que el periodo de un púlsar viejo se retrase un segundo han de transcurrir más de treinta billones de años).

### ¿Cómo emiten luz los púlsares?

La luminosidad que emite un púlsar en cada periodo es muy pequeña debido a que la región emisora es de tamaño reducido y a que se encuentran muy distantes. Pese al tiempo que llevamos investigando estos objetos, no se comprende completamente cuál es su mecanismo de emisión, pero sí se tienen claras algunas ideas básicas.

La estrella de neutrones magnetizada y en rotación genera un campo eléctrico



*Aunque solo una pequeña fracción de la energía rotacional perdida se transforma en emisión en radio, la mayoría de los púlsares se han detectado en esta longitud de onda*

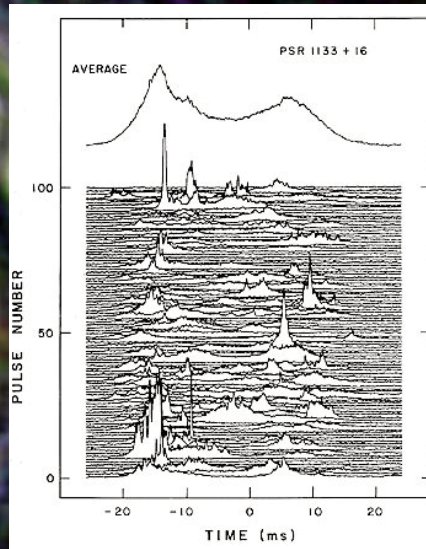
que es lo suficientemente intenso (la fuerza asociada al campo eléctrico es un billón de veces más intensa que la fuerza gravitatoria) como para arrancar partículas cargadas -electrones- en algunas regiones de la superficie estelar. El campo eléctrico acelera estas partículas, que viajan siguiendo las líneas de campo magnético y pueden alcanzar velocidades próximas a la de la luz (relativistas) en apenas unos centímetros de viaje. Estas partículas cargadas y aceleradas emiten fotones de rayos gamma que, debido a la interacción con el campo magnético y por el proceso de creación de pares, se convierten en pares de electrones y positrones. Estos últimos son nuevamente acelerados y, a los pocos centímetros, vuelven a producir rayos gamma, y así sucesivamente. De este modo, la liberación de electrones de la superficie produce una cascada de partículas que va "rellenando" la magnetosfera.



## RELOJES DE ALTÍSIMA PRECISIÓN

Si estudiáramos la radiación emitida por un púlsar a lo largo de un periodo de rotación, tendríamos información sobre los procesos que afectan al plasma de la magnetosfera en un instante de tiempo dado. Sin embargo, existe un problema: si comparamos varios periodos, observamos que los pulsos de emisión son muy variables e incluso distintos (imagen), debido a que se superponen los propios mecanismos de emisión de radiación y los efectos de propagación en el medio interestelar. Pero si “sumamos” el perfil de emisión a lo largo de numerosos periodos, recuperaremos el perfil intrínseco con gran nitidez y comprobáramos que este “pulso promedio” es increíblemente estable en el tiempo (¡son relojes muchísimo más precisos que los atómicos!). Además, la observación simultánea a varias frecuencias permite distinguir claramente entre el perfil intrínseco de emisión y los efectos asociados con la dispersión durante su transmisión, siempre y cuando la emisión sea lo suficientemente intensa. De hecho, midiendo la diferencia del tiempo de llegada de la señal del púlsar a dos frecuencias (lo que se denomina *pulsar timing*), podríamos caracterizar el medio interestelar.

Cada día se van detectando más púlsares como fuentes de alta energía y, de hecho, emiten la mayor parte de la radiación en estos rangos. En particular, se han detectado algunas fuentes con emisión pulsada en el óptico y en rayos gamma, y un número elevado de fuentes en rayos X. La emisión en óptico, rayos X y rayos gamma está relacionada entre sí, pero no necesariamente con la emisión en radio.

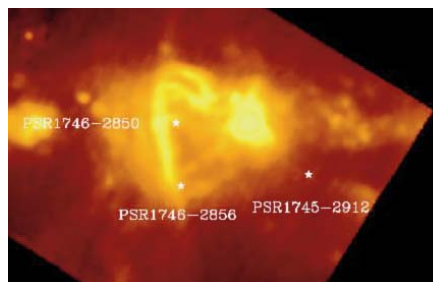


Impresión artística de la magnetosfera que rodea un púlsar. Fuente: W. Becker/MPE

El campo magnético hace que el plasma denso formado por estas partículas cargadas “arrastradas” rote simultáneamente con el púlsar. Sin embargo, esta rotación simultánea se extiende tan solo hasta una distancia de la estrella tal que la velocidad lineal de las partículas se equipara a la velocidad de la luz. Esta distancia define el denominado cilindro de luz, que divide las líneas de campo magnético en dos familias: abiertas y cerradas (imagen pág. 5). El plasma atrapado en las líneas de campo cerradas rotará simultáneamente con el púlsar para siempre; al contrario, el plasma que sigue las líneas de campo abiertas alcanzará velocidades relativistas y podrá escapar de la magnetosfera, creando el cono de radiación a una distancia de unos cientos de kilómetros de la superficie estelar. Este cono es tanto más estrecho cuanto más relativistas sean las partículas emisoras; por ello, el observador detectará la radiación únicamente cuando apunta directamente hacia él.

### Púlsares: laboratorios de física

Los púlsares constituyen excelentes laboratorios de física general y, en particular, de física gravitacional y relatividad general. Esta idea se reforzó con el



Púlsares hallados en un entorno de 150 años luz de SgrA\*.

descubrimiento en el año 2003 del primer púlsar binario, o púlsar doble, que fue el sistema J0737-3039A-B. Se trata del sistema binario más relativista jamás estudiado, combinado además con eclipses entre los dos objetos y una interacción muy fuerte entre ambos. A través de un seguimiento cuidadoso de los periodos de ambos, y de los tiempos de demora de llegada de la señal a distintas frecuencias (*pulsar timing*) a lo largo del periodo orbital, se han podido determinar con una precisión inusitada los parámetros físicos del sistema y obtener el mejor test observacional nunca realizado de la teoría de la relatividad general. En efecto, además de los parámetros keplerianos característicos de la órbita (periodo del sistema binario, semieje mayor de la órbita, excentricidad, longitud y época del periastró) se

han podido medir experimentalmente los parámetros post keplerianos (el retardo de Shapiro asociado con el paso de la luz cerca de un objeto masivo, el corrimiento al rojo gravitacional asociado a campos gravitacionales muy intensos, el decaimiento y la precesión de la órbita) del púlsar doble y compararlos con las predicciones teóricas. El acuerdo es mejor que una parte en diez mil para cuatro de estos parámetros, lo que constituye un resultado excepcional.

Y uno de los grandes retos de la investigación en púlsares es la búsqueda de un púlsar en la vecindad de SgrA\*, el agujero negro en el centro de la Vía Láctea. Un púlsar binario con un agujero negro como compañero proporcionaría el escenario perfecto para los estudios de gravitación relativista. Y si ese agujero negro fuera SgrA\*, a través de las medidas ultraprecisas del tiempo de llegada de la señal del púlsar se podría determinar la masa de SgrA\* con una precisión de varias masas solares (a día de hoy, el margen de error oscila entre las veinte mil y las treinta mil masas solares) y medir su spin (momento angular) con una precisión equivalente. Este es sin duda uno de los grandes retos de la astrofísica para los próximos años.

# Leyendo entre líneas (II)

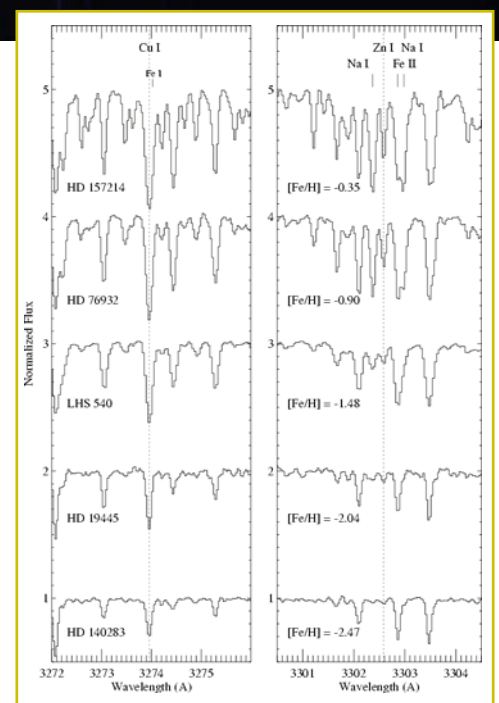
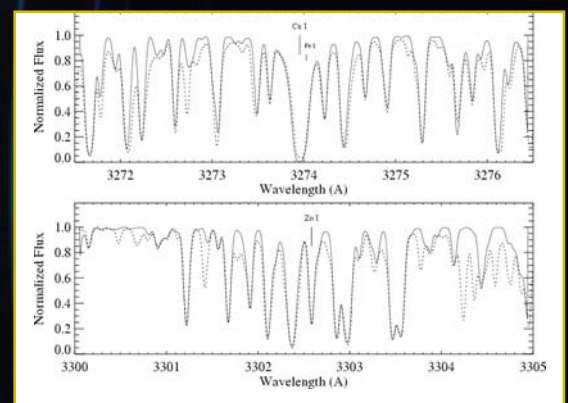
**EN LOS ESPECTROS DE LOS OBJETOS ASTRONÓMICOS SE HALLAN LAS CLAVES PARA DESENTRAÑAR ALGUNOS DE LOS MISTERIOS MÁS FASCINANTES DEL UNIVERSO**

Por Montse Villar (IAA-CSIC)

EN EL NÚMERO ANTERIOR PUBLICAMOS el artículo *Espectroscopía (I): leyendo entre líneas*, en el que repasamos algunas nociones básicas sobre la naturaleza y el comportamiento de la radiación y la materia que nos permiten entender dos aspectos fundamentales en los que se basa la aplicación de la espectroscopía en la investigación astronómica. Por un lado, el efecto Doppler, que establece que la longitud de onda (y por tanto, el color) de la luz emitida por una fuente luminosa depende de su movimiento con respecto al observador. Así, su espectro estará desplazado al azul o al rojo dependiendo de si se acerca o se aleja. Por otro, debido a la estructura interna

del átomo y a la disposición de los electrones alrededor del núcleo, estos absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas. Así, cada especie atómica tiene un espectro único que podemos identificar a partir de las líneas de emisión o de absorción que aparecen en el espectro de los objetos astronómicos.

En las nociones anteriores radican las bases para estudiar los movimientos de los cuerpos celestes y determinar su composición. En el presente artículo pondremos en práctica estos conocimientos para descubrir agujeros negros en el centro de otras galaxias, planetas extrasolares, moléculas en el medio interestelar y las estrellas más viejas de la Vía Láctea.



Sobre estas líneas, espectros de estrellas pobres en elementos pesados (estrellas muy viejas). En la imagen superior, espectro del Sol -las líneas son más numerosas y profundas (Ref. *Bihain et al. A&A*)

## 1 LA ESTRELLA QUE NO DEBERÍA EXISTIR

Este es el intrigante título que encabezó una noticia publicada en prensa a principios de septiembre de 2011. Se trata de la estrella de nombre impronunciable SDSS J102915+172927 perteneciente a nuestra Vía Láctea. Tiene una masa algo menor que la del Sol y una composición química difícil de explicar.

Tras el Big Bang, el universo estaba compuesto por hidrógeno, helio y pequeñas trazas de litio. Puesto que prácticamente todos los demás elementos se formaron a partir de reacciones nucleares ocurridas en los interiores estelares, la primera generación de estrellas no pudo contener elementos más pesados al nacer. Estos sí estarán presentes en generaciones posteriores. Estas estrellas nacieron en nubes de gas enriquecidas con los elementos fabricados en el interior de las generaciones anteriores y posteriormente expulsados al medio interestelar. Así, una forma de buscar las estrellas más viejas consiste precisamente en identificar aquellas que tengan abundancias extremadamente

pequeñas de elementos más pesados que el helio, como el oxígeno, el nitrógeno o el hierro.

¿Cómo hacemos esto? Como los elementos químicos presentes en la atmósfera de una estrella dejan su impronta en el espectro en forma de líneas de absorción, su identificación y medida permiten determinar qué átomos e iones están presentes en la atmósfera de la estrella y sus abundancias.

Fijémonos en la figura de la derecha. De arriba abajo se muestran los espectros de cinco estrellas. A la izquierda se aprecian las líneas de absorción de los átomos de cobre (CuI) y hierro (FeI). A la derecha se observan las líneas del sodio (NaI), el cinc (ZnI) y los iones de hierro (FeII). Con estas y otras líneas determinamos las abundancias de los elementos químicos comparadas con las del Sol, que suele usarse como referencia. A medida que descendemos en la figura, vemos que las líneas de absorción se hacen menos prominentes. Esto nos dice que las estrellas son más y más pobres en





elementos pesados -en contraposición con lo numerosas y profundas que son las líneas de absorción en el espectro del Sol que se muestra en la imagen superior-.

Con esta misma técnica se determinó que la proporción de elementos pesados en la estre-

lla SDSS J102915+172927 es al menos veinte mil veces menor que la del Sol. Según las teorías más aceptadas sobre formación estelar, esta estrella no debería existir. La nube a partir de la que se formó debió tener unas abundancias similarmente extremas.

