

# I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.csic.es/revista.html>  
OCTUBRE DE 2010, NÚMERO 32

## Un laboratorio de polvo cósmico

Agua en la Luna  
Multiversos y cómic  
Zoom al centro galáctico

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

<http://www.iaa.es>

**Directora:** Silbia López de Lacalle. **Comité de redacción:** Antxon Alberdi, 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. **Imprime:** ELOPRINT S.L.  
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: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

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

# SUMARIO

## REPORTAJES

El laboratorio de polvo cósmico del IAA ...2

La interminable historia del agua en la Luna ...6

Multiversos y cómics ...9

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA. Caroline Herschel ...13

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Zoom al centro galáctico ...14

EL "MOBY DICK" DE... Marta González (IAA-CSIC)...16

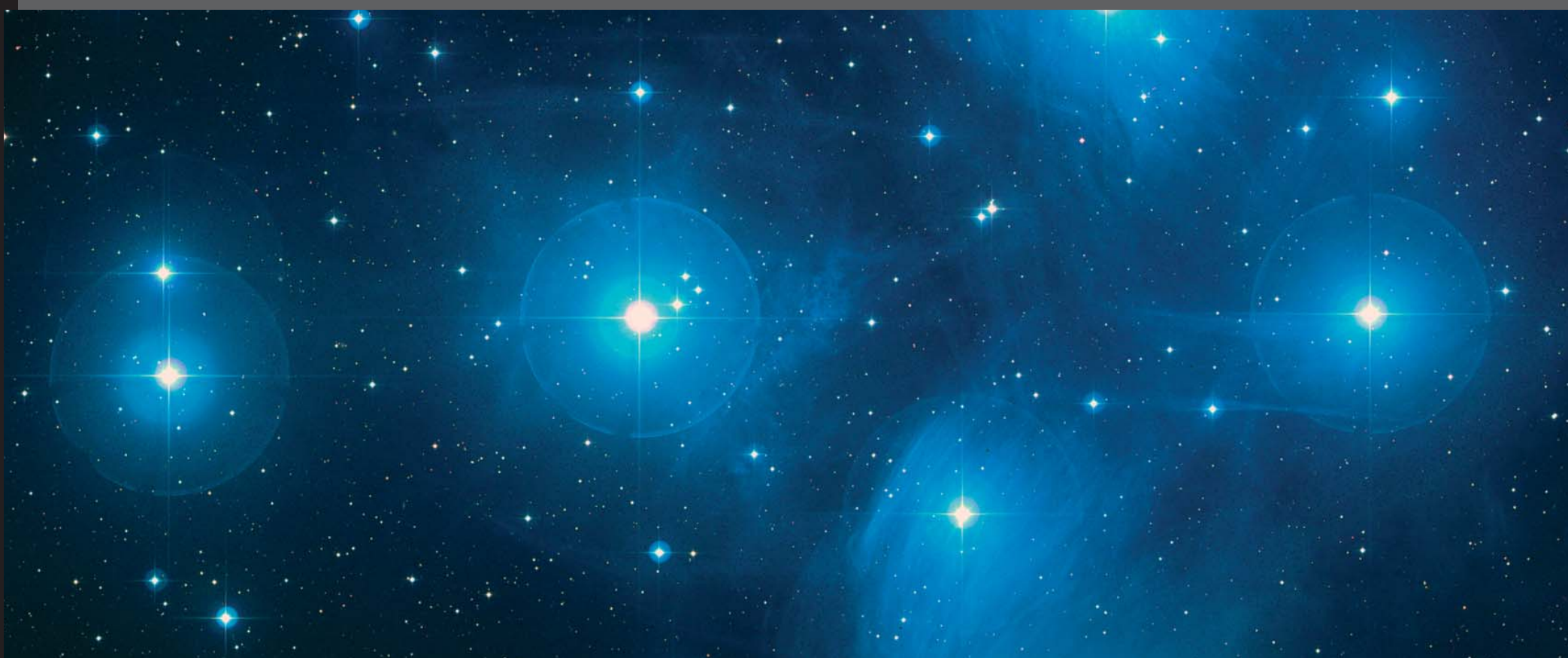
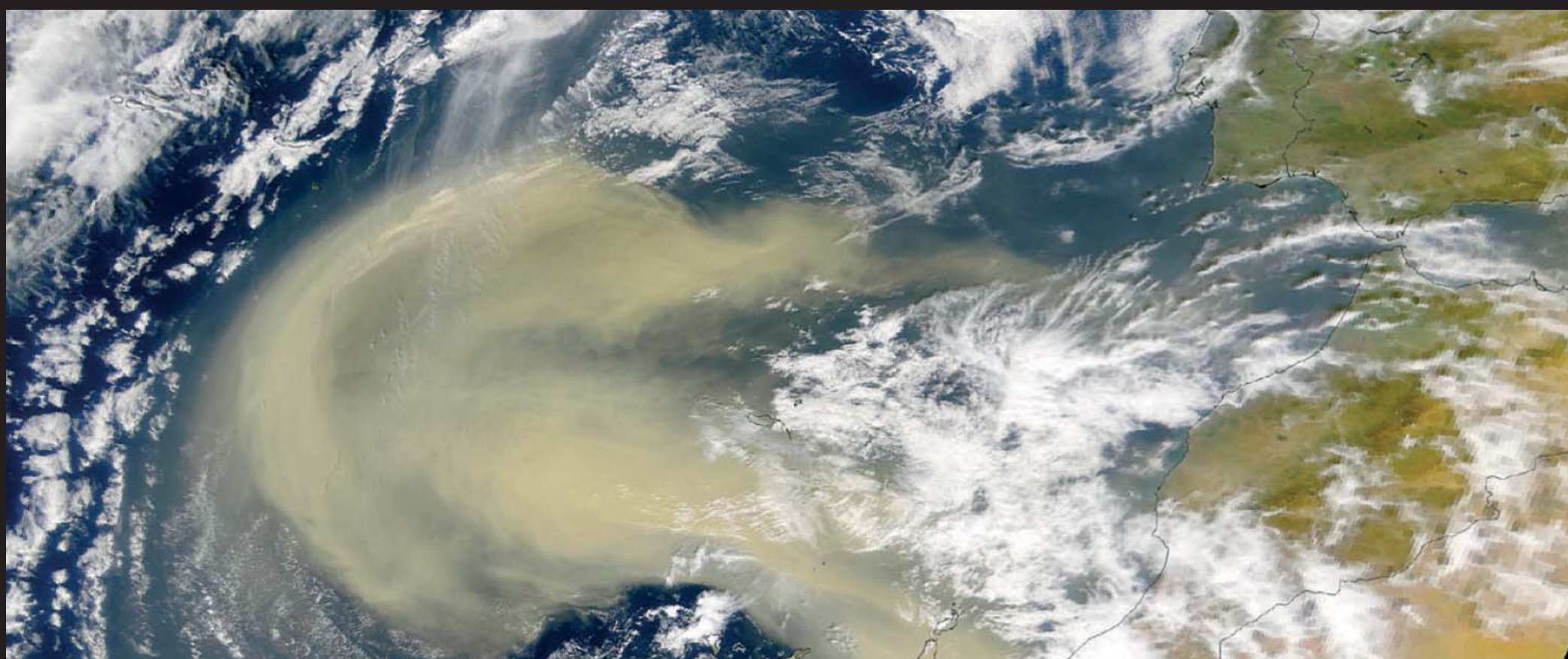
ACTUALIDAD ...17

ENTRE BASTIDORES ...21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES

Tormentas solares ...22

ACTIVIDADES IAA, AGENDA Y RECOMENDADOS ...23 y 24



Dos escenarios donde el polvo es protagonista: una tormenta de arena procedente del Sahara y el cúmulo estelar de las Pléyades. Fuentes: SeaWiFS Project (NASA/GSFC and ORBIMAGE) y HST.

# El laboratorio de polvo cósmico del IAA

**PERMITE ESTUDIAR EL EFECTO DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO EN AMBIENTES DIVERSOS, COMO LA TIERRA, LOS COMETAS O INCLUSO LOS CÚMULOS ESTELARES**

Por Olga Muñoz (IAA-CSIC)

**EN ASTRONOMÍA, CUANDO HABLAMOS DE POLVO NO NOS REFERIMOS AL POLVO QUE SOLEMOS ENCONTRAR EN NUESTRAS CASAS.** El polvo de las casas está formado, entre otras cosas, por fibras textiles, pelos humanos y animales, pequeñas escamas de piel, esporas y demás. Los astrónomos llamamos polvo a pequeñas partículas en estado sólido compuestas, por ejemplo, de silicatos o distintos tipos de carbón.

Podemos encontrar estas partículas en las atmósferas planetarias y cometarias, en el medio interplanetario, en nebulosas de reflexión, en atmósferas de enanas marrones, etc. En la atmósfera de la Tierra también podemos encontrar partículas de polvo en suspensión (conocidas como aerosoles) de distinto origen y composición. Por ejemplo, entre las fuentes más importantes de aerosoles terrestres podemos destacar las tormentas de polvo de los grandes