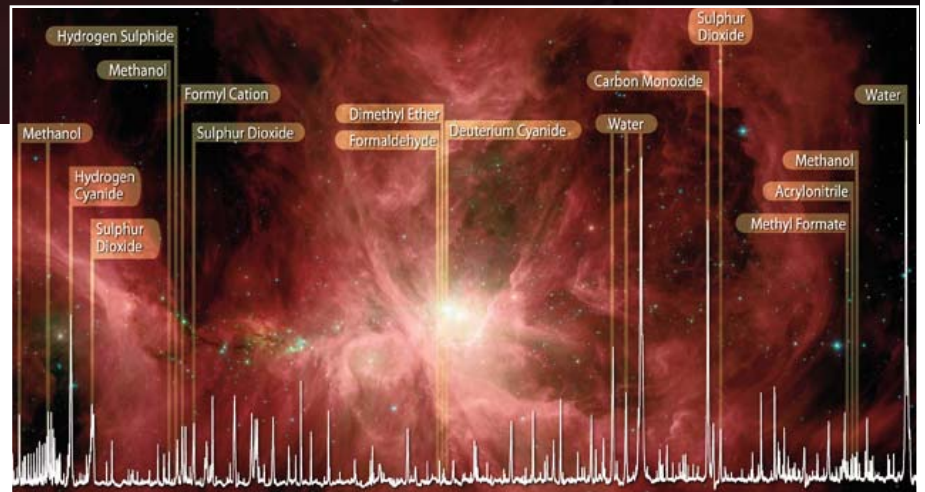
Según los modelos, estaría demasiado caliente para fragmentarse, colapsar y formar estrellas tan pequeñas. ¿Cómo se explica la existencia de esta estrella?

¡Un misterio sin resolver acerca de una de las estrellas más viejas conocidas!

## 2 ¿QUÉ MOLÉCULAS HAY EN EL ESPACIO INTERESTELAR?

El espacio entre las estrellas no está vacío. Existen nubes de gas y polvo que constituyen el llamado medio interestelar, gran parte del cual se encuentra en forma de moléculas. Aquí se forman las estrellas y los planetas. Además, se trata de verdaderos laboratorios químicos donde se sintetizan moléculas en numerosas reacciones químicas. Por todo ello, existe un enorme interés por entender de qué están compuestas estas nubes, qué reacciones químicas se producen en ellas, los mecanismos que las desencadenan o en qué condiciones físicas se producen.

Hace unos sesenta y cinco años que se detectaron las primeras moléculas en el medio interestelar -CH, CH+ y CN-, formadas por dos átomos cada una. Hoy en día encontramos moléculas en cualquier dirección que miremos, siendo la más abundante la de hidrógeno (H<sub>2</sub>). Incluso en los objetos más distantes conocidos, como algunos cuásares, se ha encontrado monóxido de carbono (CO). Se conocen cerca de ciento veinte especies moleculares en el espacio, algunas muy complejas



El espectro de la nebulosa de Orión muestra la existencia de gran variedad de moléculas, que podemos identificar a partir de sus líneas de emisión en el infrarrojo lejano. Fue obtenido por el telescopio espacial Herschel en marzo de 2010.

con más de cien átomos.

¿Cómo detectamos e identificamos las moléculas del medio interestelar? Estas, al igual que los átomos, emiten y absorben luz con longitudes de onda (es decir, energías) muy concretas. Por ello cada especie molecular tiene también su propia "huella" que nos permite identificarla a partir de las líneas espectrales de emisión o absorción, dependiendo de dónde y cómo se generen. La emisión de la mayoría de las moléculas del medio

interestelar se produce fundamentalmente en los rangos espectrales infrarrojo y radio. Dado que la atmósfera absorbe la radiación infrarroja, los telescopios espaciales infrarrojos han impulsado la astrofísica molecular de manera espectacular. Como ejemplo, en la imagen se muestra el espectro de la nebulosa de Orión. La multitud de líneas de emisión revela la presencia de numerosas especies moleculares como el agua, H<sub>2</sub>O.

## 3

### UN OBJETO DE MASA JOVIANA COMPAÑERO DE UNA ESTRELLA DE TIPO SOLAR



Este aburrido título abría el artículo publicado en 1995 en la prestigiosa revista *Nature* donde se presentaba un descubrimiento de gran importancia. Así comenzaba:

*"La presencia de un objeto compañero de masa similar a la de Júpiter de la estrella 51 Pegasi es deducida a partir de observaciones de variaciones periódicas en la velocidad radial de la estrella. El compañero se encuentra a tan solo unos ocho millones de kilómetros de la estrella y estaría dentro de la órbita de Mercurio en nuestro Sistema Solar. Este podría ser un planeta gaseoso gigante [...]"*.

Se trata del primer planeta externo a nues-

tro Sistema Solar (exoplaneta) que orbita alrededor de una estrella de la secuencia principal. Este no fue el primer exoplaneta encontrado, pero la importancia del descubrimiento radica en que 51 Pegasi es una estrella de tipo solar. Crecía así el optimismo en la búsqueda de planetas orbitando alrededor de estrellas similares al Sol e, indirectamente, de planetas parecidos a la Tierra.

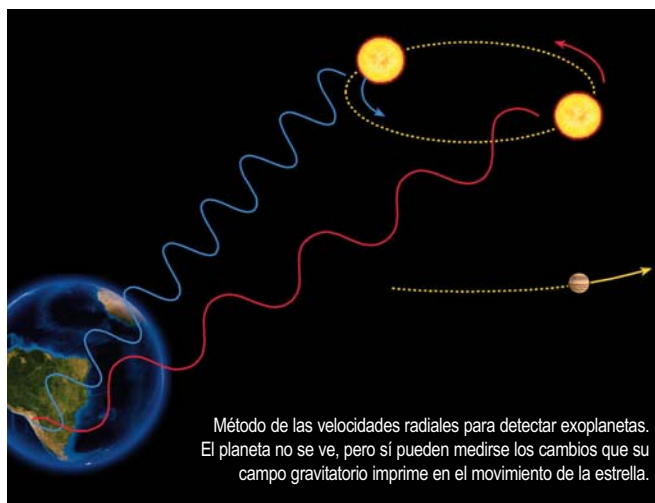
Desde entonces se han descubierto más de setecientos exoplanetas (confirmados), la mayoría alrededor de estrellas de la secuencia principal. Su estudio tiene interés tanto para comprender cómo se forman los sistemas planetarios, incluido el



Sistema Solar, como para investigar la posibilidad fascinante de que algunos de ellos alberguen vida.

Existen diversas técnicas para buscar exoplanetas. Una de las más importantes se fundamenta en la medida de velocidades radiales (es decir, respecto al observador) de las estrellas mediante la espectroscopía, que dio lugar al descubrimiento del planeta compañero de 51 Pegasi. Veamos cómo: el planeta que gira en torno a la estrella es invisible. Sin embargo, el campo gravitatorio que genera actúa sobre la

estrella imprimiendo ciertas distorsiones en su movimiento que, por el efecto Doppler, provocan desplazamientos de su espectro hacia el azul o el rojo, dependiendo de si se acerca o se aleja (ver ima-



gen). Este desplazamiento, medible con espectrógrafos muy precisos, nos permitirá calcular la amplitud y el periodo de las variaciones en la velocidad radial de la estrella. Puesto que son provocadas por el campo gravitatorio del objeto compañero,

indirectamente y complementando la información con ciertas propiedades de la estrella, determinaremos la masa del compañero y su localización respecto a la estrella. En el caso de 51 Pegasi los espectros indicaron una variación máxima de su velocidad radial de cincuenta y nueve metros por segundo con un periodo de poco más de cuatro días.

Fue necesario investigar con exquisito cuidado escenarios alternativos. Descartados estos, en 1995 se anunciaba al mundo el descubrimiento del primer exoplaneta compañero de una estrella parecida al Sol, con una masa similar a la de Júpiter y situado mucho más cerca de su estrella, a tan solo unos ocho millones de kilómetros.

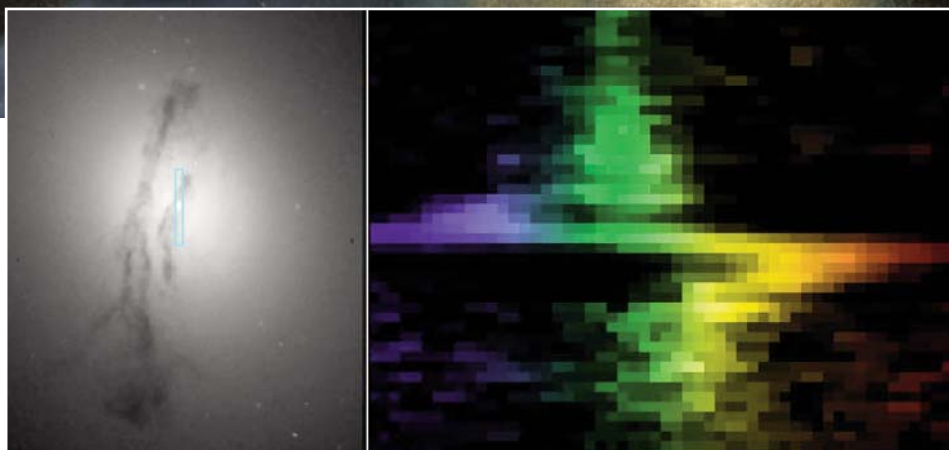
## 4

### AGUJEROS NEGROS EN OTRAS GALAXIAS

La misma idea subyace en el método que nos permite detectar agujeros negros de masas enormes en los núcleos de las galaxias. El agujero negro no puede verse, pero sí podemos detectar y caracterizar el movimiento del gas y las estrellas que giran a su alrededor. Como en el caso anterior, esto se realiza a partir de los desplazamientos en longitud de onda (de nuevo el efecto Doppler) que experimentan las líneas de absorción en el caso de las estrellas y las líneas de emisión en el caso del gas (ver artículo I).

Veamos un ejemplo. La galaxia Messier 84 (o M84) fue descubierta en 1781. Se encuentra a unos sesenta millones de años luz y es uno de los miembros más brillantes del cúmulo de galaxias de Virgo. En 1997, algo más de dos siglos después, se descubrió que M84 contiene un agujero negro de masa enorme en su núcleo.

¿Cómo? Fijémonos en la imagen: a la izquierda vemos el corazón de M84, y a la derecha el espectro de la zona marcada con un rectángulo azul, donde se encuentra el verdadero centro de M84. De cada



Izda: núcleo de la galaxia M84. El espectro de la derecha revela que el gas próximo al centro está rotando a gran velocidad. Este colorido zigzag es la firma de un agujero negro supermasivo. Fuente: G. Bower, R. Green (NOAO), the STIS I.D. Team, and NASA/ESA.

punto dentro de este rectángulo el espectrográfico produce un espectro. Obtenemos así un espectro con dos dimensiones: la espacial en el eje vertical y la espectral (longitud de onda) en el eje horizontal. En la figura las longitudes de onda más cortas (azules) están en la izquierda y las más largas (rojas) en la derecha. El espectro muestra la línea de emisión H alfa del hidrógeno, que refleja los movimientos del gas. Vemos que en la zona más interna la emisión se desplaza bruscamente del azul (el gas se acerca) al rojo (el gas se aleja). Esto muestra un movimiento de rotación muy

rápido (¡más de 1.300 kilómetros por hora!) del gas situado a menos de veintiséis años luz del centro de la galaxia, lo que requiere un campo gravitatorio de gran intensidad. A partir de la velocidad de rotación se infiere la masa responsable, equivalente a la de unos trescientos millones de soles. Esta enorme concentración de masa en un espacio tan pequeño hace pensar que en el centro de M84 existe un gran agujero negro. En la actualidad sabemos que, al igual que M84, muchas galaxias contienen agujeros negros supermasivos en sus núcleos.



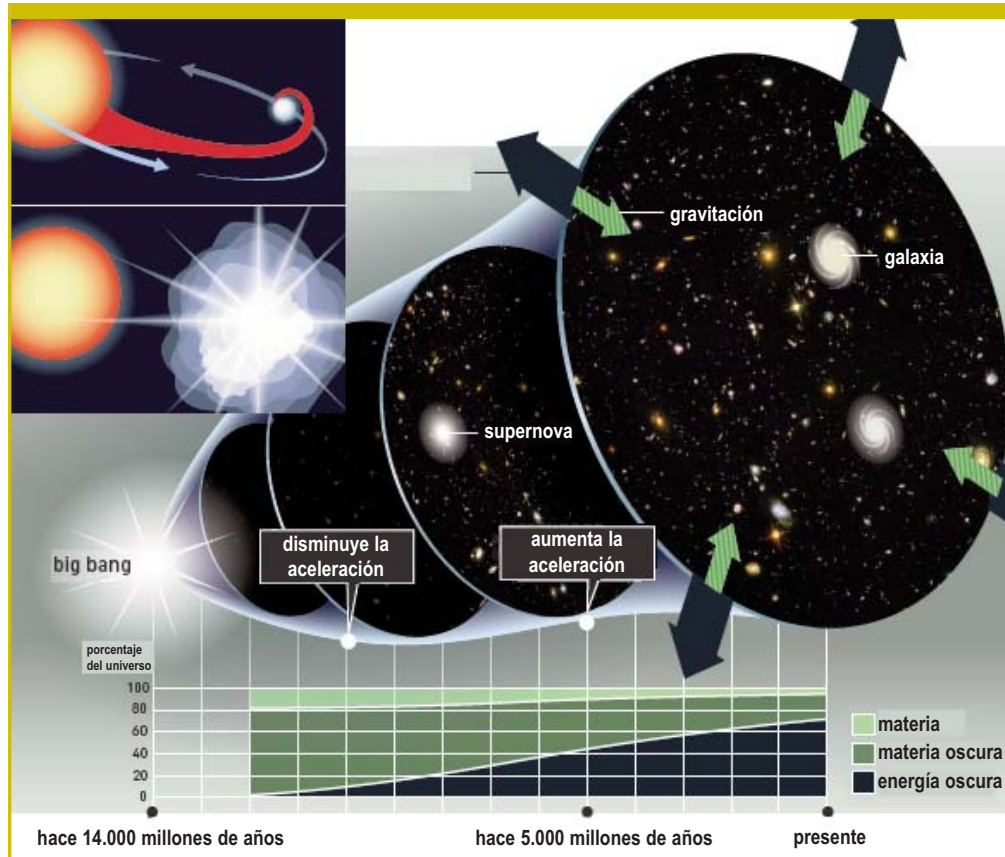
# El universo acelerado

SI LANZAMOS UNA MONEDA AL AIRE, LA ACELERACIÓN INICIAL de la moneda se verá mermada por la atracción gravitatoria de la Tierra, que frena su ascenso y finalmente la hace caer nuevamente al suelo. Si viéramos que la moneda sigue y sigue acelerándose, usted (y yo también) se llevaría una buena sorpresa y, si no hay truco, tendría que buscar una explicación a este nuevo fenómeno. Algo así es lo que les ocurrió a los laureados con el premio Nobel de Física de 2011, los estadounidenses Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess. El objetivo que perseguían estos científicos, aunque ambicioso, no era otro que el de medir la desaceleración del universo en el que vivimos, utilizando observaciones de supernovas del universo lejano. Hasta finales de los 90, la mayor parte de los astrónomos dábamos por hecho que vivíamos en un universo que, como la moneda lanzada al aire, eventualmente frenaría su expansión. La conclusión a la que llegaron los equipos de Perlmutter y de Schmidt y Riess no pudo ser más sorprendente: el universo, que empezó hace casi catorce mil millones de años su expansión ¡¡se estaba acelerando!!

Este espectacular resultado, que golpeó los cimientos de la cosmología observacional y teórica modernas, fue el premio a un trabajo iniciado en 1988 por Saul Perlmutter, quien lideraba el “Proyecto de cosmología con supernovas” (*Supernova Cosmology Project*) y, de modo independiente, el del equipo de Brian Schmidt y Adam Riess, quienes iniciaron un proyecto similar en 1994,

EL PREMIO NOBEL DE FÍSICA 2011 HA RECAIDO EN SAUL PERLMUTTER, BRIAN SCHMIDT Y ADAM RIESS “POR EL DESCUBRIMIENTO DE LA EXPANSIÓN ACELERADA DEL UNIVERSO MEDIANTE OBSERVACIONES DE SUPERNOVAS LEJANAS”

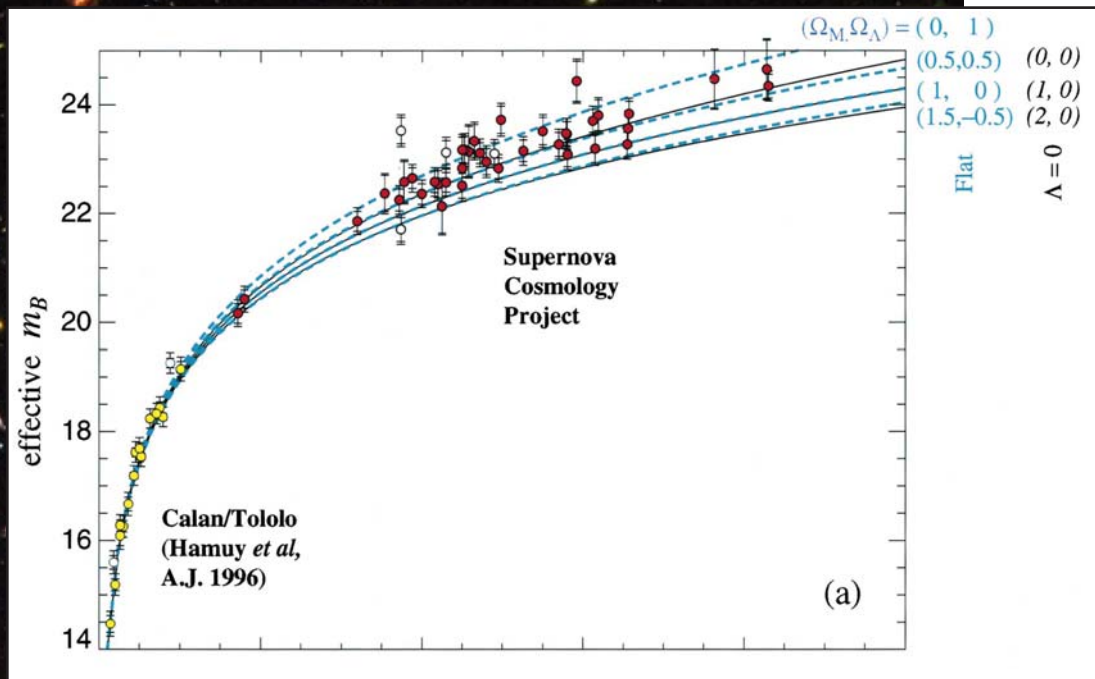
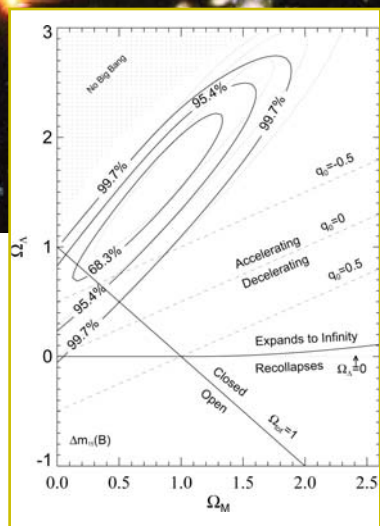
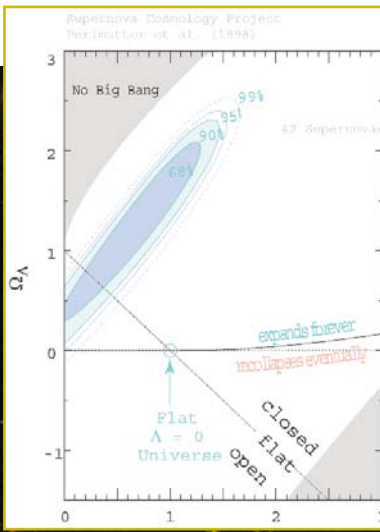
Por Miguel Ángel Pérez Torres (IAA-CSIC)



Arriba a la izquierda, visión esquemática de cómo se produce una supernova de tipo Ia: en un sistema binario, la enana blanca succiona materia de la estrella compañera hasta alcanzar el límite de Chandrasekhar (1,44 veces la masa del Sol) y muere en una explosión de supernova.

En el centro, esquema de la historia del universo donde se muestra cómo ha ido aumentando con el tiempo (y con la expansión) la proporción de energía oscura.





Arriba: brillo aparente de cuarenta y dos supernovas con alto desplazamiento al rojo del *Supernova Cosmology Project*, liderado por Perlmutter (círculos rojos) y de dieciocho supernovas a bajo desplazamiento al rojo, de la muestra de Calan/Tololo (círculos amarillos) y ajustes a distintos modelos cosmológicos. A bajos desplazamientos, las observaciones no permiten discernir entre ningún modelo. Sin embargo, a altos desplazamientos (por encima de  $z=0.15$ ), las divergencias entre los modelos cosmológicos empiezan a ser notables. Las observaciones muestran que las supernovas son significativamente más débiles que lo esperado en un universo que frena su expansión, o que no sufre aceleración. La conclusión de Perlmutter y colaboradores, confirmada independientemente por Riess y colaboradores, es que la expansión del universo es acelerada, y que esta aceleración se debe a la existencia de energía oscura.

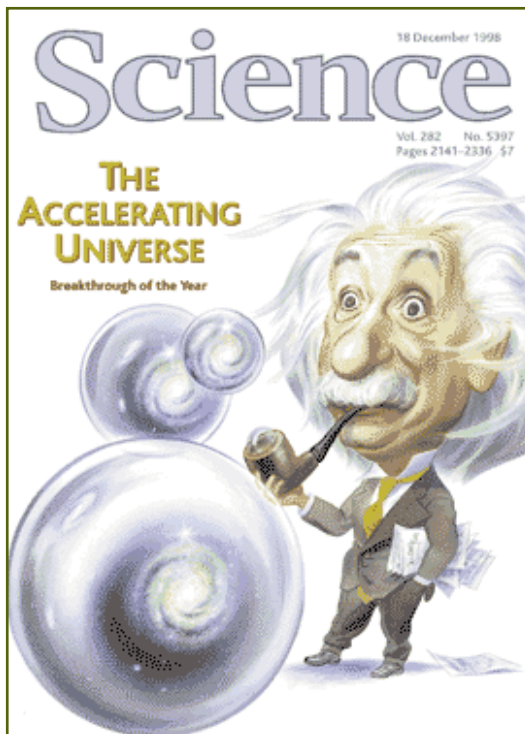
Izda. Resultados obtenidos por los equipos de Perlmutter (arriba) y de Schmidt y Riess (debajo), a partir de observaciones de supernovas muy lejanas. Las elipses representan niveles de confianza de los resultados para valores distintos del contenido de materia ( $\Omega_M$ ) y de energía oscura ( $\Omega_\Lambda$ ) y muestran que el modelo cosmológico que mejor se ajusta a los datos observacionales es el de un universo dominado por la energía oscura, lo que implica que la expansión del universo se está acelerando.

el de la “Búsqueda de Supernovas a Alto Corrimiento al Rojo” (*High-z Supernova Search Team*).

### La aceleración del universo

Ambos equipos esperaban encontrar, y medir, la desaceleración del universo. Para ello fueron a la caza y captura de las supernovas de tipo Ia más lejanas de nosotros, con distancias de hasta seis mil millones de años luz, con el objetivo de medir la distancia hasta ellas de modo muy preciso.

¿Por qué usar supernovas de tipo Ia? Las supernovas de tipo Ia resultan de la muerte de una clase de estrellas conocidas como enanas blancas y cuyo final es explosivo. Pero lo que las hizo cruciales para el objetivo de Perlmutter, Schmidt y Riess era que el brillo intrínseco de las explosiones de supernova de tipo Ia es prácticamente el mismo, ya que todas estas supernovas explotan con una masa característica, conocida como el límite de Chandrasekhar, y que equivale a 1,44 veces la masa del Sol. Esto las

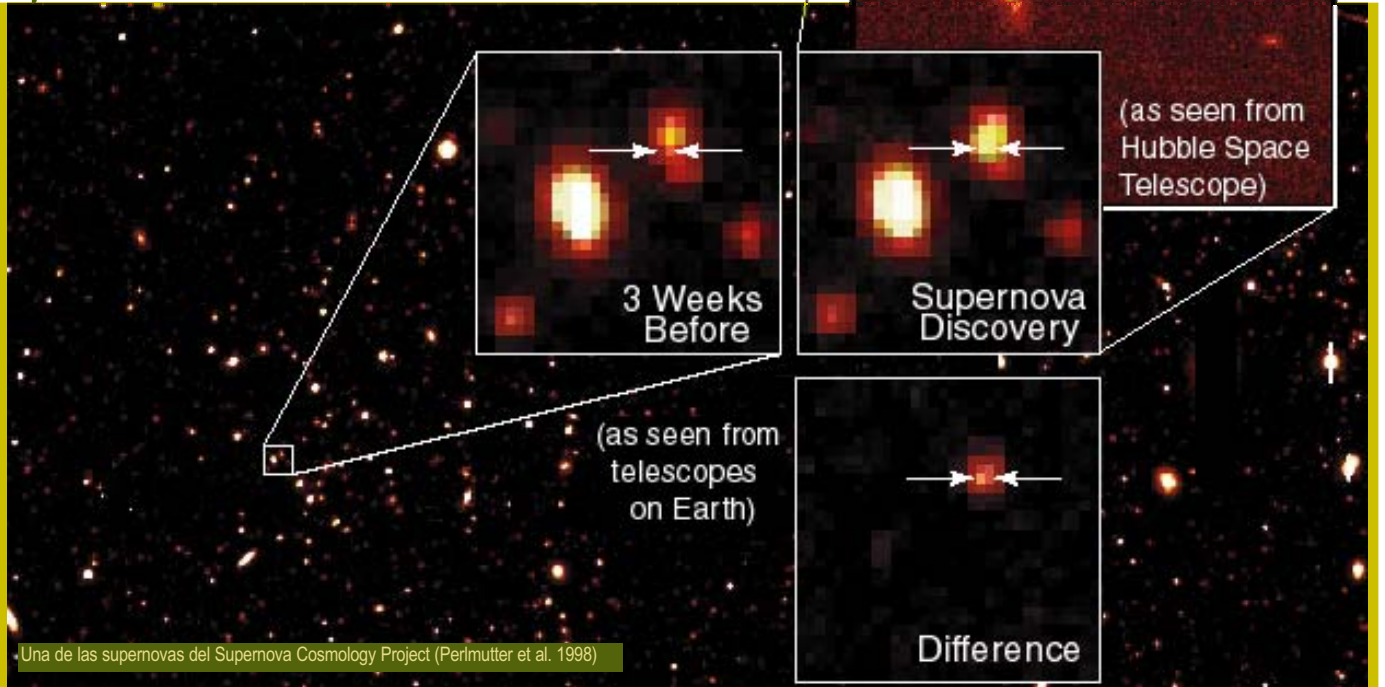


Portada de la revista *Science* de 1998 en la que se destacaba el hallazgo de la expansión acelerada del universo.

convierte en “candelas estándar”, y constituyen un excelente patrón para medir distancias. Si conocemos la dis-

tancia a una de estas supernovas, aplicando la ley que establece que el brillo disminuye con el cuadrado de la distancia podemos obtener las distancias a todas las supernovas.