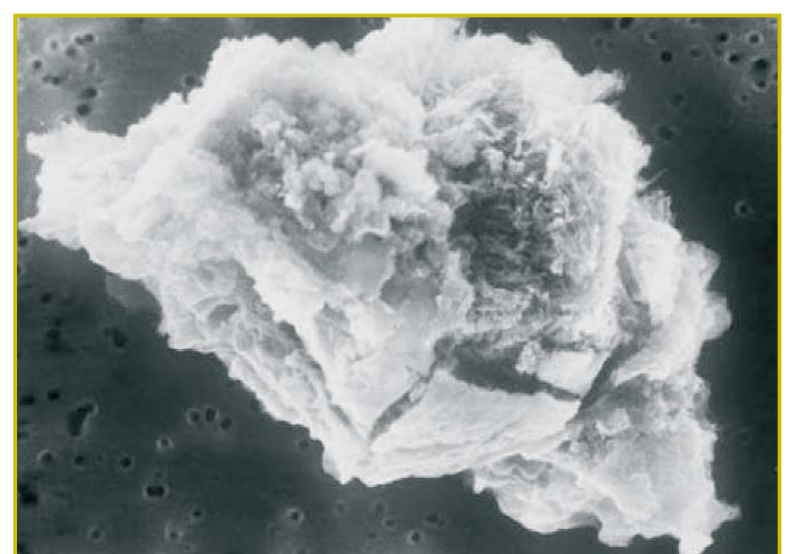
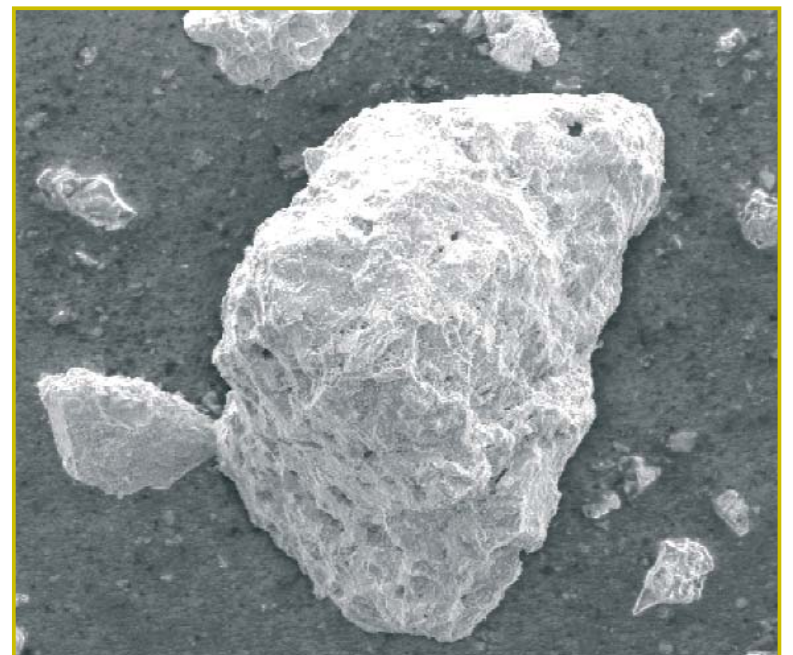
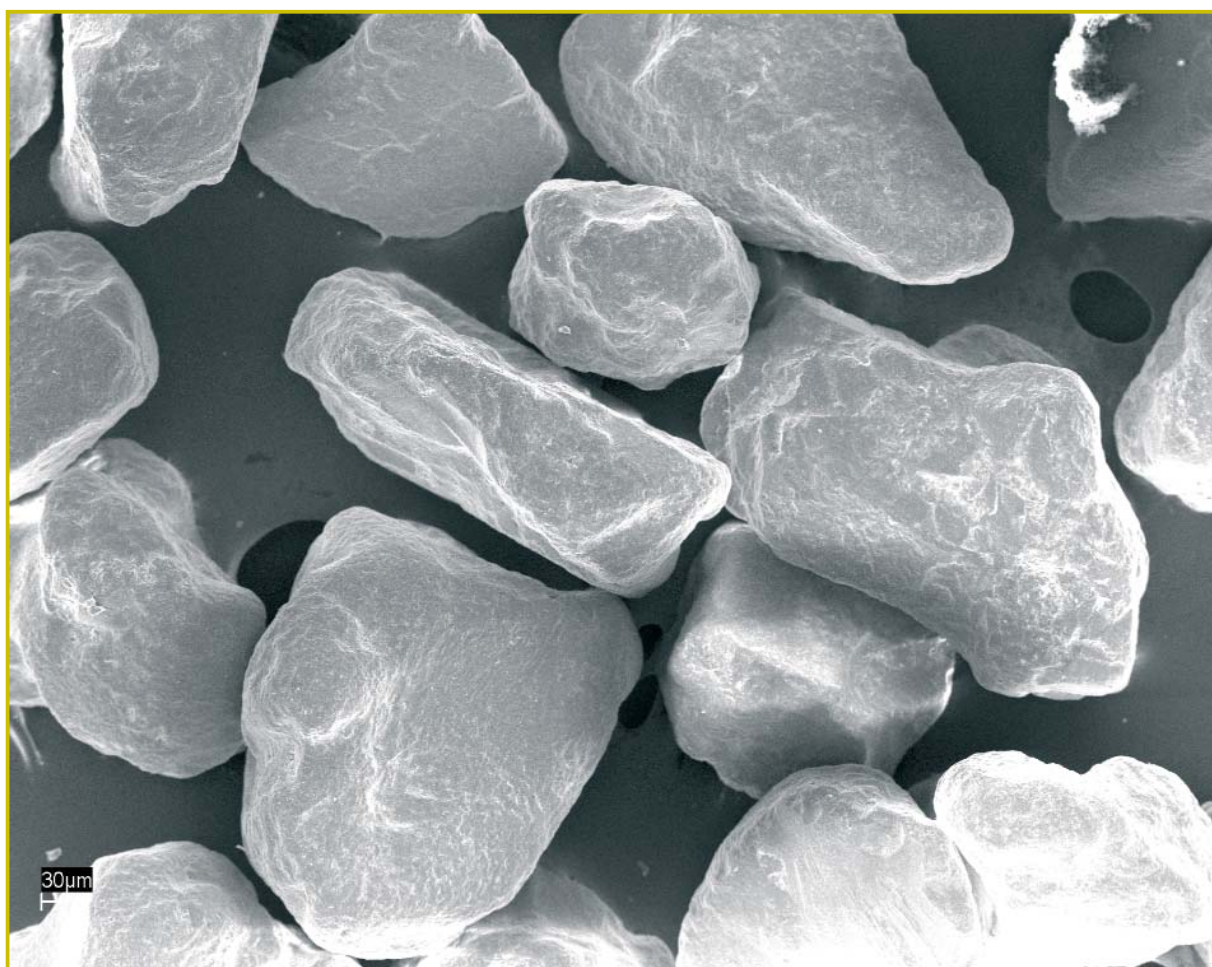
desiertos como el Sahara y el Gobi, las erupciones volcánicas o la polución.

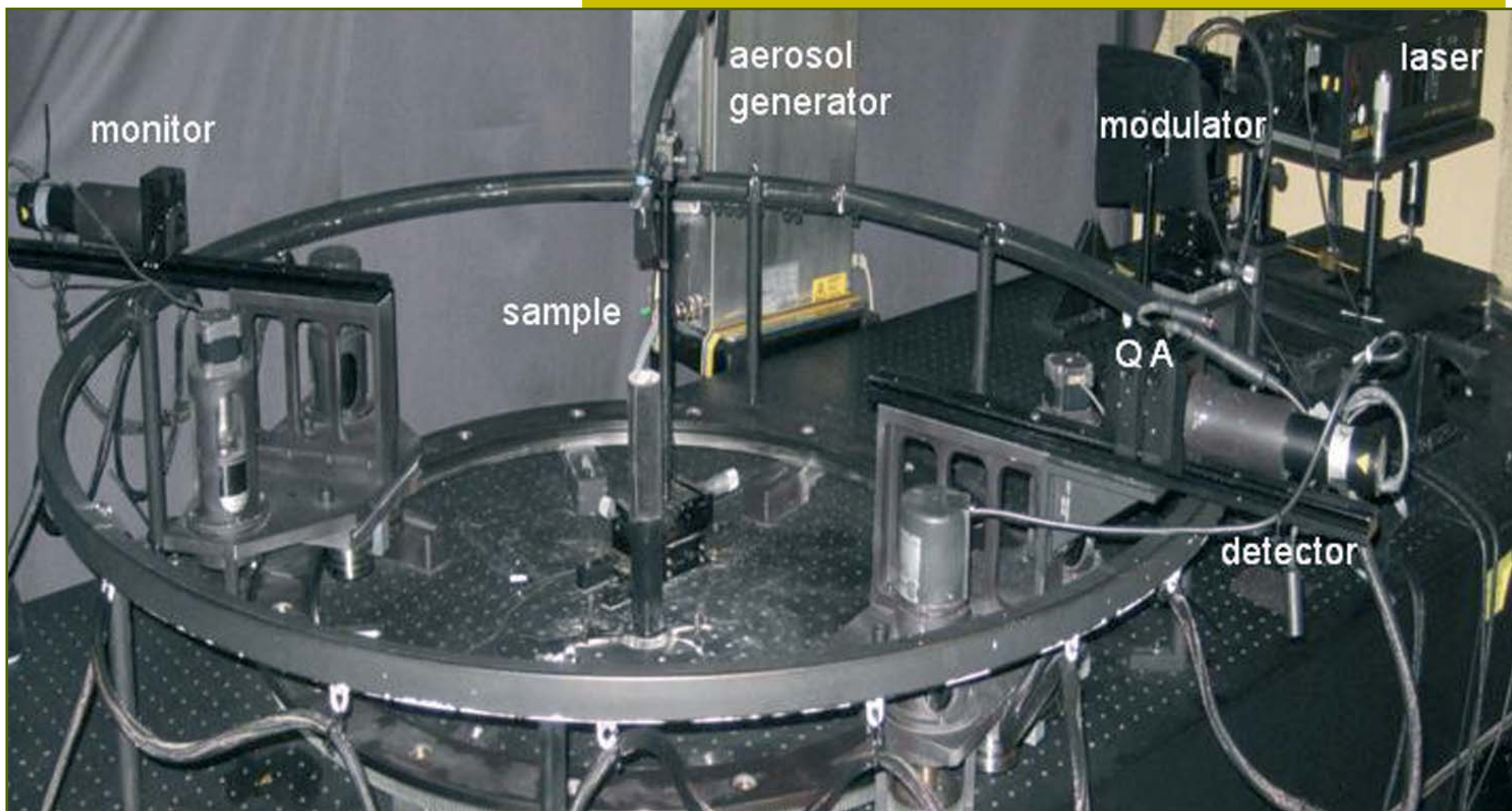
Y, ¿a qué se debe el interés por estudiar estas partículas de polvo? En el caso de la atmósfera de la Tierra, los aerosoles afectan directamente al clima por su interacción con la radiación solar y con la procedente de la superficie terrestre, y de una forma indirecta por su efecto en la microfísica de las nubes. Un efecto global de los aerosoles atmosféricos es el calentamiento o enfriamiento de la Tierra, y el efecto final dependerá en gran medida del tamaño de los aerosoles. El tamaño de las partículas debe ser similar a la longitud de onda de la radiación incidente (en este caso la solar) para que afecte significativamente a dicha radiación. Así, el calentamiento tendrá lugar cuando las partículas sean del orden de la micra o mayores, ya que las

## PARTÍCULAS DE POLVO

Fotografías de microscopio electrónico de diferentes partículas de polvo: ceniza volcánica del monte Saint Helens (debajo), arena del Sahara (debajo dcha), y ejemplo de una partícula de polvo interplanetario recogida en la atmósfera de la tierra (dcha).

Fuente: NASA/JSC/CDLF.





partículas de ese tamaño tienden a bloquear la radiación emergente (infrarroja) que procede de la superficie terrestre, lo que calienta la superficie. Las partículas de menor tamaño tienden a bloquear la radiación incidente, provocando un enfriamiento. Por lo tanto, el conocimiento del tamaño de las partículas es vital en el estudio de los efectos globales de los aerosoles en la atmósfera.