Pero, ¿cómo medir esa aceleración o desaceleración del universo, midiendo solo distancias a las supernovas? Como el brillo intrínseco de las supernovas Ia es el mismo, la distancia a las supernovas viene determinada por el brillo aparente que medimos con los telescopios. De este modo, Perlmutter, Schmidt y Riess midieron el brillo aparente de supernovas muy lejanas, lo que directamente les daba las distancias a las mismas. Perlmutter, Schmidt y Riess esperaban encontrar evidencias de que vivíamos en un universo donde la proporción de materia era tan grande que frenaba su expansión. Para ello, las supernovas observadas tendrían que haber sido muy brillantes, ya que al desacelerarse la expansión del universo la distancia a las supernovas sería menor que si el universo no se hubiera frenado. Sin embargo, lo que



encontraron fue justo lo contrario: el brillo de las supernovas más lejanas era más débil del esperado. Tan débil que las distancias eran incluso mayores que las que esperaríamos si el universo no se hubiera frenado. Por tanto, la expansión del universo tenía que estar acelerándose.

### ¿Qué supone la aceleración?

El descubrimiento de que vivimos en un universo que se acelera tiene enormes implicaciones. Incluso antes del descubrimiento de la ley de Hubble, que nos dice que las galaxias se separan unas de otras a velocidades proporcionales a la distancia que las separa, ya se había sugerido que quizá viviéramos en un universo abierto (un universo que se expande aceleradamente), o bien cerrado (un universo en el que la atracción gravitatoria vence al Big Bang inicial y finalmente colapsa), o quizá plano (donde la expansión del universo disminuiría con el paso del tiempo). Einstein, en sus famosas ecuaciones, incluyó una constante cosmológica, conocida también como energía oscura, para evitar la solución de un universo en expansión, ya que era una posibilidad que no le gustaba. Mucho más tarde, Einstein consideró la inclusión de dicha constante uno de sus mayores errores, y la quitó de sus ecuaciones. Los resultados obtenidos por

*Perlmutter, Schmidt y Riess esperaban encontrar evidencias de que vivíamos en un universo donde la proporción de materia era tan grande que frenaba su expansión*



Saul Perlmutter



Brian P. Schmidt



Adam G. Riess

Perlmutter, Schmidt y Riess constituyen la confirmación de que la constante cosmológica en las ecuaciones de Einstein no fue un error, sino que resultó una solución brillante. Gracias a los laureados con el premio Nobel de Física, sabemos que vivimos en un universo dominado por energía oscura. Si hay una constante cosmológica, el universo está destinado a acelerarse, incluso si el universo en que vivimos es plano (ver gráfica pág. anterior). Esta aceleración del universo sería debida a la energía oscura, que en los inicios del universo constituiría una pequeña parte de toda la energía. A medida que la materia se fue diluyendo con la expansión del uni-

verso, la energía oscura fue dominando y actualmente constituye aproximadamente el 70% de toda la energía presente en el universo. Del 30% restante, un 25% se encuentra en forma de "materia oscura" (que no emite luz) y solo un 5% es "materia bariónica", la materia de la que están hechos los planetas, las estrellas y nosotros mismos.

### Un merecido galardón

El descubrimiento de la expansión acelerada del universo por Perlmutter, Schmidt y Riess es un hito en la cosmología moderna, tan significativo como el descubrimiento de las variaciones de temperatura de la radiación del fondo cósmico de microondas, y por el que los científicos John Mather y George Smoot recibieron el premio Nobel de Física en 2006. En efecto, el descubrimiento de la expansión del universo, así como de su aceleración, ha significado un enorme avance en la comprensión de la evolución y el destino final del universo en el que vivimos, al confirmar que está dominado por energía, no por materia, y que además esta energía es oscura. Sin duda, los investigadores que resuelvan el nuevo misterio abierto por la aceleración del universo, es decir, qué compone la materia y energía oscuras, conseguirán un no menos merecido premio Nobel que el obtenido en 2011 por Perlmutter, Schmidt y Riess.



## Margaret Burbidge:

# Una vida dedicada a la astronomía

POR JOSEFA MASEGOSA (IAA-CSIC)

Margaret Burbidge nació en 1919 en Inglaterra y fue educada en una familia de científicos. Comenzó su actividad en astronomía en 1940, durante la Segunda Guerra Mundial, haciendo observaciones con el telescopio reflector Wilson de sesenta centímetros. Al término de la guerra completó su doctorado sobre un estudio espectroscópico de estrellas Be en el *University College* de Londres. Halló su primera dificultad en 1946, cuando solicitó una beca a la *Carnegie Institution* de Washington para continuar sus observaciones en el Observatorio de Monte Wilson. La beca le fue denegada porque, aunque la convocatoria no lo especificaba, se trataba de becas solo para hombres. Ella describe esta experiencia como algo inesperado, ya que hasta ese momento no había sufrido ningún tipo de discriminación de género. La rabia la llevó a alimentar la siguiente máxima a lo largo de toda su vida: “si te frustras en una empresa y chocas contra una pared de roca, hay que encontrar la forma de darle la vuelta”. En esta ocasión, así como en otras muchas a lo largo de su carrera profesional, en vez de arrendarse buscó la manera de superar esa dificultad. Este hecho singular marcó su trayectoria posterior confiriéndole un carácter luchador.

Durante 1955 y 1956 fue una observadora asidua del Observatorio de Monte Wilson gracias a la beca que le fue concedida a su esposo, Geoffrey Burbidge, astrónomo teórico (no fue hasta diciembre de 1965 cuando fue admitida de forma oficial la primera astrónoma en esta institución, Vera Rubin).

### Nucleosíntesis estelar

Las contribuciones científicas de Margaret se pueden agrupar en tres épocas. En la primera, Margaret y su marido Geoffrey, junto con el físico atómico William Fowler y el astrónomo Fred Hoyle, explicaron cómo ocurre la nucleosíntesis estelar. Las observaciones realizadas por Margaret durante años mostraron un decrecimiento exponencial en la abundancia de los elementos químicos a medida que aumenta su peso atómico. En el trabajo, conocido popularmente como B2FH (siglas de M. Burbidge, G. Burbidge, W. Fowler y F. Hoyle) y publicado en 1957, explicaron los diferentes procesos físicos que ocurren en los

interiores estelares para sintetizar todos los elementos químicos observados en las atmósferas de las estrellas. Este trabajo le valió a W. Fowler la concesión del Premio Nobel de Física en 1983, que compartió con Subramanyan Chandrasekhar. La transcripción de los méritos argumentados por el comité Nobel dice así: “Por los estudios teóricos y experimentales de las reacciones nucleares relevantes en la formación de los



Arriba, Margaret Burbidge.  
Debajo, Margaret y Geoffrey Burbidge, William Fowler y Fred Hoyle. Fuente: *American Institute of Physics*.

elementos químicos en el universo”. La exclusión en este premio de Fred Hoyle ha sido objeto de debate, ya que buena parte del trabajo teórico en que se basa el estudio fue inspirado en trabajos previos de Hoyle. Se han propuesto diferentes explicaciones para tal exclusión, algunas de tipo sociológico por su visión heterodoxa del Big Bang y otras derivadas del hecho de que sus trabajos no fueron publicados en revistas de física (todos ellos se publicaron en *Astrophysical Journal*). Resulta interesante que todo el trabajo realizado por los Burbidge, y que motivó el desarrollo teórico, no aparezca mencionado en este debate.

### Astronomía galáctica

En una segunda época destacan sus aportaciones en el campo de las galaxias. Los Burbidge, conjuntamente con el astrónomo Prendergast, publicaron la primera curva de rotación de una galaxia y calcularon su masa gracias a ella. Con la astrónoma Vera Rubin estudiaron las velocidades peculiares de algunas galaxias, como M82, y mostraron la existencia de fenómenos explosivos en los núcleos de algunas galaxias. Esta explicación, que adelantaron en los años 60, se ha confirmado con observaciones multifrecuencia. Por último, en lo que al estudio de las galaxias se refiere, secuenciaron la abundancia de gas ionizado en galaxias, desde elípticas a espirales, y la atribuyeron a procesos de evolución estelar.

### Cuásares y alto corrimiento al rojo

En una tercera época, que comenzó hacia finales de los años 60 y que llega hasta la actualidad, su campo de investigación favorito fueron los cuásares. En sus propias palabras, Margaret quedó fascinada por este tipo de objetos tan peculiares que, de estar a las distancias indicadas por su corrimiento al rojo (desplazamiento del espectro hacia el rojo debido al progresivo alejamiento del objeto), serían los objetos más activos y energéticos del Universo. En este campo ha trabajado con Geoff Burbidge en corrimientos al rojo peculiares. Ambos quedaron impresionados por las características del quinteto de Stephan, una agrupación de galaxias en la que una de ellas parece interactuar con el resto del grupo mientras que su corrimiento al rojo indica que se encuentra a miles de años luz de distancia. La pareja Burbidge destacó también por ser pionera en afirmar que los cuásares tienen una galaxia albergadora, y por el estudio de los sistemas de absorción de los cuásares, que nos permiten evaluar la cantidad de materia que no vemos en el universo.

Su carrera investigadora se ha desarrollado entre Inglaterra y Estados Unidos, donde además de una trayectoria curricular brillante ha ocupado cargos tan relevantes como directora del *Royal Greenwich Observatory* y presidenta de la *American Astronomical Society*. Además ha sido galardonada con los premios más prestigiosos en astronomía. Entre otros, el premio Jansky en 1977, la Medalla Bruce en 1982, el *Henry Russell Lectureship* en 1984 y la Medalla de Oro de la *Royal Astronomical Society* en 2005.

## Tesla & Tesla

Hola, soy Nikola. Nikola Tesla. Inventor y hombre de ciencia y, aunque no me gusta esta palabra, muchos me han tildado de visionario. He aparecido en multitud de novelas, cómics, videojuegos, películas y series de televisión. Han realizado una ópera sobre mi vida, un grupo de *heavy metal* lleva mi nombre e incluso una antigua estrella del *glam rock* ha hecho de mí en el cine. Sin duda, mi invento más conocido es el motor de inducción polifásico, que permitió que la electricidad pudiera transportarse a grandes distancias y así iluminar todo el planeta. Pero esta es solo una de las más de setecientas patentes que laten en la base de la tecnología que empleamos hoy en día. Por esto he decidido realizar un videoblog -o teslablog-. Una especie de diario con mis inquietudes científicas, que quede como legado para la posteridad. Llegué a Nueva York en 1884, en una época de prodigios, donde el futuro parecía alcanzarse cada día. En algunas cosas el mundo me ha seguido maravillado; en otras me ha defraudado. Pero recuerden: las maravillas de hoy son los sucesos corrientes de mañana.

## La energía del futuro



La energía ha centrado mi carrera investigadora. Ya en 1900 avisé sobre los riesgos de depender exclusivamente de los combustibles fósiles y sobre la necesidad de buscar otro tipo de fuentes energéticas como la solar, la eólica o la geotérmica. Pero la demanda energética actual exige buscar otras alternativas. En este teslablog destaco alguno de los proyectos en los que estoy trabajando, pero especialmente me centro en el ITER, una instalación que se está construyendo en el Sur de Francia y que, gracias a una combinación de campos magnéticos, bombardeo de partículas y ondas electromagnéticas de altísima frecuencia, logrará generar un pequeño núcleo estelar en la Tierra. Una fuente de energía limpia, segura y barata -la gran esperanza energética-.

## Tesla y la "witricidad"

Gran parte de mi carrera ha venido marcada por una obsesión: transportar la corriente eléctrica sin cables. Hoy en día el *wireless* está en todas partes: radio, televisión vía satélite, internet, telefonía móvil, etc... Pero, tarde o temprano, todo dispositivo debe conectarse a la red eléctrica mediante cables, aunque sea para cargar sus baterías. Hace unos años, investigadores de MIT lograron encender una bombilla situada a unos dos metros de distancia sin necesidad de cables. Nada nuevo. Yo ya lo había logrado en 1889. En cualquier caso, el alcance de la actual energía eléctrica inalámbrica (la witricidad) se limita al hogar o a la oficina. Yo iba mucho más lejos. Mi sueño era llevar la energía eléctrica desde donde se produce hasta cualquier punto del planeta sin necesidad de cables. ¿Os imagináis un mundo sin torres de alta tensión? Este fue el motor de una de mis grandes obras y una de mis mayores frustraciones: la torre Wardenclyffe. Pero esto será en otro teslablog.