La investigación de las propiedades de los aerosoles terrestres no es únicamente importante para los estudios de la atmósfera de la Tierra, sino también para estudios astronómicos, ya que las propiedades de las partículas minerales terrestres son similares a las partículas minerales que podemos encontrar en otros planetas y cuerpos del Sistema Solar, como los cometas y asteroides. Por lo tanto, su estudio también puede ser de utilidad para el estudio del balance radiativo de otras atmósferas del Sistema Solar. Además, el conocimiento de las propiedades físicas del polvo (geometría, tamaño y composición) nos puede dar mucha información sobre sus mecanismos de formación. Por ejemplo, en el caso de los cometas, nos puede desvelar datos sobre los mecanismos de eyección desde el núcleo o, en una nube protoplanetaria, sobre cuáles son los bloques primordiales a partir de los que se forman los planetas. Las medidas de satélite (en el caso terrestre) o las observaciones astronómicas nos proporcionan una herramienta única para la

## ¿CÓMO FUNCIONA EL LABORATORIO?

Lo que hacemos en nuestro laboratorio de polvo cósmico es simular la interacción de la radiación incidente (solar o de cualquier estrella) con la nube de polvo del cuerpo de interés. La luz dispersada por esa nube de polvo es lo que recogemos con nuestros telescopios en determinadas regiones del espectro electromagnético. En nuestro caso la fuente de luz es un haz láser de argón-kriptón que puede emitir luz en cinco longitudes de onda diferentes, todas ellas en el visible (483 nm, 488 nm, 520 nm, 568 nm, 647 nm). Un generador de aerosoles produce la nube de partículas de polvo de interés que es llevada hacia el volumen de scattering (zona de intersección láser-polvo) mediante un chorro de aire a presión. Es decir, no hay ninguna vasija que contenga la muestra, con lo que evitamos reflexiones indeseables que podrían falsear nuestras medidas. Nuestro "telescopio" en el laboratorio es lo que llamamos el detector, en este caso un tubo fotomultiplicador. Dicho detector se mueve a lo largo de un anillo cubriendo un rango de ángulos de fase desde 3 a 177 grados. La óptica (modulador electro óptico, polarizador y lámina cuarto de onda) junto con la *detección lockin* nos permite medir no solo la intensidad de la radiación dispersada en función del ángulo de fase, sino también todos los posibles estados de polarización de la luz dispersada por la nube de partículas, es decir, la 4x4 matriz de scattering en función del ángulo de fase. Esto nos permitirá relacionar las características de la radiación dispersada con las propiedades físicas de las partículas que estudiamos: geometría, tamaño, composición y estructura (compacta o agregada). En la imagen superior vemos el laboratorio de polvo cósmico. En la parte central del anillo se encuentra el tubo negro de donde procede el chorro de partículas de polvo. La mancha verde es la interacción del láser (emitiendo a 520 nm) y el polvo. El detector se encuentra situado a la derecha. Otro fotomultiplicador, el monitor, se sitúa en una posición fija durante las medidas para corregir las fluctuaciones en la señal debidas al chorro continuo de partículas de polvo.

observación de la distribución global de las partículas de polvo y el estudio de su efecto en el balance radiativo del cuerpo de interés. Para ello necesitamos conocer cómo se transforma la luz de la estrella al atravesar la nube de polvo. Es decir, necesitamos saber lo que se conoce como la

matriz de *scattering* (dispersión) de la nube de polvo. Esa matriz de scattering dependerá de la dirección en la que se encuentre el observador y de las propiedades físicas de las partículas de polvo: tamaños, geometrías, composición y estructura (si son partículas compactas o

agregados). Por lo tanto, la interpretación adecuada de las observaciones astronómicas nos dará información sobre las propiedades físicas del polvo que estamos observando.

Hasta aquí hemos contado por qué estamos tan interesados en estudiar cómo las partículas de polvo dispersan la luz. La siguiente pregunta lógica buscaría el porqué de un estudio experimental: ¿por qué no desarrollar códigos capaces de reproducir el patrón de scattering de las partículas de polvo? En el caso de que las partículas de polvo tuviesen geometría esférica su patrón de scattering podría calcularse fácilmente aplicando la teoría de Lorenz-Mie usando uno de los numerosos

códigos disponibles en internet. Sin embargo, en la mayoría de los casos de interés, la asunción de que las partículas son esféricas es completamente irrealista. Al principio de este artículo presentamos imágenes de microscopio electrónico de algunos ejemplos de partículas de polvo que podemos encontrar en la atmósfera terrestre o en otras regiones del Sistema Solar. El problema que nos encontramos reside en que no existe ningún método de cálculo que proporcione la solución exacta para el scattering de luz producido por partículas de polvo cubriendo todo el rango de geometrías y tamaños que podemos encontrar en la naturaleza. Por lo tanto, el estudio experimental es hasta la

fecha la única herramienta con la que contamos para interpretar adecuadamente los datos de brillo y polarización tanto de los satélites terrestres como de las observaciones astronómicas de regiones del espacio donde haya polvo.

REFERENCIAS

Muñoz, O. et al. *Experimental determination of scattering matrices of olivine and Allende meteorite particles.* A&A2000;360:777-788.  
 Muñoz, O. et al. *The new IAA Light scattering apparatus.* JQSRT 2010; 111: 187-196.  
 Volten H. et al. *Experimental light scattering by fluffy aggregates of magnesiosilica, ferrosilica, and alumina cosmic dust analogs.* A&A2007;470(1):377-386.

AVANZADO

POLVO COMETARIO

¿Qué tipo de muestras medimos en el laboratorio? Cuando queremos estudiar aerosoles terrestres solemos trabajar con muestras reales. Es decir, arena del desierto (recogida a distancias suficientemente grandes del desierto como para que la muestra sea representativa de lo que podemos encontrar en la atmósfera), cenizas volcánicas, etc. Y en el caso de los cuerpos astronómicos, solemos trabajar con lo que se conoce como análogos, esto es, una muestra terrestre que presente las mismas características espectrales que el polvo del cuerpo astronómico de interés.

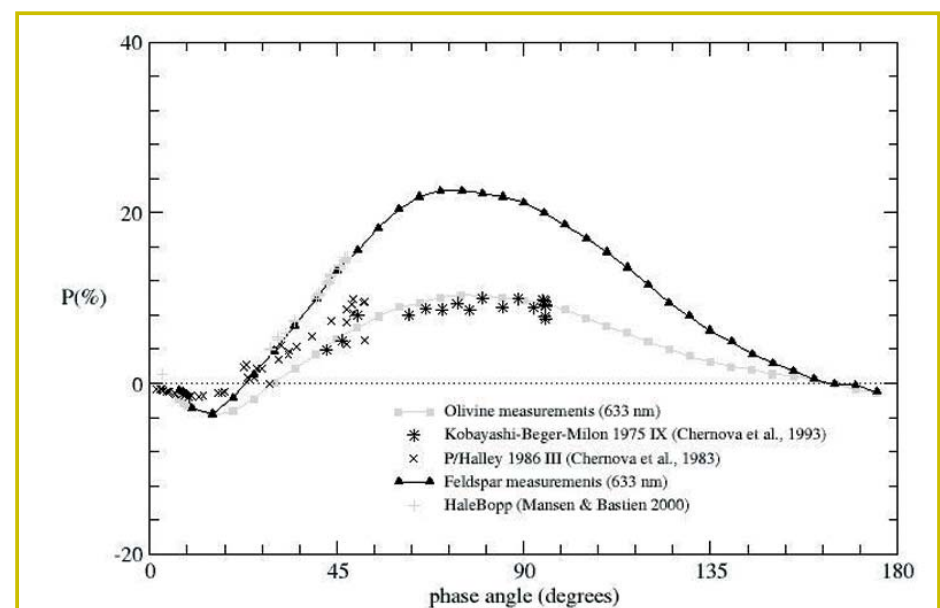
En la gráfica presentamos un ejemplo de la aplicación directa de las medidas del laboratorio de polvo cósmico para la interpretación de las observaciones astronómicas. En este caso el cuerpo de interés son los cometas. Sabemos que la coma de un cometa es una nube de gas y partículas sólidas que son expulsadas desde el núcleo. Un cometa que no esté demasiado alejado del Sol puede tener también una cola de polvo y otra de plasma, como vemos en la imagen del Hale Bopp. El polvo de la coma y de la cola es iluminado por el Sol y esta radiación solar es dispersada por el polvo en todas las direcciones. Las observaciones del brillo de los cometas presentan una

complejidad extrema por su gran variabilidad temporal: el núcleo expulsa polvo de forma continua, por lo que si queremos hacer observaciones a distintos ángulos de fase conforme el cometa se va moviendo en su órbita, la calibración de las observaciones es sumamente complicada porque el número de partículas de polvo (y por tanto el brillo) del cometa variará a cada instante.

Afortunadamente, el grado de polarización lineal de la luz dispersada por las partículas en la coma no depende del número de partículas de polvo en el momento de la observación. Esto ha permitido obtener observaciones bastante precisas del grado de polarización lineal en función del ángulo de fase de una gran cantidad de cometas. La curiosidad de estas observaciones reside en que todas ellas, independientemente del tipo de cometa, presentan una forma típica de campana con un máximo alrededor de 90 grados (ángulo de fase) con una pequeña rama negativa a pequeños ángulos de fase. La única diferencia encontrada entre unos cometas y otros consistía en que el máximo a 90 grados podía variar entre un 10-15 por ciento y un 25-30 por ciento dependiendo del cometa. La geometría y la estructura de las partículas de polvo cometario han sido y siguen siendo tema de



Hale Bopp (Ames Astronomers).



Medidas de polarización lineal para olivino y feldespato. Las medidas experimentales se comparan con observaciones de distintos cometas.

debate. Durante mucho tiempo se venía proponiendo que las partículas de polvo cometario eran agregados porosos pero, como han demostrado las medidas de laboratorio, este tipo de agregados producirían máximos de polarización demasiado altos para explicar las observaciones de los cometas. Sin embargo, las medidas de laboratorio han demostra-

do que las partículas irregulares compactas pueden reproducir las observaciones de polarización lineal de los cometas (gráfica). Como también indican las medidas de laboratorio, las diferencias en el máximo del grado de polarización lineal observadas en distintos cometas son atribuibles a diferencias en los tamaños de las partículas.

# La interminable historia del agua en la Luna

**AUNQUE EL DEBATE SOBRE EL AGUA EN LA LUNA SE REMONTA A LOS AÑOS SETENTA DEL SIGLO PASADO, PARECE QUE EL CONSENSO AÚN QUEDA LEJOS**

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

**RESULTA CURIOSA LA EVOLUCIÓN DE LAS NOTICIAS** desde su origen, el artículo científico, hasta lo que podríamos considerar su último receptor, el público general: lo que en el primero puede ser un indicio de que existe agua en la Luna, y que además compite con otras explicaciones menos excitantes, se convierte, tras un periplo por gabinetes de prensa, revistas especializadas y medios generalistas, en la existencia inequívoca de agua en la Luna -toneladas de ella-, lo que lleva a su vez a la posibilidad incuestionable de colonizar nuestro único satélite natural.

Los encuentros (y desencuentros) de agua en la Luna se suceden sin apenas contextualización, de modo que quienes leemos las noticias descubrimos cada seis meses que la Luna está seca o mojada, sin apenas entender por qué. Así que este artículo busca aportar un contexto al tema: ¿hay de verdad agua en la Luna? Y, lo que es más importante, ¿qué indicios o pruebas tenemos de ello? Al indagar un poco sorprende el rotundo desacuerdo sobre el tema, de modo que es prácticamente imposible responder a la primera pregunta. Pero sí podemos investigar sobre la segunda, de modo que nuestro criterio nos permita determinar cuándo hay un exceso de interpretación, casi siempre debido al deseo de demostrar que nuestro satélite alberga agua.

Desde hace mucho se sabe que la Luna no puede retener agua líquida ni vapor de agua, de modo que las opciones se limitan a dos: que exista en bajas concentraciones en forma de minerales hidratados o de



Una de las muestras obtenidas por el programa Apolo (NASA).

forma difusa en la superficie o, y esta es la gran esperanza si se piensa en asentamientos lunares, en forma de hielo en los cráteres polares. Algunos de estos cráteres nunca reciben luz solar y se consideran “trampas frías”, es decir, regiones donde el hielo, quizá procedente de meteoritos o cometas, o incluso acumulado lentamente durante miles de millones de años, puede conservarse estable durante periodos geológicos. Y, para determinar si existe agua en estas formas, se emplean varios medios. El primero, y quizá el más capaz de dirimir la cuestión, es la toma de muestras: contamos con 327 gramos de “luna” traídos a la Tierra por las misiones lunares soviéticas y con los más de 380 kilos de las misiones estadounidenses Apolo. El problema de las muestras reside en que son locales, y sus resultados pueden no ser generalizables al resto de la geografía

lunar. Para una investigación global se emplean técnicas indirectas, como la espectroscopía y el radar. Pero, como siempre puede existir ambigüedad en la interpretación de los datos obtenidos remotamente, por mucha calidad que tengan, lo idóneo sería taladrar el suelo donde las técnicas indirectas apuntan a la existencia de hielo y analizarlo. Y parece que eso no se producirá en breve.

## Muestras lunares

Como el tema resulta muy complejo y hay teorías para todos los gustos, comenzaremos con lo fácil: ¿qué nos dicen los casi 400 kilos de polvo y roca lunares de que disponemos? ¿Hay agua en la Luna? Pues sí y no (esta respuesta va a ser una constante a lo largo de todo este artículo). Ciento setenta gramos de ese material, recogidos en 1976 por la sonda soviética Luna 24 mediante un taladro que obtuvo una muestra de dos metros de profundidad, fueron examinados en Moscú y, según los investigadores, no solo contenía un 0,1% de agua, sino que la proporción iba en aumento con la profundidad. El estudio señalaba que la muestra no parecía presentar tendencia a absorber el agua ambiental, pero tampoco negaron por completo la posibilidad de que se hubiera contaminado en el laboratorio. En cambio, las muestras de las misiones Apolo, mucho más secas que la mayoría de los meteoritos, enterraron la esperanza de hallar agua en la Luna y los resultados soviéticos nunca llegaron a tener repercusión o a ser revisados.

Lo que sí fue revisado, en 2008, es parte de las muestras del programa Apolo y, en particular, un tipo de guijarros conocidos como cristales lunares volcánicos, formados hace más de tres mil millones de años cuando la Luna sí presentaba vulcanismo. Empleando una técnica más precisa que las antes utilizadas, un grupo estadounidense halló agua, cloro, flúor y azufre en los diminutos cristales y en pequeñas pro-

porciones (46 partes por millón en el caso del agua), y distinguieron un patrón que parecía indicar que los gases se hallaban en un proceso de escape. Incluso elaboraron modelos que, basándose en ese proceso, podrían calcular la cantidad de agua que entonces albergaba la Luna, y que resultaba similar a la que contiene el manto terrestre. Aunque en este caso estaríamos hablando de agua existente en un pasado remoto y que se perdió debido a las erupciones volcánicas, tampoco hay consenso entre la comunidad científica: el pasado año, un grupo de geoquímicos descubrió que la proporción de cloro en los cristales lunares volcánicos apuntaba, nuevamente, a que la Luna siempre ha estado seca. El estudio se basaba en las cantidades de cloro 35 y cloro 37, los dos isótopos estables del cloro que, en la Tierra, mantienen una proporción de tres a uno debido en cierto sentido a la existencia de agua: durante las erupciones volcánicas, el cloro 35 escapa en forma de vapor mucho más rápido que el cloro 37 que, sin embargo, también consigue escapar en forma de vapor al enlazarse con el hidrógeno. De este modo, los efectos se cancelan. Pero en un mundo carente de hidrógeno (y por lo tanto de agua, ya que el hidrógeno es su principal constituyente y uno de sus trazadores), el cloro 35 sigue escapándose mientras que el cloro 37 permanece en el magma. Y como las proporciones de cloro lunares coinciden con este escenario, los investigadores concluyeron que el contenido de hidrógeno en el magma lunar es realmente escaso.

En cualquier caso, las muestras nunca son concluyentes a no ser que la afirmación sea rotunda: siempre puede pensarse que el agua puede estar donde no se excavó y, de hecho, tanto el programa soviético Luna como el estadounidense Apolo se limitaron a las regiones ecuatoriales. Había que buscar más.

### En busca de átomos y moléculas

En 1998, la NASA lanzó la misión Lunar Prospector, que permaneció en órbita en torno a la Luna durante dieciocho meses. Uno de sus instrumentos estaba diseñado para detectar excesos de hidrógeno en los cincuenta centímetros superiores del suelo lunar, lo que puede constituir un indicio de la existencia de agua dado que el hidrógeno es su principal componente. Los resultados indicaron, de hecho, un exceso de hidrógeno en ambos polos, lo que podría suponer la existencia de agua pero, también, de hidrógeno molecular o de hidró-



*El hielo en los cráteres oscuros constituye la gran esperanza si se piensa en asentamientos humanos*

*¿Hay agua en la Luna? Pues sí y no (esta respuesta va a ser una constante a lo largo de todo este artículo)*

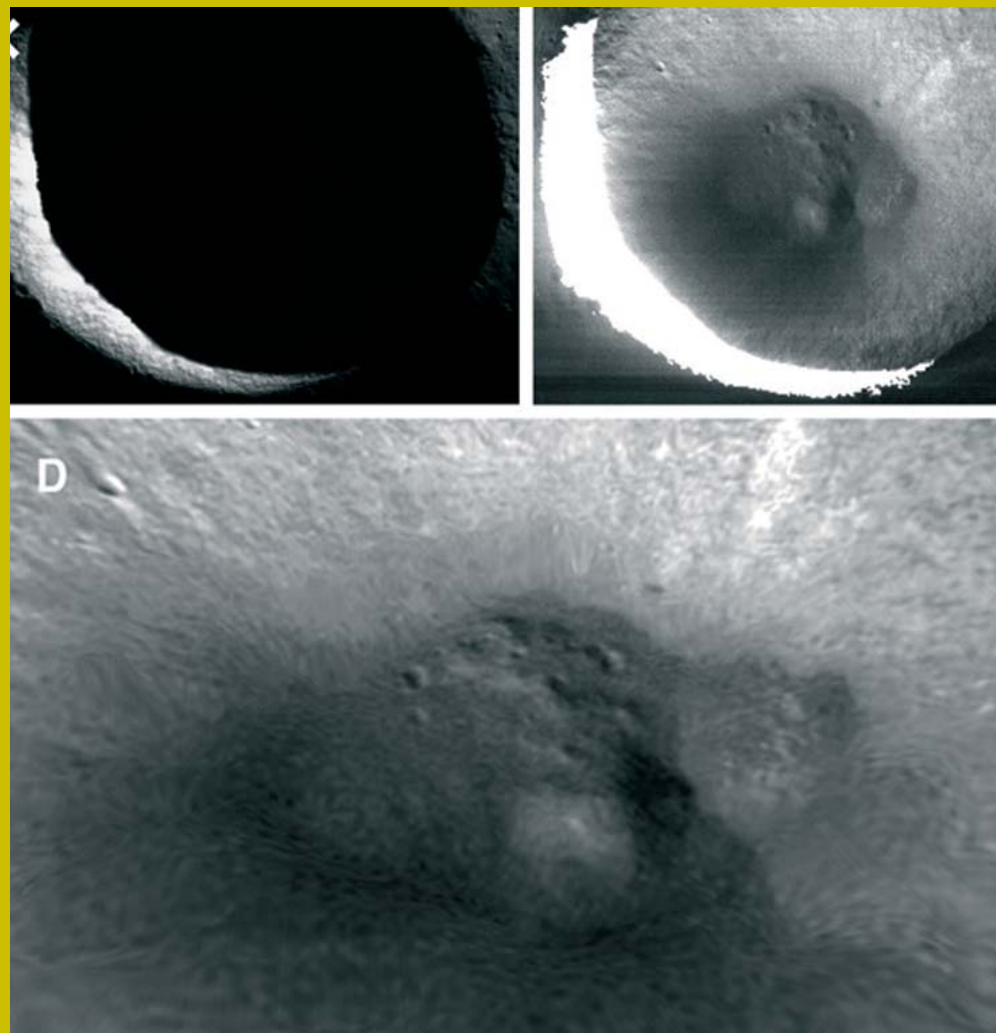
geno atrapado en otras moléculas. Así, los datos de esta técnica, también empleada por la misión Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) con resultados positivos, deberían ir acompañados de ciertas dosis de precaución: constituyen un indicador que señala hacia dónde mirar en la búsqueda de agua, pero no garantizan su presencia.