## Tesla y los autómatas

Siempre he creído que el hombre emplearía autómatas para sustituirle en las tareas más arduas. De hecho, en 1898 patenté el primer prototipo de barco tripulado remotamente. Actualmente hay más de mil millones de robots operativos en todo el planeta en diferentes sectores industriales y científicos. Siempre intuí que para construir un autómata perfecto debíamos fijarnos en nosotros mismos, pero he de reconocer que en algunos casos los robots han traspasado la frontera de lo que incluso yo imaginaba. Se están desarrollando robots diseñados para interactuar de una manera cada vez más fina y precisa con el ser humano. Uno de los mayores retos para la robótica es que los robots del futuro sean capaces de desenvolverse en entornos sociales cambiantes. Se denomina inteligencia social y, en mayor o menor medida, casi todo el mundo la tiene - incluso yo, a veces - ¿Lo lograrán los robots?



PRÓXIMAMENTE EN <http://teslablog.iaa.es>



# Hola, soy Nikola NIKOLA TESLA

## ■ Tesla y Marte

Todo comenzó en 1900. Unos extraños sonidos surgieron de mi nuevo receptor de radio. Claramente, eran señales procedentes de otro planeta, quizá de Marte -aquel año, Sir Percival Lowel había descubierto evidencias de canales de agua artificiales en su superficie. Aquello fue un bombazo mediático. Los titulares propagaban a los cuatro vientos, "Tesla contacta con los Marcianos". ¡Incluso el gran Lorentz me dio la razón!

Pero nunca más volví a escuchar la señal. Algunos dicen que lo soñé. Otros que lo que capté fue, ironías de destino, las primeras pruebas de mensajes transoceánicos que estaba realizando Marconi. Tal vez. Pero lo cierto es que en 1930 se recibieron las primeras señales de radio procedentes de las estrellas, lo que dio lugar a una nueva disciplina científica: la radioastronomía. Aunque hoy sé que no es posible que procedieran de Marte, ¿por qué no de algún otro lugar del universo?



## ■ Tesla y la electricidad

Otro teslablog está dedicado a una pasión que, literalmente, corre por mis venas: la electricidad. Aunque Edison solo alcanzó a definirla como un sistema de vibraciones, hoy sabemos mucho más. Se trata de una forma de energía que surge del movimiento de partículas cargadas, como los electrones. En 1883, George Westinghouse obtuvo la licencia para desarrollar la central de las cataratas del Niágara y me contrató para desarrollar un sistema que permitiera, por primera vez, generar la electricidad lejos de donde iba a consumirse. Este proyecto supuso la implantación definitiva de la corriente alterna como medio para transportar energía frente a la corriente continua empleada por la compañía de Edison. Fue el final de lo que se conoció como la Guerra de las corrientes. La corriente continua habría enterrado las ciudades bajo infinidad de cables eléctricos... Imagínense: un cable por cada enchufe. Pobre Edison, ¡qué locura!



## ■ Tesla y los superpoderes

Adoro los cómics, sobre todo los de superhéroes. Son toda una fuente de inspiración. Al fin y al cabo, los superpoderes son extrapolaciones de todas esas habilidades que el hombre sueña alcanzar. Os invito a una serie de teslablogs dedicados a mis superpoderes favoritos. Exploraremos los grandes avances realizados en dispositivos diseñados para responder a nuestras ondas cerebrales (como sillas de minusválidos capaces de moverse con nuestro pensamiento), en la posibilidad real de teletransportar objetos materiales o en la capacidad de lograr la invisibilidad.

## ■ Tesla y las fobias

Según el más que recomendable, aunque criticado, Manual Diagnóstico y Estadístico de Desórdenes Mentales, volumen 4, padezco casi todo. Sufrí fobia a las perlas, los pendientes (en las orejas de las mujeres, claro), los melocotones, el pelo humano y el alcanfor. Mi obsesión por el número tres me obliga a realizar cualquier acción en múltiplos de tres, por ejemplo limpiar -de tres en tres- todos los cubiertos de la mesa antes de comer con un total de dieciocho servilletas. Además, debo calcular mentalmente el volumen de alimento que tengo en el cubierto antes de ingerirlo.

También ocasionalmente se presentan ante mí imágenes tan claras que no sabría distinguir si son reales o no. Pero estas alucinaciones no se limitan al sentido de la vista, también afectan al gusto: cada vez alguien tira un papel pequeño en un líquido siento un sabor desagradable en la boca. ¿Se atreve alguien a diagnosticarme?



el "Moby Dick" de...

...Cristina Rodríguez-López (IAA-CSIC)

## J16007



Doctora por la Universidad de Vigo con un estudio sobre pulsaciones en estrellas tipo sdO. Realizó estudios post doctorales en la Universidad Paul Sabatier (Toulouse, Francia) y en la Universidad de Delaware (EEUU). Actualmente en el IAA, trabaja en astrosismología de estrellas compactas y de enanas M, enmarcadas en el caso científico de CARMENES, un espectrógrafo de alta resolución en el infrarrojo.

**M**i objeto favorito y yo nos conocimos en 2006, cuando yo redactaba los resultados obtenidos durante mi trabajo de tesis. Parte de ella era un estudio observacional destinado a la búsqueda de pulsaciones en un tipo de estrellas con nombre jocoso: "subenanas calientes de tipo O", "sdOs" para los amigos.

Las pulsaciones estelares son variaciones periódicas en la luminosidad de una estrella, producidas por ondas de presión o de gravedad propagándose en su interior. Estas variaciones temporales de luminosidad pueden detectarse, entre otros métodos, con series temporales fotométricas. Para obtenerlas, hay que ir a un telescopio, o conseguir que alguien vaya por nosotros, y literalmente sacarle fotos a la estrella que queramos con un intervalo de muestreo adecuado, que depende del período de pulsación esperado. De esas imágenes podemos derivar el flujo luminoso emitido por la estrella en función del tiempo, lo que se conoce como "curva de luz", y ver si presenta variaciones periódicas. Y la pregunta es: ¿por qué buscar pulsaciones estelares? y ¿qué son estas sdOs y por qué buscar oscilaciones en ellas?

El descubrimiento de nuevos objetos pulsantes es la única forma de obtener información, aunque sea indirecta, sobre el interior estelar. De la misma forma en que el análisis de las ondas sísmicas producidas en los terremotos nos ha permitido conocer la estructura de nuestro planeta, la astrosismología pretende identificar los modos de oscilación que se propagan a distintas profundidades en el interior de la estrella. Esto permite obtener con precisión, a partir de modelos teóricos, parámetros básicos de la misma, como su edad, estructura interna, masa, radio o densidad, y contrastar de este modo las teorías de evolución estelar.

Además, las series temporales fotométricas necesarias para la búsqueda de oscilaciones se usan también para la búsqueda de planetas extrasolares por el método de los tránsitos. Esta feliz alianza de astrosismología y exoplanetas se encuentra en la base científica de misiones espaciales como CoRoT y KEPLER. La caracterización precisa de la estrella albergadora de planetas, cuando dicha estrella es pulsante, nos permite además una determinación mucho más precisa de los parámetros del planeta.

### Estrellas sdOs pulsantes

Pero volvamos a la segunda pregunta: ¿qué son las sdOs y por qué buscar pulsaciones en ellas cuando ni siquiera había una predicción teórica de su existencia? Las sdOs son estrellas muy calientes y compactas - tienen aproximadamente la mitad de la masa solar en solo un décimo del radio del Sol- en una fase de evolución avanzada: poseen un núcleo inerte de carbono y oxígeno y queman helio y a veces hidrógeno en finas capas que envuelven al núcleo. Ya que las variadas teorías de formación de sdOs, aún no resueltas, las ligan con las subenanas calientes de tipo B, o sdBs, que sí son estrellas pulsantes, no era descabellado pensar que las sdOs también lo fueran. Así que durante mi tesis empecé un estudio teórico para ver qué mecanismo físico podía sustentar las oscilaciones, y observacional, para ver si podíamos encontrar alguna sdO pulsante.



Imagen de J16007 y su curva de luz.

Mientras que el estudio teórico fue más fructífero, el estudio observacional fue ligeramente descorazonador. Después de muchas noches de telescopio, de una muestra de 56 objetos solo se obtuvieron dos candidatos prometedores, que posteriormente fueron descartados. Una tarde, mientras escribía algún capítulo de la tesis, recibí un correo electrónico de un colega sudafricano, Dave Kilkeny\*. En él me decía, casi se disculpaba, por haber encontrado lo que yo había estado buscando durante cuatro años: la primera sdO pulsante, SDSS J160043.6+074802.9 (para acortar, J16007). El descubrimiento me

hizo dar saltos de alegría y correr a contárselo a todo aquel que quisiera escucharme. Inicialmente confundida con una sdB, J16007 es una binaria espectroscópica con una compañera más fría de la secuencia principal. Tiene por lo menos diez períodos de pulsación comprendidos entre aproximadamente los sesenta y los ciento veinte segundos y observaciones posteriores a su descubrimiento confirman que existen variaciones en la amplitud de oscilación de algunos modos. Se desconoce todavía si dichas variaciones son modulaciones reales en la amplitud de pulsación, el resultado de frecuencias de oscilación muy cercanas que aún no han sido resueltas, o de efectos no-lineales.

**"El hallazgo de nuevos objetos pulsantes es la única forma de obtener información sobre el interior estelar"**

J16007 es un objeto complicado y, aunque se ha determinado su temperatura superficial, aún no existe consenso sobre su gravedad. Las dificultades residen en la obtención de espectros de calidad, dado que es un objeto muy débil, y en su análisis, del que hay que aislar la influencia de la compañera fría. Esta determinación es crucial para poder realizar un buen modelo teórico de la estrella y poder realizar un análisis astrosismológico con confianza.

Hasta diciembre de 2011, a pesar de varios esfuerzos observacionales, J16007 era la única sdO pulsante conocida; pero nuevos análisis espectroscópicos de la supuesta sdB pulsante EO Ceti han revelado que se trata, en realidad, de una sdO. Esperemos que el número de sdOs pulsantes siga aumentando para poder llegar a desentrañar todos los misterios evolutivos que aún esconde este tipo estelar.

\* El astrónomo Dave Kilkeny tiene el privilegio de haber descubierto también, de forma fortuita, las pulsaciones en sdBs. El descubrimiento está descrito en uno de los artículos más inspiradores que he leído en mi carrera: Kilkeny D. et al. 1997, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 285, 640-644.



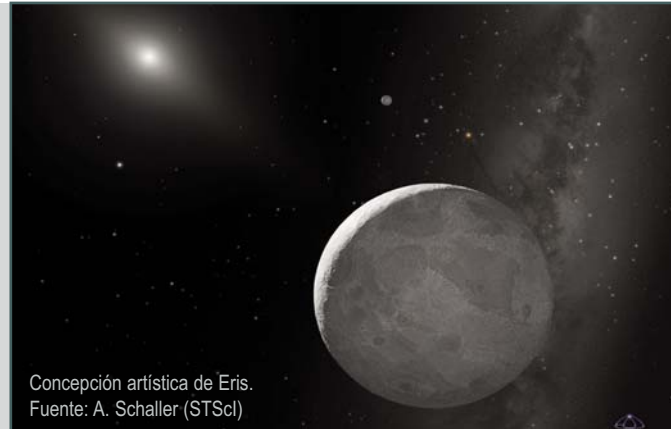
# Eris, el planeta enano que "destronó" a Plutón, podría ser menor que él

Se ha empleado la ocultación de una estrella por parte de Eris para determinar su tamaño con mayor precisión. Las nuevas medidas convierten a ambos objetos en casi "gemelos" en tamaño

► Un grupo internacional de astrónomos, en el que participa de manera destacada el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha estudiado el paso de Eris por delante de una estrella -lo que se conoce como ocultación- y ha medido su tamaño con más precisión que nunca. Los resultados de este "eclipse" estelar, que se han publicado en la revista *Nature*, reducen considerablemente el tamaño de Eris y lo convierten, si no en un objeto menor que Plutón, en su gemelo.

La combinación de los datos constituyó una sorpresa al reducir el radio estimado de Eris a unos 1163 kilómetros, muy por debajo de los cálculos anteriores que lo situaban entre 1200 y 1400 kilómetros y que convirtieron a Eris en el mayor objeto del Cinturón de Objetos Transneptunianos, una región más allá de Neptuno poblada por cuerpos rocosos y helados.

Ahora parece que Plutón, con un radio de entre 1150 y 1200 kilómetros, podría recuperar el puesto como el mayor objeto de esta región. "No obstante, esto es difícil de precisar ya que



Concepción artística de Eris. Fuente: A. Schaller (STScI)

Plutón tiene una atmósfera que interfiere en las medidas del diámetro", puntualiza José Luis Ortiz, investigador del IAA que participa en el estudio. "En el caso de Eris se ha determinado, mediante la ocultación, que en caso de tener atmósfera esta sería miles de veces menos densa que la de Plutón".

Este estudio ha determinado además que el albedo de Eris -la fracción de luz reflejada con respecto a la que incide-, es al menos del 90%, lo que lo convierte en uno de los objetos intrínsecamente más brillantes del Sistema Solar (solo algunas lunas de Saturno reflejan más porcentaje de luz que Eris). Su masa y densidad, mayores que la de Plutón, sugieren que se trata de un cuerpo en su mayoría rocoso y cubierto de una capa de hielos.