Otra opción para cartografiar las regiones que puedan contener agua consiste en buscar un grupo molecular determinado: se sabe que el grupo OH, es decir, las moléculas formadas por hidrógeno y oxígeno entre las que se encuentra el agua (formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno) absorben la luz en ciertas longitudes de onda. Existe, por ejemplo, una absorción muy clara en el infrarrojo, en la línea de tres micras, que puede detectarse

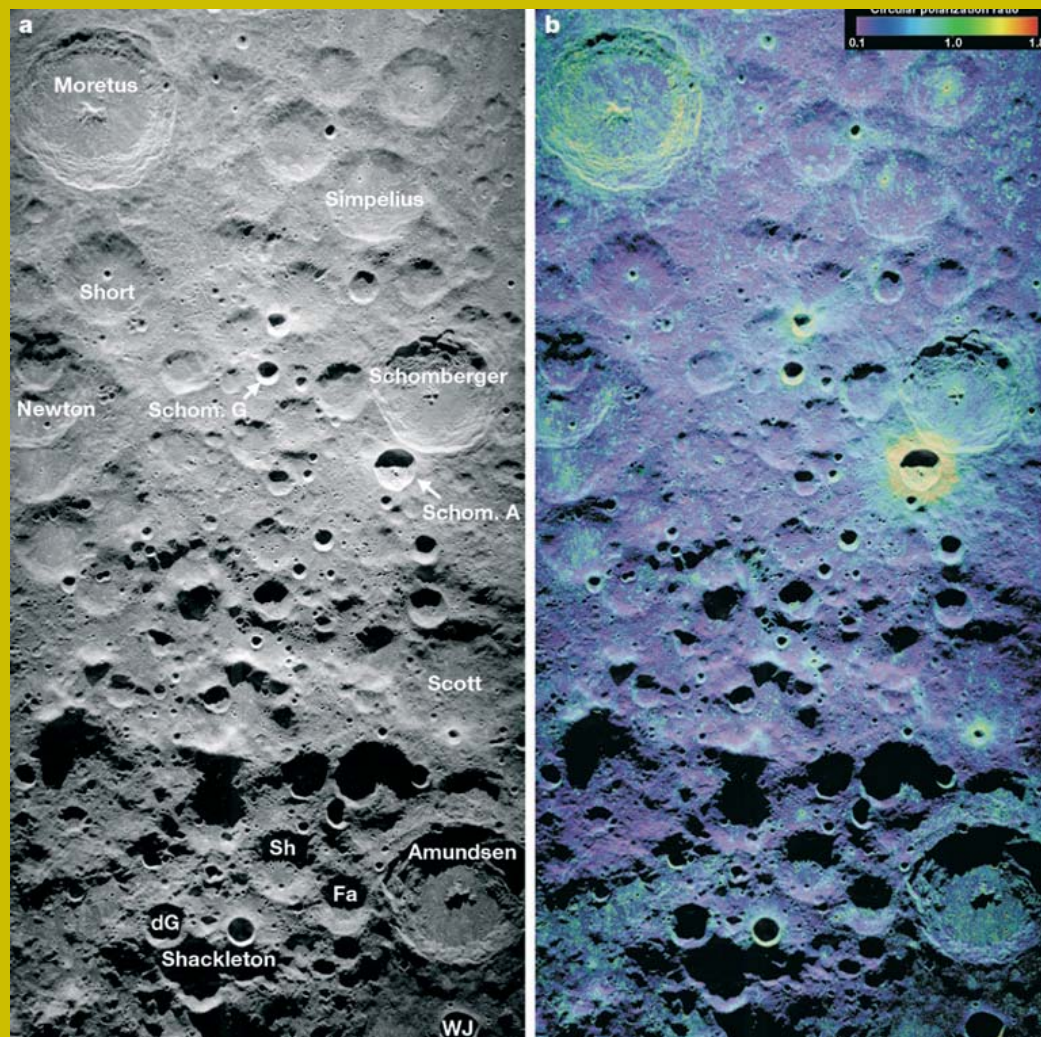
con un espectroscopio y que constituye una traza clara de este grupo molecular. Este método hizo posible un hallazgo que, en 2009, tuvo gran repercusión: un instrumento a bordo de la misión india Chandrayaan 1 halló la típica absorción de tres micras prácticamente a lo largo de toda la superficie lunar, y fue confirmada con el análisis de los datos que obtuvo la misión Cassini en su sobrevuelo en 1999 y por la misión Deep Impact, que vuela hacia su encuentro con un cometa. Pero esta señal no apunta solo a la existencia de agua, sino que también puede deberse a la existencia de otro material, el hidroxilo, cuya molécula está formada por un átomo de hidrógeno y otro de oxígeno. Y, de momento, no se dispone de un método para distinguirlos. Sin embargo, se han hallado cambios en la intensidad de la señal con respecto a los ciclos día y noche: por ejemplo, en las regiones ecuatoriales que alcanzan altas temperaturas durante el día, la señal se disipa para volver a aparecer con la oscuridad. Dado que las moléculas de OH deben estar enlazadas con los minerales de la superficie, y que el hidroxilo muestra enlaces más fuertes que el agua y, por lo tanto, menos capacidad de variación, se cree que la señal puede atribuirse a un ciclo de agua: los átomos de hidrógeno procedentes del viento solar pueden reaccionar con los minerales lunares que contienen oxígeno y producir agua en la superficie, que se disipa con la luz solar y resurge cuando cae la noche y bajan las temperaturas. Pero hay que destacar que, aunque lo que produce la señal sean moléculas de agua y no de hidroxilo, estaríamos hablando de cantidades de agua inferiores a las existentes en el desierto más seco de la Tierra.

### ¿Hielo o rugosidad?

Otro de los grandes debates con respecto al agua lunar ha girado en torno a las investigaciones con radar, que permiten "ver" en las regiones oscurecidas y cuyo funcionamiento, aunque plagado de términos algo complejos, resulta comprensible: se emite una señal en la longitud de onda de radio que posee una polarización circular hacia la derecha y se observa cómo esa señal rebota desde la región lunar donde se apuntó. Y, dependiendo de cómo nos sea devuelta la señal, conoceremos el tipo de superficie sobre la que incidió. En las regiones ecuatoriales de la Luna, como aquellas donde aterrizaron las misiones Apolo, la señal rebota con la dirección opuesta, hacia la izquierda, de modo que



Imágenes del interior del cráter Shackleton tomadas por la misión Selene/Kaguya que demuestran que carece de depósitos de hielo en las regiones permanentemente oscuras.



Imágenes de radar de varios cráteres del polo sur lunar que muestran el índice de polarización circular, que puede indicar la presencia de hielo pero también de la existencia de material rugoso. Fuente: *Nature*.

se le atribuye un cociente de polarización circular bajo. Se sabe que el hielo actúa como un medio transparente a la señal de radio, y que las ondas se dispersan y reflejan varias veces de modo que, al regresar, muchas de ellas retornan con la misma dirección, mostrando un cociente de polarización circular alto. Así, un cociente alto constituye un indicio de la existencia de hielo, y eso fue precisamente lo que encontró la sonda Clementine en 1994 en el polo sur lunar. Pero, desafortunadamente, no es la única interpretación: una superficie muy rugosa, como una región volcánica o un cráter reciente, puede presentar muchos ángulos que reflejen la señal y produzcan también un cociente de polarización circular alto. De hecho, astrónomos que trabajan con esa misma técnica en el telescopio de Arecibo (Puerto Rico) hallaron cocientes altos tanto en las regiones iluminadas por el Sol como en los cráteres polares y, si bien en un principio sugirieron la posibilidad de que en esos cráteres sí hubiera hielo, con los años han concluido que los cocientes altos se deben solo a la rugosidad del terreno: entre 1997 y 2006 presentaron observaciones en gran detalle que comparaban cráteres permanentemente oscuros, como el Shackleton, con otros donde sí llega la luz solar (y

***Tras leer la ingente cantidad de artículos sobre el agua lunar uno se vuelve suspicaz y tiende a desconfiar de las interpretaciones demasiado optimistas***

donde es imposible la existencia de hielo) como el Schomberger G y, ante las similitudes, consideraron cerrado el debate sobre el hielo lunar con un rotundo no. Resulta curioso que, en un ensayo publicado en 2006, un astrónomo que había participado en la misión Clementine mostrara sus dudas con respecto a las similitudes entre ambos cráteres y mostrara la posibilidad teórica de que en el fondo del Shackleton sí hubiera hielo. En 2009, los sensores de alta resolución de la misión japonesa Selene/Kaguya penetraron en la oscuridad de este cráter y de otros del polo sur lunar y demostraron que sus suelos, definitivamente, carecen de depósitos de hielo. Pero, de nuevo, este año leíamos que sí hay hielo, pero ahora en el polo norte: el instrumento Mini-SAR a bordo de la misión india Chandrayaan-1, hallaba cuarenta cráteres “helados”. La prueba, nuevamente, es un cociente alto de polari-

zación circular que también podría interpretarse como rugosidad del terreno. Sin embargo, recurren a otro criterio: se supone que los cráteres recientes mostrarían rugosidad tanto en el interior como en la ladera del cráter, y han hallado algunos cráteres “anómalos” que solo muestran un cociente de polarización circular alto en el interior. Según los responsables de la misión, esto “es consistente” con la existencia de hielo en las profundidades de los cráteres, lo que, siguiendo la evolución de las noticias que he comentado al principio, se convierte en el titular “toneladas de agua halladas en la Luna”. Tras leer la ingente cantidad de artículos sobre el agua lunar uno se vuelve suspicaz y tiende a desconfiar de las interpretaciones demasiado optimistas, sobre todo cuando, curiosamente, todos los cráteres anómalos se encuentran en el polo norte (parece más probable que no exista hielo que la opción de que solo exista en uno de los polos). Y así llegamos al final de este artículo sin una respuesta clara sobre el agua lunar. “Las afirmaciones extraordinarias requieren evidencias extraordinarias”, dice una sentencia empleada en respuesta a los resultados sobre el agua lunar. Parece que, de momento, carecemos de esas evidencias.



# Multiversos y cómics

## ¿SON LOS GUIONISTAS DE CÓMIC COSMÓLOGOS, O ES AL REVÉS?

Por Emilio J. García (IAA-CSIC)

¿QUÉ PENSARÍA SI, HOJEANDO LAS PÁGINAS DE UN CÓMIC DE SUPERMAN, se encontrara que el último superviviente de Krypton nunca hubiera caído en Kansas, sino en la Ucrania estalinista? ¿O si, a pesar de seguir con los calzoncillos rojos por fuera, Superman fuera un esplendoroso hombre de acero de raza negra? Tranquilo, no sería necesario que renegara de toda su infancia. Simplemente habría sido víctima de un concepto fundamental dentro de la mitología de estos héroes de capa y antifaz: el multiverso.

Múltiples universos poblados por diferentes tipos de superhéroes y supervillanos que habitan realidades alternativas. Un concepto exhaustivamente empleado tanto por Detective Cómico (DC) como por Marvel - las dos grandes compañías del mundo del cómic- para justificar las aventuras de sus protagonistas a lo largo de décadas sin que envejezcan lo más mínimo, o para resolver incoherencias temporales, o simplemente para modernizar personajes conocidos por todos. De hecho, la profusión de universos varios llegó a ser tan extensa, compleja e incoherente que DC resolvió borrar de un plumazo la infinidad de tierras paralelas que había creado a lo largo de años y quedarse con "tan solo" cincuenta y dos (en una de las aniquiladas vivía nuestro Superman negro, y en otra de ellas, Lex Luthor ¡era el gran benefactor de la Tierra!) A pesar de esta aparente locura y desmadre, hay que reconocer que la idea de duplicar universos por doquier ha permitido algunas alternativas enriquecedoras del mundo superhéroe, como la colección *ElseWorlds* (donde podemos encontrar al Superman bolchevique) de DC, o el *What if...* de Marvel, donde se juega con la existencia de diferentes líneas temporales en las cuales Spiderman resulta ser una chica o los 4 Fantásticos un grupo soviético llamado *The Ultimate Federalist Freedom Fighter*. Incluso, grandes y afamados creadores de



El Superman comunista de *Superman: Red Son*-realidad alternativa de la colección *Elsewords*- y el Superman negro de las *Crisis en las Tierras Infinitas*, barrido del mapa en ese mismo número (DC).