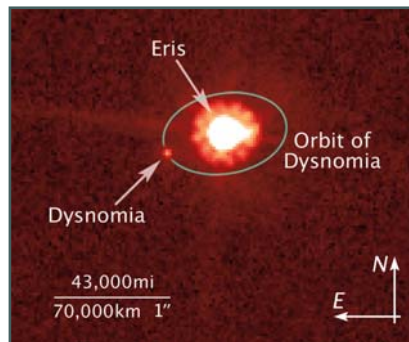


Imagen de Eris y su satélite Dysnomia tomada por el Telescopio Espacial Hubble.

ocultación con el mayor número de telescopios posible", destaca José Luis Ortiz. De la red de veintiséis telescopios que apuntaron hacia Eris la noche del 6 de noviembre de 2010, solo tres detectaron la ocultación, entre ellos el telescopio de 40 centímetros de San Pedro de Atacama (Chile) perteneciente al Instituto de Astrofísica de Andalucía y a Astroimagen.

"Se trata del objeto más lejano del Sistema Solar estudiado mediante una ocultación, lo que permite determinar su posición con una precisión exquisita, muy valiosa para estudiar su movimiento orbital. Esto es relevante, ya que la fuerza de la gravedad solar no se ha podido medir nunca a tan lejanas distancias de una manera fiable" destaca Ortiz.

## Eris y la definición de planeta

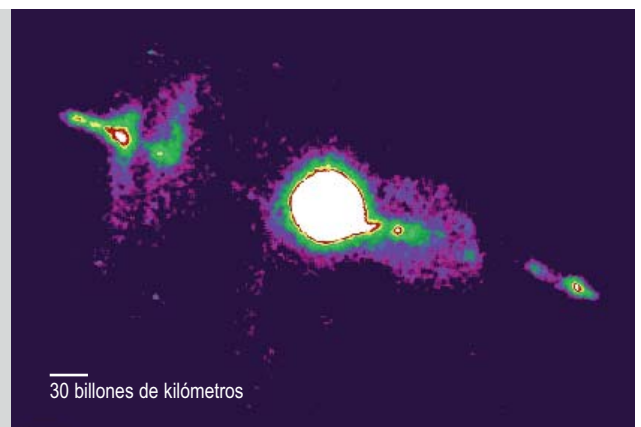
El hallazgo de Eris en 2005 supuso un hito en la caracterización de objetos en el Sistema Solar: los primeros cálculos apuntaban a que su tamaño superaba el de Plutón y, aunque en un principio se habló de décimo planeta, finalmente se impuso una redefinición del concepto de planeta que no incluía ni a Eris ni a Plutón. En una decisión que produjo controversia, la Unión Astronómica Internacional decidió que ambos pasaran a integrar una nueva categoría de objetos, los planetas enanos, reduciendo el número de planetas del Sistema Solar a ocho.

Silbia López de Lacalle (IAA)

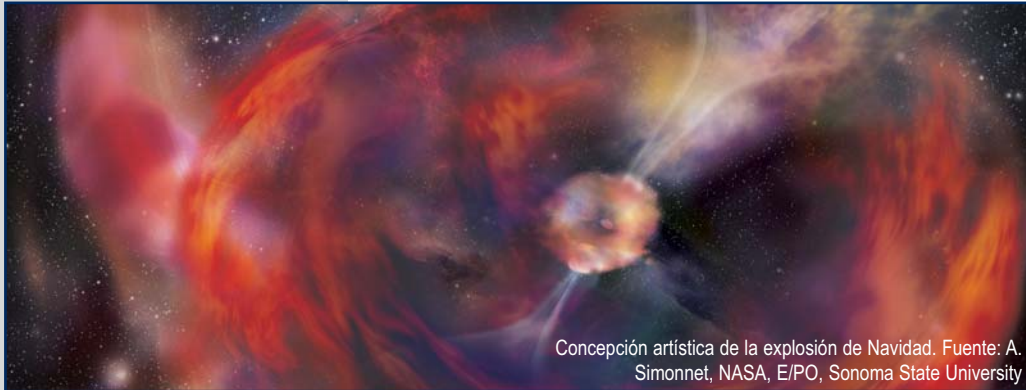
## EN BREVE

### Un jet estelar gigante

► Unas diez veces la distancia entre el Sol y Próxima Centauri, la estrella más cercana: esa es la extensión aproximada del chorro de materia que emerge de la estrella Sanduleak, situada en la Gran Nube de Magallanes. La estrella se halla rodeada de polvo, lo que dificulta la interpretación, pero se cree que se trata de un sistema doble compuesto por una gigante roja que cede material a su compañera, una enana blanca. Este material formaría un disco en torno a la enana blanca y parte de él se liberaría a través de los jets. Por los "nudos" -regiones más densas- presentes en el jet se estima que el estallido que se observa lleva activo unos diez mil años. [www.aao.gov.au](http://www.aao.gov.au)



# Las estrellas han hallado una nueva forma de morir



Concepción artística de la explosión de Navidad. Fuente: A. Simonnet, NASA, E/PO, Sonoma State University

Un peculiar estallido apunta a la fusión de dos estrellas, una estrella de neutrones y una estrella gigante, tras una etapa en la que compartieron envoltura

► El día de Navidad de 2010 se produjo un estallido de rayos gamma (o GRB, de sus siglas en inglés) que rompía los patrones existentes. Además de una duración muy superior a la media, GRB101225A -apodado "la explosión de Navidad"- mostró

un resplandor posterior cuya causa, a diferencia del resto de GRBs, era de origen térmico. Un grupo internacional de astrónomos, liderado por Christina Thöne y Antonio de Ugarte, del IAA, ha publicado en *Nature* un trabajo que propone la fusión de dos estrellas, tras una etapa en la que compartieron envoltura, como explicación del fenómeno.

"Todos los GRBs observados hasta la fecha muestran un resplandor posterior, lo que conocemos como *afterglow*, cuya energía procede del movimiento de electrones a gran velocidad dentro del campo magnético del objeto. En cambio, en la explosión de

Navidad vimos que el origen de este resplandor era de origen térmico, algo realmente inédito", declara Christina Thöne (IAA-CSIC). Hasta ahora había dos mecanismos para explicar los GRBs, que se ajustaban a las dos modalidades conocidas: los GRBs largos (de dos o más segundos de duración) se deben al colapso de una estrella muy masiva, mientras que los cortos (de menos de dos segundos) se producen por la fusión de dos objetos compactos, como estrellas de neutrones. "El carácter exótico de este GRB prácticamente nos forzaba a sugerir un tercer escenario, e investigamos una amplia

gama de posibilidades para explicarlo", relata de Ugarte (IAA-CSIC).

El estudio propone que la explosión de Navidad es el resultado de la fusión de una estrella de neutrones (una estrella degenerada que puede contener la masa del Sol en un radio de decenas de kilómetros) con una estrella gigante evolucionada. Este sistema binario exótico, situado a una distancia de unos 5500 millones de años luz, atravesó una fase de envoltura común cuando la estrella de neutrones se adentró en la atmósfera de la estrella gigante, que durante esta etapa perdió la mayor parte del hidrógeno que la componía. Más tarde, cuando la estrella de neutrones y la gigante se fusionaron, la explosión produjo un chorro semejante a los que se generan en los GRB normales, pero que se calentó por la interacción con la envoltura común preexistente. Esta interacción dio lugar al *afterglow* observado, dominado por radiación generada por material caliente y que fue enfriándose con el tiempo.

"Tras décadas investigando GRBs estamos viendo que estos objetos nos deparan muchas sorpresas y que, del mismo modo que los tipos de supernova conocidos han aumentado con el tiempo, es posible que debamos revisar la clasificación de GRBs. Las estrellas parecen disponer de muy diversas formas de morir", concluye Thöne.



Secuencia temporal de un *sprite*. Fuente: H.C. Stenbaek-Nielsen and M.G. McHarg

► Hace dos décadas se descubrió un asombroso fenómeno: se observaron intensos destellos en la mesosfera, una región de la atmósfera situada a partir de los cincuenta kilómetros por encima del suelo y que se creía carente de actividad. Relacionados con los rayos de tormenta pero situados decenas de kilómetros sobre las nubes, resultaba inexplicable que algunos de estos destellos, los conocidos como *sprites* retardados, se produjeran con retra-

## Completan el modelo de los relámpagos en la alta atmósfera

Se halla el motivo de que estos destellos se produzcan con retardo con respecto al rayo que los desencadena

so con respecto al rayo que los desencadena. Un trabajo, desarrollado por los investigadores del IAA Alejandro Luque y Francisco J. Gordillo y publicado en *Nature Geoscience*, aporta la clave que fal-

taba en los modelos de iniciación de los *sprites*.

Los *sprites* son eventos luminosos que duran centésimas de segundo y que muestran una parte superior difusa y una región inferior poblada de



"tentáculos" (filamentos de aire ionizado de entre diez y cien metros de grosor). Pueden extenderse desde los cuarenta hasta los casi cien kilómetros sobre el suelo y se producen simultáneamente al rayo que los desencadena o con cierto retraso. "Los *sprites* retardados eran la prueba de que nuestro conocimiento era incompleto: no podíamos explicar que, en lugar de producirse entre dos y tres milisegundos después del rayo, se demoraran hasta 150 milisegundos", apunta Francisco J. Gordillo (IAA-CSIC).

Para que se produzca una descarga en la mesosfera es necesaria la existencia de electrones libres, partículas que surgen y se eliminan a través de dos reacciones conocidas como ionización por impacto y fijación asociativa. "Los modelos empleados hasta ahora aseguraban que era necesario cierto campo eléctrico para que se produjeran más electrones de los que se destruyeran", señala Alejandro Luque (IAA). "Esto funciona a presión atmosférica, es decir, en las capas bajas de la atmósfera, pero no era suficiente para

estudiar las descargas en la mesosfera, mucho más alta y con una presión considerablemente menor", observa Luque. Los científicos del IAA hallaron que, para alturas de más de quince kilómetros, entraba en juego una tercera reacción, la de desprendimiento asociativo, que ponía electrones en circulación y completaba las teorías existentes. "Esta reacción nos permite explicar el retraso de algunos *sprites*, porque su tiempo característico concuerda con los retrasos observados", concluye Francisco J. Gordillo.

### De la nube a la mesosfera

Un *sprite* se produce del siguiente modo: una nube de tormenta presenta carga eléctrica negativa en la parte inferior y positiva en la superior. Generalmente, los rayos emergen de la región inferior y muestran polaridad negativa, pero en ocasiones surgen rayos con polaridad positiva, mucho más potentes y peligrosos. Estos últimos producen un campo eléctrico que asciende hacia las capas altas atmosféricas y que desencadena el *sprite*.

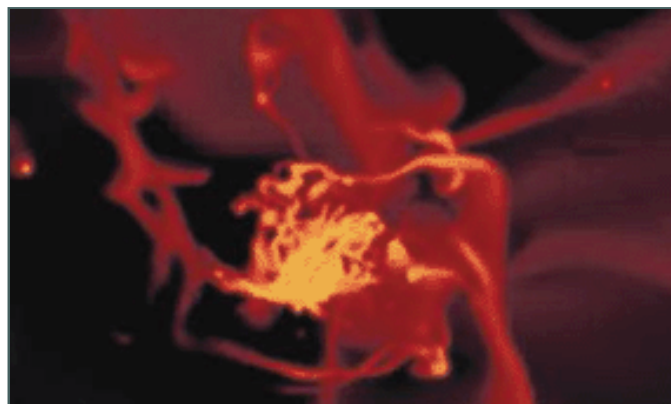
**Silbia López de Lacalle (IAA)**

## Gas prístino dos mil millones de años después del Big Bang

Se hallan dos nubes compuestas solo por hidrógeno, una rareza en una época en la que los elementos pesados ya abundaban

► Según la historia química del universo, al principio solo había hidrógeno y helio. Unos trescientos millones de años después del Big Bang se formaron las primeras estrellas y en su interior se fueron cocinando elementos cada vez más pesados (oxígeno, carbono, nitrógeno...) que, al morir estas, se dispersaron en el medio interestelar. Y las sucesivas generaciones de estrellas fueron "contaminando" el universo con mayor proporción de elementos pesados, o metales.

Pero, a la luz de un reciente descubrimiento, sabemos que ese proceso no fue homogéneo: un grupo internacional de astrónomos ha hallado dos



nubes de gas compuestas exclusivamente por hidrógeno que datan de una época (dos mil millones de años después del Big Bang) en la que ya se habían formado estrellas y galaxias y, por lo tanto, el universo se hallaba enriquecido con elementos pesados.

Aunque medir la metalicidad del gas difuso resulta complicado (al diferencia de las estrellas, apenas emite

energía), los investigadores han empleado una técnica ingeniosa: se han valido de los cuásares -galaxias activas muy distantes- y han analizado cómo cambia el espectro de su luz según atraviesa distintas regiones en su camino hacia nosotros. Así han hallado estas dos nubes de gas cuya composición podría considerarse anacrónica: si bien se pensaba que la distribución de metales podría pre-

sentar inhomogeneidades, nunca se había hallado gas difuso con una metalicidad por debajo de 1/700 con respecto a la del sol. En cambio, estas nubes presentan una metalicidad de 1/6000 y 1/16.000 con respecto a la solar, lo que supone tres órdenes de magnitud por debajo de la metalicidad media del universo en esa época.