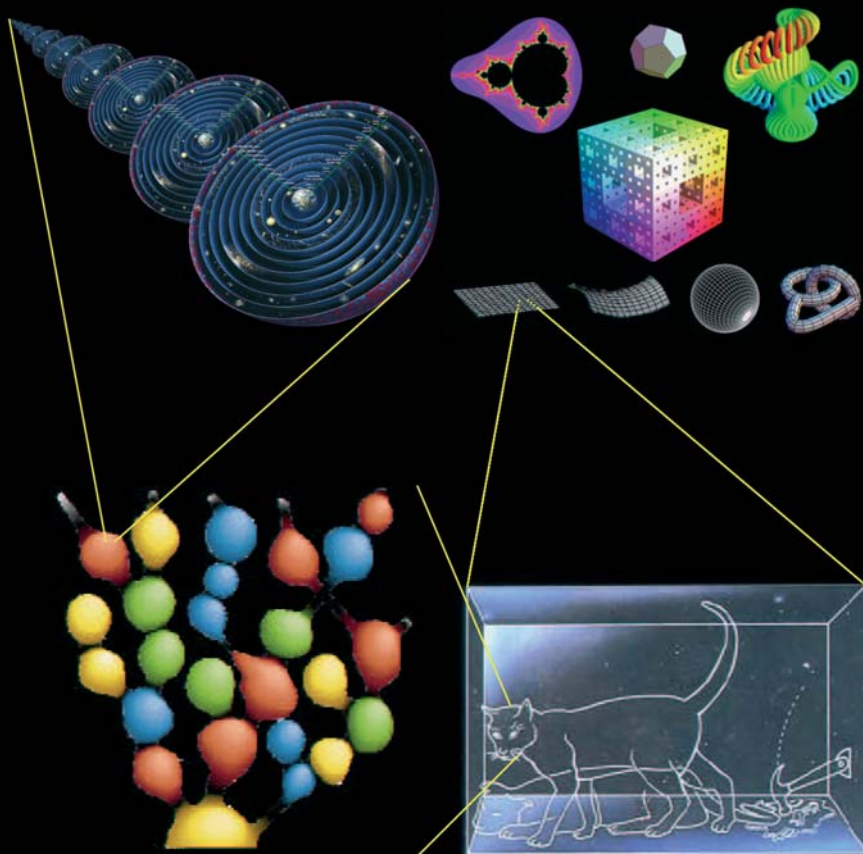
cómics han sabido sacarle jugo a este concepto del multiverso. En el álbum *1602*, el genial Neal Gaiman juega con la posibilidad de que todo el universo Marvel hubiera surgido cuatro siglos atrás, o en la celeberrima *Watchmen* un grupo de vigilantes - bajo la visión deformante del maestro Alan Moore- malvive en unos años ochenta alternativos donde Nixon continúa de presidente y EEUU ha masacrado Vietnam. Pero ¿es el concepto de multiverso un concepto, digamos, científico? Pues no solo se trata de un concepto científico con todas las de la ley, sino que los guionistas de cómics deben ser definitivamente cosmólogos, o tal vez es al revés.

### Guía del multiverso cosmológico: ¡no salga sin ella!

Que existen otros mundos además del nuestro no es una idea reciente. Ya en el siglo

XVI, cuando según la cosmología imperante el universo se limitaba al Sistema Solar y a una esfera de estrellas fijas, el dominico Giordano Bruno se aventuraba a postular que dichas estrellas eran soles distantes, alrededor de los que giraban mundos similares al nuestro (en 1995 se confirmó la existencia de planetas en estrellas de tipo solar). En siglos posteriores, el universo creció hasta contener lo que hoy denominamos Vía Láctea: un conjunto de más de doscientos mil millones de estrellas, planetas, gas y polvo, contenido en unos cien mil años luz de diámetro. Pero el debate acerca de la existencia de otros universos no cesó en ningún momento, especialmente con el descubrimiento de unas tenues nebulosas en el cielo, apenas distinguibles con los telescopios de la época y cuya naturaleza era una incógnita. La comunidad científica se dividió. Muchos defendieron que dichas nebulosas formaban parte de nuestra Galaxia, pero para otros eran en realidad auténticos "universos isla", situados a enormes distancias de la Vía Láctea y con su propia población de estrellas, como resultó ser finalmente. El concepto de universo volvió a redefinirse hasta convertirse en la imagen que hoy tenemos de él, la de un vasto espacio habitado por infinidad de galaxias.

Pero el concepto de multiverso más próximo al que habitan nuestros superhéroes surge a la luz de la física y la cosmología más actual. De hecho, es un concepto que aparece en diferentes contextos que van desde la física cuántica hasta la teoría de cuerdas. La profusión de multiversos ha llegado a ser tal, que el cosmólogo y profesor del MIT, Max Tegmark, ha propuesto una jerarquía -a modo de muñecas rusas- compuesta de cuatro niveles diferentes de multiversos. Una auténtica "Guía del multiverso". Si usted ha decidido dejar la comodidad de su casa y explorar los diferentes planos de existencia



del multiverso actual le recomiendo que no salga sin ella. El resto corre de su cuenta.

### El universo de los cosmólogos

Pero antes de comenzar a definir multiversos, conviene tener claro qué entienden los cosmólogos por universo. Para la cosmología clásica, nuestra acostumbrada visión del universo como un lugar más bien oscuro, frío y poblado de galaxias pasaría por ser un lugar repleto de energía y materia que se gestó en un fenómeno explosivo -conocido como Big Bang- acontecido hace unos catorce mil millones de años. Desde entonces permanece en expansión acelerada, enfriándose poco a poco, transformando energía en materia, formando inicialmente los primeros átomos y posteriormente las estrellas, las galaxias, los planetas y de paso a usted, estimado lector. Pero a pesar de su homogeneidad a gran escala, este proceso no ha sido exactamente igual en cada parte del universo. La cosmología moderna basada en la potente instrumentación actual ha corroborado que las primeras etapas del Big Bang no fueron exactamente idénticas en todas las regiones del recién nacido Cosmos. Se dieron variaciones extremadamente pequeñas en las condiciones iniciales que permitieron

que cada región evolucionara de una manera diferente al resto, al igual que pequeños cambios en el golpeo inicial de una bola de billar producen jugadas dispares. Además, los cosmólogos consideran que tienen pruebas suficientes para responder a una pregunta que ha rondado alguna vez cualquier cabeza que se estime pensante: ¿es el universo infinito? La respuesta es sí (o al menos es lo suficientemente grande). En fin, no dude que si le preguntan a un cosmólogo responderá sin el menor atisbo de duda: “estamos viviendo la época dorada de la cosmología”, e incluso es probable que lleve razón.

Así pues, podemos definir nuestro universo como una infinita porción de espacio tiempo que se expande aceleradamente y en el que las regiones suficientemente lejanas han evolucionado de manera diferente desde el estallido del Big Bang. Pero esta visión del cosmos esconde un auténtico multiverso en su interior.

### Nivel I. Las esferas de Hubble Y el universo que debió ser único se convirtió en muchos

Imaginemos un superhéroe con un poder muy especial: tiene un alcance visual infinito. Puede mirar tan lejos como desee, lo que

Jerarquía de multiversos propuesta por Max Tegmark (MIT). El nivel I agrupa un conjunto de infinitos universos similares al nuestro salvo en sus condiciones iniciales y su posterior evolución. El nivel II está formado por un infinito paisaje de multiversos, cada uno gobernado por diferentes leyes de la física. Las diferentes realidades definidas por la física cuántica definen el nivel III. Por último, las matemáticas son la esencia final (nivel IV) de cada conjunto posible de multiversos existente. Sí, una paranoia.

(*Parallel Universes 2003. MAX TEGMARK*).

le hace muy valioso como vigilante ante una invasión procedente de algún punto del vasto universo. Podemos llamarlo Ojo de Lince Cósmico. Pero hay algo que Ojo de Lince Cósmico no comprende. Por muy lejos que mire y cualquiera que sea la dirección en la que lo haga, llega un momento en el que siempre ve lo mismo, una especie de pared luminosa que le impide ver más allá. Nuestro protagonista puede pensar que está viendo el borde del universo, pero sabe que este es tan grande como quiera imaginar. Entonces, ¿qué es lo que ocurre?, ¿qué le impide ver las partes más lejanas del universo? ¿alguna estratagema de un malévolo supervillano? Pues no, Ojo de Lince Cósmico sencillamente está siendo víctima de un inevitable hecho físico: la velocidad de la luz es finita. Aunque corre como el super-veloz Flash, la luz necesita un tiempo considerable para transitar las grandes distancias del universo. Cuanto más alejados se encuentran los objetos que nuestro vigía quiere escudriñar, más distancia ha debido recorrer su luz, y hace más tiempo que fue emitida. Es decir, a medida que apunta su poderoso ojo a distancias mayores halla un universo cada vez más y más primigenio, hasta darse de bruces con las primeras etapas del Big Bang: la pared luminosa que le impide ver más allá. Así pues, como el universo se originó hace unos catorce mil millones de años, la luz emitida por cualquier estrella o galaxia situada a una distancia mayor de catorce mil millones de años luz no ha tenido tiempo aún de alcanzarnos. A nuestro alrededor podemos definir entonces una región de catorce mil millones de años luz de radio (en realidad es mayor debido a la expansión) que marca nuestro horizonte. Para enojo de nuestro lince, el resto del universo queda inaccesible. Esta región es lo que se define con el nombre de universo observable, o de una manera más técnica como “esfera de Hubble”. Cada hipotético observador en el universo tiene su propia esfera de Hubble. Cualquier región del espacio más allá de esta esfera es como otro universo que ha podido evolucionar de manera independiente. Este es el llamado multiverso

de nivel I: un conjunto infinito de regiones que comparten el mismo espacio tiempo y las mismas leyes de la naturaleza, pero difieren en evolución y se hallan tan alejadas las unas de las otras que son prácticamente inaccesibles entre sí. Lo que llamábamos nuestro universo no es más que una parte de un multiverso de tipo I.

### Elvis vive

¿Así que nuestro universo es de por sí un multiverso? Puede parecer inquietante, pero nada comparado con el resultado de un artículo publicado en *Physical Review* (2001) por los cosmólogos Alex Vilenkin y Jaume Garriga. En este artículo, ambos investigadores demostraban que, efectivamente, en cada una de estas esferas de Hubble el universo ha evolucionado de manera diferente. Es decir, cada región del universo lo suficientemente alejada tiene su propia historia independiente e inaccesible para el resto. Pero además, basándose en principios muy básicos y contrastados de física cuántica, demostraban que el número de historias posibles que puede seguir cada uno de estos universos es extremadamente grande (en torno a un 1 seguido de 150 ceros), pero - y este es el punto fuerte del trabajo - NO es infinito. Así pues, habitamos un multiverso con infinitas regiones desconectadas entre sí, donde cada una de ellas ha seguido un historia concreta entre un número finito de posibilidades. Esto lleva de manera incontestable a que existan regiones donde se deba repetir exactamente la misma historia que en nuestro universo observable (o esfera de Hubble) con pequeñas o incluso ninguna variación. Haciendo una analogía, existen muchas rutas diferentes para hacer el camino de Santiago, pero por muchas que haya, si asumimos que el número de peregrinos es infinito, tarde o temprano habrá peregrinos que repitan, paso por paso, la misma ruta. Así pues, nuestro multiverso está poblado por planetas idénticos al nuestro -o con leves variaciones- habitados por seres exactamente como usted y que en estos momentos están leyendo un artículo como este. O, parafraseando a los autores del artículo: "...Tierras donde Elvis aún está vivo". Si su nivel de aguante se ha desbordado ya, puede abandonar la lectura de este artículo sin cargo de conciencia. En alguna región de este multiverso habrá una copia exacta de usted que continúe hasta el final.

### Nivel II. Multiversos a gogó

#### ¿Es nuestro universo un perfecto guión de cómic?

A pesar de su variedad, todos los universos que componen el multiverso de nivel I tienen un aspecto importante en común: todos

ellos presentan las mismas constantes de la naturaleza, es decir, la masa del neutrón es la misma aquí y en la China de cualquier Tierra duplicada allende el cosmos (aunque algunos trabajos recientes ponen en duda esto último -ver este mismo número de la revista-). Este hecho, que podría incluso entenderse como de cierta higiene mental, ha inquietado a los cosmólogos desde hace años. ¿Cuál es el problema? Pues que no solo la masa del neutrón, sino la gran mayoría de las constantes que caracterizan la naturaleza parecen especialmente diseñadas para que existamos. Por poner solo un par de ejemplos, bastaría que la

*Puede abandonar la lectura de este artículo sin cargo de conciencia. En alguna región de este multiverso habrá una copia exacta de usted que continúe hasta el final*



En un episodio de Futurama, los personajes se enfrentan a sí mismos al abrir una puerta a un universo paralelo.

masa del neutrón fuera menor en un 0,2 % para que ningún núcleo atómico pudiera llegar a ser estable, incluidos los de su cuerpo, querido lector. O si el ritmo de expansión del universo en los primeros instantes del Big Bang hubiera sido ligeramente mayor, jamás se habría podido formar estructura material alguna. Pareciera que nuestro universo fuera un perfecto guión de cómic escrito para que seamos los protagonistas, y esto chirriaba mucho a los cosmólogos.

En las últimas décadas se han desarrollado teorías que intentan explicar aspectos como el origen del universo (teoría de la inflación eterna) o su naturaleza (teoría-M). Entre sus conclusiones, todas estas teorías

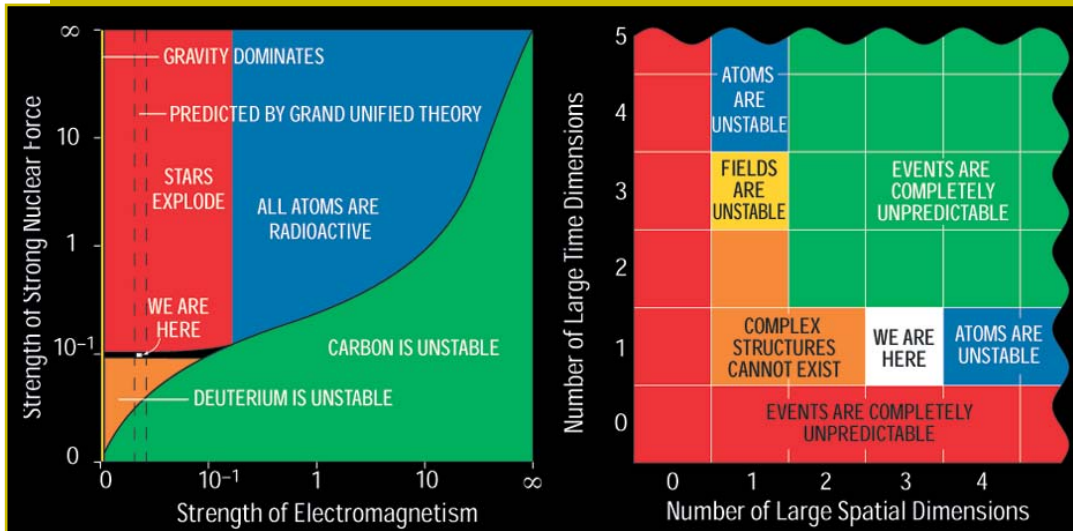
deducen la forzosa existencia de infinitos universos naciendo, evolucionando y muriendo de manera espontánea, en lo que algunos casos se define como vacío, y en otros incluso como "nada" (sea lo que sea esto). Cada uno de estos universos tendría su propio Big Bang, compondría su propio multiverso de nivel I, y poseería aspectos de su naturaleza radicalmente diferentes al nuestro, como el tipo de fuerzas, el tipo de partículas, o incluso el número de dimensiones. Esto ha rebajado nuestras pretensiones. Ya no somos los protagonistas de un único universo que parece hecho a nuestra medida, sino que existe todo un paisaje de universos, la mayoría completamente diferentes al nuestro e incompatibles con la vida tal y como la entendemos. Desde grandes espacios vacíos hasta universos habitados por conceptos de vida que ni podemos imaginar, quizás incluso por personajes de cómic. Este conjunto de multiversos conforman el nivel II en la escala de Tegmark, pero no se vayan todavía, ¡aún hay más!

### Nivel III. Universos paralelos

#### ¡No se vayan todavía, aún hay más!

Un nuevo desdoblamiento de universos surge en el marco de la física cuántica, una de las revoluciones del siglo XX junto con la Teoría de la Relatividad General. Mientras esta última se muestra en excelente acuerdo con las leyes que rigen el universo a gran escala, la física cuántica es capaz de describir el mundo microscópico con la precisión de un reloj suizo. En este pequeño mundo las leyes son muy diferentes a las que dominan nuestra vida cotidiana. Por

ejemplo, la posición de una partícula en el espacio, su velocidad, su tiempo de desintegración o cualquier otro parámetro observable, puede a priori tener cualquier valor posible, cada uno acompañado de una probabilidad característica. Para la cuántica, el mundo microscópico es como una baraja de cartas en el que cada carta representa un estado posible de la partícula, pero no todas tienen igual probabilidad de salir. Cuando en un laboratorio se mide alguno de estos parámetros se obtiene un valor y solo uno de toda la multitud de valores posibles. Pero, ¿por qué uno y no otro? Pareciera que el observador, al medir, se quedara con una sola carta de la baraja y el resto se desvaneciera extrañamente. Esta cuestión atrajo interpretacio-



Izda. Ligeras variaciones en los valores observados para las constantes de la fuerza electromagnética y de la fuerza nuclear fuerte imposibilitarían la existencia de vida en el universo. Según las teorías de Gran Unificación tan solo son posibles los valores comprendidos en la estrecha columna marcada con línea discontinua. Por debajo de la línea horizontal el deuterio sería inestable y por encima de esta las estrellas serían inestables. Esto deja un estrecho margen para otros posibles escenarios con vida (*Scientific American*. May 2003. MAX TEGMARK).

Dcha. ¿Por qué vivimos en un universo de tres dimensiones espaciales y una temporal? Quizás porque un espacio de más de tres dimensiones espaciales no admite átomos estables, mientras que una cantidad menor puede no tener la suficiente complejidad como para permitir la existencia de observadores (*Scientific American*. May 2003. MAX TEGMARK).

nes de toda índole pero la más revolucionaria fue la que centró la tesis doctoral de Hugh Everett III. Everett se atrevió a lanzar una idea tachada por muchos de ciencia ficción. Siguiendo con la analogía de la baraja: ¿y si cada carta de la baraja representara una realidad diferente de la del resto?, es más, ¿y si cada una de estas realidades tuviera su propia copia del observador? En este caso, dependiendo del universo o realidad en la que se encontrara cada observador a la hora de medir, solo obtendría el resultado propio de su universo, es decir, solo sacaría la carta de su realidad. Así pues, según esta interpretación existen infinitud de universos muy similares o muy diferentes entre sí, con diferentes copias de todos y cada uno de nosotros y en el que, cada vez que tomamos una decisión, nuestra réplica paralela ha tomado la contraria, o incluso alguna que no habíamos barajado. Hugh Everett III abandonó sus investigaciones y pasó gran parte de su vida trabajando para el pentágono. A pesar de finalizar sus días alcoholizado y sumido en una especie de autismo, las ideas de Everett fueron creciendo hasta el punto de que hoy día son base para disciplinas científicas tan "reales" como la computación cuántica.

**Nivel IV. Universos matemáticos  
Incluso Superman puede ser una función matemática**

Aunque solo sea por no tirarnos por la ventana ante el hecho de ser una copia perdida en una maraña infinita de multiversos, será mejor que recapitemos antes de afrontar ¡el último nivel del multiverso! ¡el nivel IV!  
Así pues, dentro de esta maraña "multiversal", nosotros vivimos en una región de un

*Todo este esquema de multiversos se duplica hasta el infinito cubriendo toda la combinación de historias posibles en una red de multiversos paralelos*

multiverso infinito que evoluciona tras un evento violento llamado Big Bang. A enormes distancias existen otras regiones con las que compartimos espacio, tiempo y origen, y en las que pueden existir desde copias idénticas de nosotros hasta todas las realidades que pueda usted imaginar (siempre que no violen las leyes de la física). A su vez, todo esto forma parte de una infinita región de vacío en la que no existe ni espacio ni tiempo, y en el que continuamente están surgiendo nuevos multiversos, cada uno con su propio Big Bang y cada uno con su propia naturaleza, alguna de las cuales permitirá la existencia de observadores como nosotros. Y a su vez, todo este esquema de multiversos se duplica hasta el infinito cubriendo toda la combinación de historias posibles en una red de multiversos paralelos, en los que cada vez que usted toma una decisión salta a una realidad paralela. Sí, es una absoluta paranoia.