### Estrellas sin metales

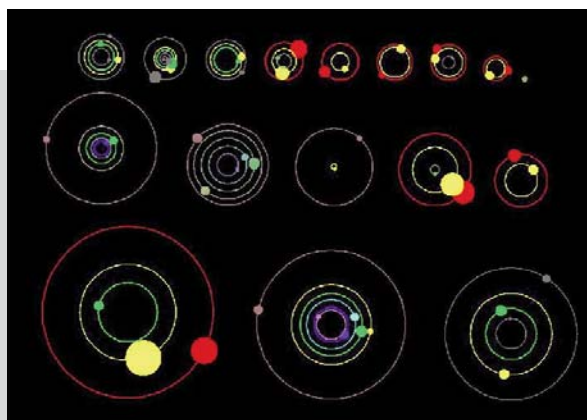
Aunque se cree que las regiones como estas deben de ser escasas, el hallazgo de estas nubes propone un nuevo escenario para la formación de estrellas compuestas básicamente por hidrógeno y helio (conocidas como estrellas de primera generación), que dejarían de asociarse a las primeras etapas del universo. Y quizá explicaría el hallazgo reciente, en el halo de la Vía Láctea, de una estrella compuesta casi exclusivamente por hidrógeno y helio (ver página 7).

**Silbia López de Lacalle (IAA)**

## EN BREVE

### Nueva técnica: once sistemas planetarios

► La misión Kepler (NASA) ha hallado once nuevos sistemas planetarios que albergan un total de veintiseis planetas confirmados, todos ellos más próximos a su estrella que Venus del Sol. El descubrimiento se ha realizado gracias a una nueva técnica (*Transit Timing Variations*) que permite confirmar las detecciones sin observaciones desde tierra y que aprovecha los tirones gravitatorios de los planetas en sistemas poco extensos, que se traducen en aceleraciones y deceleraciones de los planetas en sus órbitas y que Kepler puede medir. [www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler](http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler)



# Un púlsar demasiado lento para su edad

► Un grupo internacional de astrónomos, en el que participa Martín Guerrero Roncel, del IAA, ha hallado en la Pequeña Nube de Magallanes (una galaxia satélite de la Vía Láctea) un púlsar tan joven que aún se halla entre los restos de la supernova que le dio origen, pero que muestra una velocidad de rotación muy lenta, propia de púlsares viejos. Se trata de un enigmático púlsar que plantea interesantes preguntas sobre el origen y evolución de estos exóticos objetos.

Los púlsares son el núcleo desnudo de una estrella muy masiva -de entre ocho y quince veces la masa del Sol-, que ha expulsado su envoltura en una explosión de supernova. La interacción de las capas externas de la estrella con el material interestelar genera lo que se conoce como remanente de supernova, que presenta una forma de cascarón en expansión muy característica. "Los remanentes brillan durante unos pocos miles de años antes de disiparse en el medio interestelar, y son muy pocos los objetos compactos que se han detectado cuando aún se hallan dentro de ese cascarón", destaca Martín Guerrero (IAA-CSIC).

El hallazgo del joven púlsar SXP 1062, aún rodeado por el remanente, vino acompañado de otra sorpresa: su periodo de rotación supera los mil

segundos, en contraste con el de los púlsares jóvenes, que giran en torno a su eje en fracciones de segundo (milisegundos). Esto convierte a SXP 1062 en uno de los púlsares más lentos conocidos. "Se cree que, en general, los púlsares emergen de la explosión de supernova con una velocidad de rotación muy alta y que con la edad van frenando, por lo que este ejemplar resulta desconcertante", apunta Guerrero (IAA-CSIC).

El púlsar se detectó gracias a los observatorios espaciales de rayos X Chandra (NASA) y XMM-Newton

(ESA). Una campaña de observación posterior en el óptico con el Very Large Telescope (VLT/ESO) y el Cerro-Tololo Inter-American Observatory (CTIO) permitió distinguir el remanente de supernova y conocer a fondo a SXP 1062. El púlsar forma parte de lo que se conoce como "binaria masiva de rayos X", un sistema formado por un objeto compacto -el púlsar- y una estrella azul masiva y caliente, en este caso una estrella de tipo Be. El púlsar, al succionar el gas del viento estelar de la estrella compañera, emite gran cantidad de energía en rayos X.

Se descubre, en la Pequeña Nube de Magallanes, un púlsar tan joven que aún se halla rodeado de los restos de la supernova que lo originó



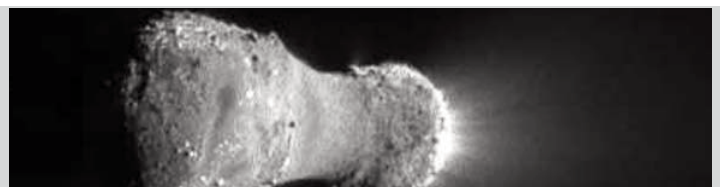
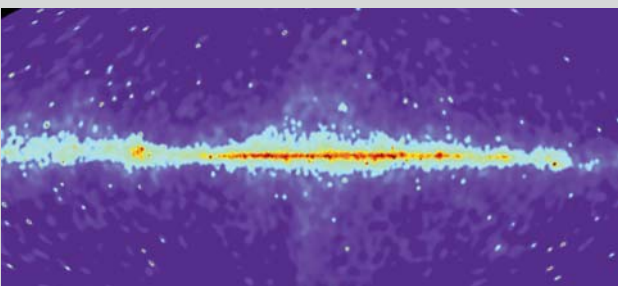
Imagen que muestra una porción de la Pequeña Nube de Magallanes, donde puede observarse la nebulosa N90 (a la izquierda) y el púlsar SXP 1062 (derecha, en azul) rodeado del remanente de supernova (en rojo). Fuente: Cerro-Tololo Inter-American Observatory (CTIO/NRAO) y Chandra (NASA).

Aunque de momento se desconoce por qué SXP 1062 rota tan despacio, los astrónomos creen que el conjunto de datos obtenido, en parte aún por analizar, contiene la explicación al singular comportamiento de este objeto.

## EN BREVE

### Nuevo censo en rayos gamma

► El observatorio espacial Fermi (NASA) ha catalogado casi quinientas nuevas fuentes por encima de los diez gigaelectronvoltios, es decir, objetos de muy alta energía, de los que casi la mitad son galaxias activas. También hay púlsares y supernovas, pero casi un tercio de los objetos son desconocidos y no tienen contrapartida en ninguna otra longitud de onda. [www.nasa.gov/mission\\_pages/GLAST](http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST)



### El agua terrestre y el cinturón de Kuiper

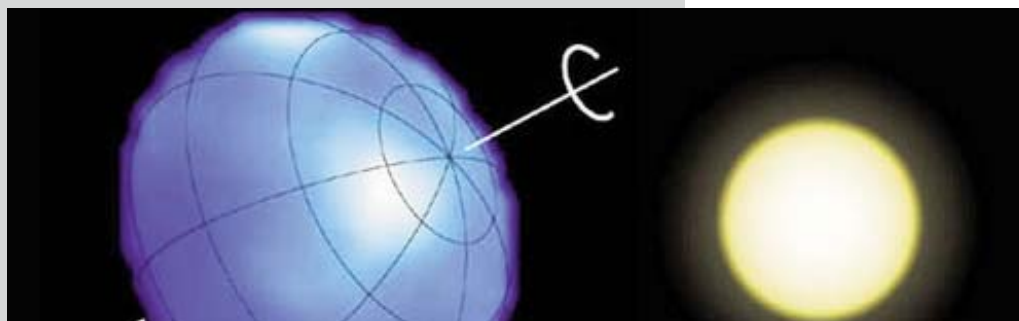
► El observatorio espacial Herschel (ESA) ha analizado la composición de la envoltura gaseosa que rodea el núcleo del cometa Hartley 2 y ha hallado unas proporciones de "agua pesada" -en la que uno de los átomos de hidrógeno es sustituido por uno de deuterio- y agua normal similares a las presentes en la Tierra. La proporción de agua pesada se relaciona con la región de procedencia de los cometas y, de hecho, hace un tiempo se excluyó a los cometas de la nube de Oort como fuente principal del agua terrestre dada su alta tasa de agua pesada. Este resultado reabre la posibilidad de que el agua terrestre proceda de los cometas, en este caso de los que provienen del cinturón de Kuiper.

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=49386>



# Se revisa el teorema de Von Zeipel

► La mayoría de las estrellas, debido a la rotación y a su carácter gaseoso, muestran cierto achatamiento en los polos. Pero algunas rotan casi a la velocidad de ruptura -un límite de velocidad que, de superarse, provocaría que la estrella literalmente se rompiera-, lo que causa que su forma sea claramente achatada (algo que también puede ocurrir en estrellas binarias cercanas debido a la atracción mutua). Para determinar la temperatura de estas estrellas deformadas se emplea el teorema de von Zeipel, que a pesar de su uso generalizado desde hace casi un siglo nunca estuvo exento de debate. Ahora, Antonio Claret, del IAA, ha demostrado que este teorema presenta graves desviaciones y debe incluirse en un modelo más amplio. En 1924, el astrofísico sueco Edvard Hugo von Zeipel demostró teóricamente que, para estrellas achatadas calientes - con temperaturas de más de 8000 grados - la temperatura es proporcional a la gravedad local. Introducía así el concepto "oscurecimiento por gravedad", que provoca que en una estrella achatada la temperatura en los polos sea mayor que



**Para medir la temperatura de las estrellas achatadas se emplea, desde hace casi un siglo, un teorema que ahora se ha demostrado incompleto**

en el ecuador (en el Sol este efecto es apenas perceptible debido a su baja tasa de rotación).

"El valor que von Zeipel asignó al oscurecimiento por gravedad ha sido muy discutido teóricamente y, recientemente, se han publicado trabajos observacionales que desvelan desviaciones importantes", comenta Antonio Claret (IAA-CSIC). La aplicación de un exponente de oscurecimiento por gravedad erróneo supone una determinación defectuosa de la termodinámica

de la estrella, que a su vez implica la obtención de valores de luminosidad, masa y edad equivocados.

Centrándose en casos de estrellas muy deformadas y gracias al empleo de ecuaciones de transporte de energía más elaboradas, Antonio Claret ha demostrado las limitaciones del teorema de von Zeipel al tiempo que ha conciliado los nuevos valores teóricos con los observacionales.

Así, con este nuevo formalismo, puede conocerse el oscurecimiento por

gravedad desde el interior hasta la atmósfera de las estrellas, y de él se deriva una conclusión importante: el teorema de von Zeipel solo es aplicable a las regiones más profundas de la estrella y es un caso particular del nuevo modelo. Sin embargo, lo que los astrofísicos observan son necesariamente las capas más externas, de modo que este nuevo modelo constituye la alternativa correcta para determinar los parámetros esenciales de la estrella con precisión. "Von Zeipel no se equivocó, sino que desarrolló un modelo que debía completarse: fallaba en las capas externas y tampoco era aplicable a estrellas frías, lo que se ha resuelto con este nuevo modelo teórico", concluye Claret.

## ENTRE BASTIDORES

### REENCUENTRO A LA LUZ DE LAS ESTRELLAS

SUSANA MARTÍN RUIZ (IAA-CSIC)

Hace unos meses se organizaron en Granada las II Jornadas Andaluzas de Astronomía, que incluían una visita al Observatorio de Sierra Nevada. La visita fue guiada por Emilio García, quien me relató un emocionante encuentro ("tengo que contarte una cosa que te va a encantar", me anticipó). Durante la comida coincidió con una señora que pertenecía a una agrupación astronómica de Sevilla, que le explicó que su afición por la astronomía - que le llevó incluso a publicar un libro - comenzó una noche de verano hace ya muchos años, justamente en Granada, gracias a unos chicos que enseñaban el inigualable cielo de Sierra Nevada. "Qué casualidad, uno de ellos era yo", le señaló Emilio; "pero fue hace mucho tiempo, fíjate, no existía internet", corrigió la señora; "sí, era yo", repitió Emilio; "pero hace casi quince años", apuntó la señora; "sí, era yo", insistió Emilio. Una vez aclarada la cronología,

la mujer le confesó el punto exacto en el que comenzó su pasión por la astronomía: cuando una de las monitoras, una joven astrónoma, le enseñó Saturno a través del telescopio. Y ahí se me paró el corazón, porque aquella joven astrónoma era yo.

Aquel verano de 1997, cinco estudiantes del IAA nos animamos a dar pequeñas nociones de astronomía mientras mostrábamos los diferentes objetos del cielo nocturno con cuatro telescopios. Se llamaban *En Sierra Nevada toque las estrellas*, y los monitores tuvimos que aprender, en un par de días, el manejo de telescopios de poco más de 40 centímetros (además del cielo estival como la palma de la mano). Recuerdo que, al final de una noche de observación, mientras algunos compañeros charlábamos con un pequeño grupo de personas, enseñé Saturno mientras salía a última hora por el horizonte. Una señora, al mirar por el telescopio, se quedó tan asom-

brada que apenas podía creerse la nitidez con la que se veían sus anillos. Al final de la noche, la mujer se despidió agradeciéndonos muy cariñosamente aquella maravillosa experiencia. Nunca olvidé ese momento, quizá porque fue muy gratificante para mí. Gracias a ella, a María, me han venido muy buenos recuerdos: las incontables subidas a Sierra Nevada o aquellas noches de observación practicando con los telescopios mientras pasábamos frío y no parábamos de reír. La gran asistencia de público hizo que las jornadas se repitieran durante los dos veranos siguientes aunque no todos continuamos. Por esos momentos, y por mis compañeros de aventuras astronómicas, Emilio García, Raúl Martínez, Gregorio Molina y Ernesto Sánchez, y los que se incorporaron más tarde, Cristina Rodríguez, Ángel de la Torre y nuestro inolvidable compañero Lucas Lara, quería escribir estas líneas. A ellos se las dedico.

# SALA limpia



por Miguel Abril (IAA)

## la respuesta:

### ¿Puede una cucaracha entrar en una sala limpia?

- A) NO, POR SUPUESTO.
- B) SÍ, SI RELLENA EL FORMULARIO DE RESERVA.
- C) SÍ, SI RELLENA EL FORMULARIO DE RESERVA Y UTILIZA VESTIMENTA DESECHABLE.
- D) SÍ, LA NORMATIVA NO LO IMPIDE.

Planteábamos en el último número si una cucaracha podía entrar en una sala limpia. Pero empezamos por el principio. ¿Qué es eso de una "sala limpia"? ¿Es que los despachos donde trabajamos están sucios? ¿No los dejan todas las mañanas Rosi et al. como los chorros del oro? ¿Y acaso no somos los científicos gente aseada que nos duchamos todos los días? Sí, vale, todo eso es cierto –salvo, en algunos casos, lo último–, pero una sala limpia, también llamada sala blanca, va mucho más allá. Estos entornos se caracterizan porque en su interior el nivel de contaminación

se mantiene bajo control, para lo cual se aplican varias técnicas. Por ejemplo, inyectar aire procedente del exterior haciéndolo pasar a través de varias etapas de filtros de eficacia creciente, diseñar los interiores sin esquinas para evitar la acumulación de suciedad o utilizar materiales –no solo en la etapa de construcción de la sala, sino también durante su uso posterior– que no liberen partículas. Además, el aire del interior de la sala se mantiene a mayor presión que el de las zonas de acceso y vestuario, con el objeto de crear un flujo de aire hacia el exterior que evacúe las partículas en suspensión cuando se abren las puertas. Dicho todo

esto, queda claro que la respuesta correcta a la pregunta que planteábamos es la d (una cucaracha sí puede entrar en una sala limpia). Y es que la normativa de salas limpias clasifica las instalaciones en función del número máximo de partículas mayores de un determinado diámetro dentro de un volumen de aire. Las salas limpias del IAA son de clase 100.000 (en realidad, clase 8 según la actualizada, aunque menos intuitiva, clasificación ISO), lo cual quiere decir que hay menos de 100.000 partículas mayores de media micra por pie cúbico de aire en sala. Sin embargo, la normativa no dice nada de cucarachas. Incluso si consideráramos a estos simpáticos insectos como partículas, habría que tratarlas a título individual, y una sola partícula más en la sala no haría que se perdiera la calificación. Por otra parte, la respuesta b (sí que

puede entrar, siempre que rellene el formulario de reserva) podría ser correcta si considerásemos a la cucaracha como usuario, pero no si le diéramos el rango de partícula. Las partículas no tienen por qué rellenar el formulario. LOS USUARIOS SÍ, LEÑE! \*. Por último, decir que la respuesta c (sí puede entrar, si rellena el formulario y utiliza vestimenta adecuada) no es más correcta que la b, incluso si consideráramos a la cucaracha como usuario. Las mayores fuentes de contaminación en salas limpias son la suciedad adherida al calzado, las partículas presentes en el cabello y las escamas y células de la piel muerta (lo cual justifica la obligatoriedad de ponerse patucos, gorro y bata, respectivamente), por lo que el hecho de que los dictiópteros no tengan ni pelo, ni piel, ni zapatos, nos revela una cruda realidad: somos más sucios que las cucarachas.

## la pregunta:

Para introducir el próximo tema voy a remontarme a unos cuantos años atrás. Como todos los que ya tenemos uso de razón cuando España fracasó en su mundial, yo crecí con la vista puesta en una mítica fecha: el año 2000. Mi imaginación volaba hacia las imágenes con las que las películas de ciencia ficción habían inundado nuestras cabezas: coches voladores, colonización espacial, robots que nos hacían la comida... Desde mediados de los noventa vivimos distraídos por la posibilidad de que el mundo civilizado se paralizara con el nuevo siglo por un pequeño bug informático, pero una vez comprobamos con alivio y –para qué vamos a negarlo– con cierta decepción, que el efecto 2000 era una soberana memez, nos dimos cuenta

de que la realidad no era como nos la habían pintado. Ni siquiera ahora, más de una década después, se han hecho realidad aquellas imágenes: los coches no vuelan por las calles, no hemos llegado ni a Marte y a los robots los vemos solo en los telediarrios de Matías Prats. Sin embargo, no quiere decir esto que la tecnología se haya detenido. Más bien al contrario, ha avanzado con pasos gigantes, aunque muchas de las innovaciones se limitan a aplicaciones muy especializadas y otras permanecen, de momento, en laboratorios lejos del conocimiento del común de los mortales. Pero hay, vaya si los hay, inventos de esos que hace treinta años muy pocos soñaban. Según una reciente encuesta realizada entre más de dos personas (mis compañeros de despacho y yo mismo), los avances más



espectaculares para el hombre de la calle han sido tres: la posibilidad de estar continuamente interconectados (teléfonos móviles), el acceso instantáneo a cantidades ingentes de información (Internet) y la capacidad de conocer nuestra posición en cualquier punto del planeta (GPS).

Esta última, en concreto, es una innovación realmente sorprendente, cuya familiaridad y sencillez de uso nos hace olvidar su complejidad tecnológica. En el próximo número intentaremos arrojar algo de luz sobre ello, para lo cual la pregunta que planteamos en este es...

### ¿CUÁL DE ESTOS DATOS RELATIVOS AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL ES FALSO?

- A) PRECISIÓN EN LOCALIZACIÓN: ¡UNOS CENTÍMETROS!
- B) PRECISIÓN EN TIEMPO: ¡MILMILLONÉSIMAS DE SEGUNDO!
- C) NÚMERO DE SATÉLITES: ¡78!
- D) ALTURA DE LOS SATÉLITES: ¡MÁS DE 20000 KILÓMETROS!



# LA VÍA LÁCTEA

## INTRO

Galaxia es un nombre antiguo para un concepto moderno. En 1925, Edwin Hubble confirmó que Andrómeda no era una nebulosa de gas dentro de nuestro propio, y hasta entonces único, sistema estelar, sino otro universo isla, otro lejano conglomerado de gas y estrellas. El mismo Hubble no tardó en publicar la correlación entre la velocidad y la distancia de estos objetos respecto a un observador galáctico, que se tradujo en la expansión del universo. Aparte de sus implicaciones cosmológi-

cas, este descubrimiento abría también las puertas a la investigación de la Vía Láctea. Los objetivos eran fáciles de elegir y difíciles de conseguir: ¿Cómo se formó nuestra Galaxia?, ¿cómo evolucionó?, y ¿cómo es ahora? El programa tenía sus fundamentos metodológicos en tres puntos de referencia: a) Puedo conocer las propiedades del gas y las estrellas en diferentes regiones de la Vía Láctea (desde dentro); b) puedo comparar lo que observo con las imágenes de otras galaxias y verificar si son o no de la familia y qué grado de parentesco tienen; y c) conforme vaya hacia

corrimientos al rojo (velocidades) muy altos estaré viendo galaxias formadas en las primeras etapas del Big Bang y puedo, por lo tanto, intentar establecer un modelo de evolución temporal de estos objetos.

Desde entonces se han dado varios pasos en la dirección adecuada. Algunos tuvieron que ver con el desarrollo tecnológico -detectores en otras longitudes de onda o situados en el espacio-, mientras que otros provinieron del conocimiento, trabajo y pasión que los astrónomos del mundo ponen diariamente en analizar estos datos.

## Pilares científicos

Es una galaxia espiral con una masa total similar a la de Andrómeda, que muestra cuatro brazos cuando la observamos en las longitudes de onda más azules y solo dos cuando nos movemos al infrarrojo cercano. Está formada por cinco grandes subsistemas: [1] Un disco galáctico joven (disco fino) constituido por gas y estrellas en una proporción de 1:9 en masa, con rotación diferencial (varía con el radio de una forma no lineal) y un alto valor de velocidad de rotación, 260 km/s, en las cercanías del Sol. Los objetos del disco son jóvenes y ricos en metales. [2] Un disco grueso formado por estrellas más viejas y menos metálicas, que parece rotar a una velocidad inferior a la del disco fino (en torno a un 60% de la velocidad del disco fino en la vecindad solar). Se estima un espesor promedio de cinco veces el disco fino. [3] Un halo estelar formado por las estrellas más viejas de la Galaxia; poco denso, alberga los cúmulos globulares. [4] Un bulbo con forma de cacahuete que parece mostrar una mezcla de poblaciones estelares, con diferentes edades y metalicidades, y que gira lentamente. [5] Un agujero negro central con una masa de unos 3,5 millones de masas solares rodeado por una población estelar de naturaleza incierta.

A mediados de los 90, dos experimentos fundamentales dieron la pista para explicar la formación de las galaxias observadas en nuestro universo local. La imagen más profunda del universo (*Hubble Deep Field*) y, por lo tanto, la que mostraba las galaxias más primitivas, indicaba que, en promedio, estas eran más pequeñas que las observadas hoy día y que presentaban una alta frecuencia de interacción. Las galaxias parecían crecer devorando a las más pequeñas que entraban en su trampa gravitatoria. En 1995 un resultado fortuito mostró que la Vía Láctea estaba engullendo a la galaxia enana de Sagitario. Nuestra Galaxia parecía crecer de la misma forma. Pero, ¿todas las galaxias se forman así? Pues parece que sí: la distribución de galaxias a gran escala, caracterizada por una mezcla de filamentos, nudos, y huecos (como un jersey de punto visto al microscopio) es actualmente reproducible por modelos dominados por la materia oscura que interacciona gravitatoriamente dentro de un marco de energía oscura. En esos modelos vemos a las galaxias interactuar, chocar y formar nuevos objetos más masivos y con un alto grado de estructura. A esta escala todo parece concordar. Entonces, ¿cuál es el problema?

## Incertidumbres

Cuando nos movemos a la escala de una galaxia, cuando nos fijamos en sus diferentes componentes, las predicciones de nuestra más avanzada cosmología parecen ir en contra de lo observado. Si la formación de la Galaxia es un proceso jerárquico de menor a mayor, con múltiples interacciones, encuentros y choques a lo largo de la vida de la Galaxia, estructuras como el disco fino deberían de ser *rara avis* y no ubicuas como se observa. Los choques e interacciones deberían transformar esta frágil componente en otra morfología más "caliente", un bulbo o un disco grueso pero, en cambio, ahí está. El número de interacciones y encuentros con otras galaxias satélites, ocurridas a lo largo de su vida, deberían dejar numerosos escombros estelares en el halo procedentes de estos objetos. Sin embargo se han detectado pocas huellas del paso de estos satélites (el problema de los satélites desaparecidos).

EL BULBO GALÁCTICO, FOTOGRAFIADO POR EL SATÉLITE COBE (NASA)

## Conclusiones

La Vía Láctea es un estupendo laboratorio para la cosmología. Las hipótesis físicas en las simulaciones cosmológicas y/o en la interpretación de las observaciones galácticas necesitan de una revisión profunda. Estas revisiones solo pueden estar basadas en un mejor conocimiento de nuestra propia Galaxia. La misión Gaia de la ESA, que nos proporcionará información sobre mil millones de estrellas de la Vía Láctea, es la gran esperanza.



# AGENDA

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

## CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

23 feb	Bernardo Herradón (IQOG-CSIC)	Todo es Química,... también en 2012
24 nov.	Ricardo Amorín (IAA-CSIC)	Las galaxias "guisante": Una visión cercana del universo primitivo

LAS CONFERENCIAS SE RETRANSMITEN A TRAVÉS DE INTERNET EN [WWW.SONOVOZ.COM](http://WWW.SONOVOZ.COM), DESDE DONDE TAMBIÉN PUEDEN DESCARGARSE SESIONES ANTERIORES



# DESTACADOS

## EL RADIOSCOPIO

*Hace una década se descubrió un extraño artilugio oculto en el sótano de la mansión de Faustino Morel. Se desconoce la fecha de construcción de dicho aparato, su fabricante, motivo e incluso función.*

# EL RADIOSCOPIO

Hay mucha más ciencia de la que crees

<http://radioscopio.iaa.es>

En octubre de 2011 comenzó la emisión de El Radioscopio, un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa ya ha abordado temas tan diversos como los extremófilos, el autismo, la biodiversidad, la memoria o los asteriodes. Veincinco minutos semanales de ciencia rigurosa, variada y amena.



## EYES ON THE SOLAR SYSTEM



"Eyes on the Solar System" es una aplicación en tres dimensiones desarrollada por la NASA que permite explorar a fondo el Sistema Solar: planetas, satélites y misiones a un solo click.

<http://solarsystem.nasa.gov/eyes>

## INSPIRACIENCIA

El (CSIC) convoca la segunda edición de Inspiraciencia, un concurso de relatos de inspiración científica en el que pueden participar públicos de todas las edades.

El concurso tiene dos categorías (juvenil y adultos) y dos modalidades (relatos cortos y microrelatos). Como novedad de esta edición, ade-

más de los idiomas catalán y castellano, las obras también se pueden presentar en gallego. Cada concursante podrá publicar un relato para cada modalidad.

Los relatos se pueden publicar en la web <http://www.icmab.es/inspiraciencia> Fecha límite: hasta el 15 de marzo de 2012.

<http://www.icmab.es/inspiraciencia/>



## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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 Emilio J. García (Tel.: 958 12 13 11; e-mail: [garcia@iaa.es](mailto:garcia@iaa.es)).