Pero a pesar de esta divergencia de universos, todos ellos comparten algo en común: las leyes de la física. La física cuántica, la relatividad general, y en general las leyes últimas que gobiernan la naturaleza -sean cuales sean estas-, se mantienen como una constante, como un hilo en el que se ensartan todos los universos posibles. Pero, ¿por qué quedarse aquí?, ¿por qué no concebir otras jerarquías de multiversos con leyes diferentes?

Parafraseando a Max Tegmark - el autor de la guía de multiversos -, ¿por qué no imaginar un conjunto de universos en los que no exista la física cuántica y todo se rija por la física de Newton, o donde el tiempo avance de manera discreta y no continua? Este es el nivel IV del multiverso: ¡el multiverso matemático! Y es que para Tegmark las matemáticas son el verdadero germen de cada familia posible de multiversos. Cualquier ley física se reduce a un conjunto de ecuaciones. Es como si en las matemáticas latiera la esencia final de la naturaleza, como si cada multiverso fuera inherentemente matemático. Este último nivel correspondería a familias de multiversos gobernados por diferentes estructuras matemáticas. Finalmente, incluso Superman sería solo un función matemática.

**¿Son los guionistas de cómic cosmólogos, o son los cosmólogos guionistas de cómic?**

Si dentro de la infinitud de duplicados que de usted hay por ahí es de los que ha llegado al final de este artículo, habrá comprobado que el concepto de multiverso de Marvel y DC queda a la altura del mecanismo de un chupete si lo comparamos con la complejidad del multiverso científico. También es posible que haya llegado a la conclusión de que la cosmología actual está en manos de una sociedad secreta de guionistas de cómics con el oscuro objetivo de hacer creíbles sus argumentos. Eso ya depende de usted o de alguna de sus infinitas réplicas. En cualquier caso, si alguna vez se encuentra con un Superman negro defendiendo al proletariado, sepa que seguro será verdad...en algún sitio.

# CAROLINE HERSCHEL: la Cenicienta de la Astronomía

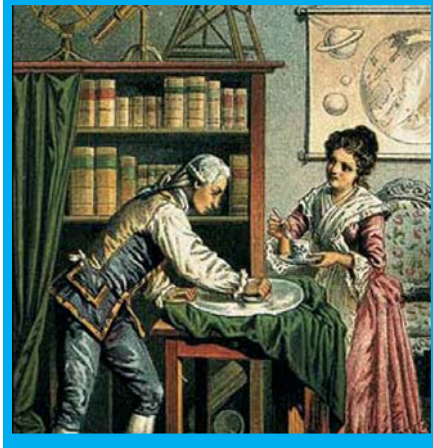
POR JOSEFA MASEGOSA (IAA-CSIC)

Las palabras del historiador Mikael Hoskin sobre Caroline Herschel, (*"William no hubiese hecho su extensa contribución a la astronomía sin la ayuda de su hermana Caroline"*), ilustran muy bien sus capacidades. Imaginemos a una pequeña mujer de la Inglaterra victoriana (su estatura era de metro y medio), al lado del gran científico que fue William Herschel, calculando, clasificando, anotando cuidadosamente todo lo que su hermano le indicaba. Detrás de esa figura sumisa, casi insignificante, estaba la gran mujer de pequeña estatura que cambió el curso de nuestro quehacer astronómico.

Es difícil llegar a conocer la difícil personalidad de Caroline Herschel. Nació en Hannover en 1750 en el seno de una familia de clase media, siendo la cuarta de seis hermanos. Su padre, músico oboísta de profesión, trasladó a sus hijos varones su interés por la música. La madre, un ama de casa con un concepto rígido de la disciplina, tenía la responsabilidad de la educación de las hijas, y prohibió al esposo que les diese clases de música (*"...para ser amas de casa las mujeres solo tenían que saber escribir y leer..."*). Dado que llegó a la conclusión de que Caroline no se casaría por su deformidad facial, causada por la viruela, la dedicó al cuidado de la casa. Así que podemos imaginar a una joven Caroline entristecida por su destino, y que recibía a escondidas clases de violín de su padre. Cuando su padre murió en 1762, su madre la obligó a dedicarse exclusivamente a ser una esclava de las labores del hogar. Ella no la perdonó nunca y llegó a odiarla tanto que ejecutó su particular venganza: antes de morir ordenó inscribir en su tumba solo su nombre y el de su padre. La memoria de la madre desapareció.

Cuando, en 1772, su hermano mayor William la invitó a trasladarse a Inglaterra no lo dudó ni un momento. A cambio, William tuvo que garantizar a su madre el pago de una sirvienta que realizara el trabajo de Caroline. Durante nueve años en la ciudad de Bath, junto con William, entonces un afamado organista y director de orquesta, desarrolló una prolífica carrera como soprano solista de los oratorios de Händel. Aunque alcanzó gran notoriedad en la sociedad inglesa, nunca pensó en realizar una carrera musical de forma independiente. Ella siempre se sintió en deuda con su hermano y realizaba diligentemente todas las labores

del hogar a la vez que preparaba los conciertos. Para su desgracia, esta época coincidió con el descubrimiento, por parte de su hermano, de su objetivo en la vida: la astronomía. Cuando William descubrió Urano, al que llamó "estrella georgiana" en honor al rey Jorge III y este lo nombró Astrónomo Real con un salario anual de doscientas libras, Caroline dio por finalizada su brillante carrera como cantante de ópera.



## Los hermanos astrónomos

A partir de 1782, los hermanos dedicaron todas sus energías a escudriñar el Universo. William se dio cuenta de que, cuando observaba, para hacer el trabajo más eficiente y no despegar el ojo del telescopio, necesitaba ayuda. Su hermana se convirtió así en la amanuense de William. Mientras su hermano observaba el firmamento, ella anotaba los detalles de la observación, preparaba las observaciones del día siguiente, calculaba las estrellas que debían ser usadas como referen-

cia e iba acumulando datos para las publicaciones de William. Todo este trabajo constituyó el catálogo que será el predecesor del *Nuevo Catálogo General* hasta hoy utilizado. Pero hablemos de los grandes descubrimientos de Caroline. Según Hoskin, ella tenía mucha más pericia que su hermano para encontrar objetos nebulosos en el cielo. Es natural preguntarse si, de haberla dejado sola realizando observaciones, sus descubrimientos hubieran sido mayores. Lo que sí es cierto es que algunos de los cometas que encontró los descubrió cuando su hermano no estaba presente y se podía dedicar a sus objetos favoritos, las nebulosidades celestes. Se le atribuye el descubrimiento de ocho cometas y catorce nebulosas, entre ellas las galaxias M110 y NGC 253. Obviamente todas las nebulosas encontradas tenían que ser contrastadas con la posterior observación y aprobación del hermano. Como prueba de su fascinación en este campo, se puede leer en sus notas "y Messier no la encontró...".

## La búsqueda de nebulosas

El antes y después de la contribución de la familia Herschel a la astronomía se sitúa el 26 de febrero de 1783, cuando Caroline descubrió dos cúmulos que no habían sido previamente detectados por Messier, e hizo notar a su hermano que el Universo estaba lleno de nebulosas de este tipo. Motivados por esta constatación, en marzo de ese mismo año, comenzaron de forma sistemática la búsqueda de nebulosas que concluyó con el catálogo de 2500 nebulosas. Pero los descubrimientos individuales de Caroline no tuvieron apenas crédito, y aparecen solo con la inclusión de las iniciales C.H. en el catálogo.

Ella fue la primera mujer pagada como asistente de astrónomo, con un salario de cincuenta libras por año. William consiguió que el rey le asignara este pequeño salario al prescindir de ella como ama de llaves, cuando contrajo matrimonio en 1788. A la muerte de su hermano, en 1822, Caroline regresó a Hannover y dejó aparcado el trabajo de toda su vida. No obstante, ya se había granjeado el respeto de la comunidad científica obteniendo grandes honores, entre los que cabe destacar la Medalla de Oro de la *Royal Astronomical Society* en 1828 (la siguiente medalla concedida a una astrónoma fue en 1996 a Vera Rubin). En 1946, dos años después de su muerte, Alexander von Humbolt le concedió la Medalla de Oro de las Ciencias.

EXPLORAMOS LAS REGIONES CENTRALES DE NUESTRA GALAXIA HACIENDO USO DE LAS MÁS RECIENTES

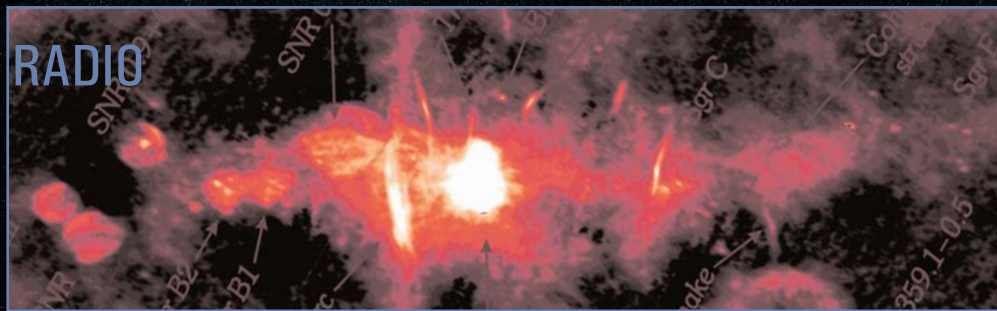
# ZOOM AL CENTRO GALÁCTICO

La Vía Láctea es una galaxia espiral con unos 12.000 millones de años de edad. Presenta tres componentes básicos: el bulbo, una zona esférica central compuesta por estrellas viejas; el disco, un enorme conjunto de estrellas tanto jóvenes como viejas, gas y polvo; y el halo, una enorme esfera de materia no visible, o materia oscura. En sus regiones centrales hallamos un agujero negro supermasivo: SgrA\*.

En la imagen vemos el plano de la Galaxia, que mide unos 100.000 años luz de diámetro y presenta una anchura de unos 1.000 años luz. Fuente: ESO/S. Brunier.

## 1. REGIONES CENTRALES [1000 AÑOS LUZ]

La presencia de polvo impide observar estas regiones en el visible, pero otras longitudes de onda permiten un estudio en profundidad: en radio vemos objetos fríos, en el infrarrojo estrellas y en rayos X objetos muy energéticos.



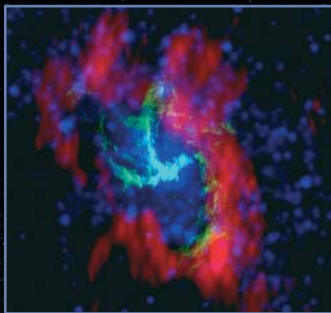
Gas ionizado, supernovas, remanentes de supernova... (VLA/NRAO).



En azul: estrellas viejas y frías; en rojo intenso:

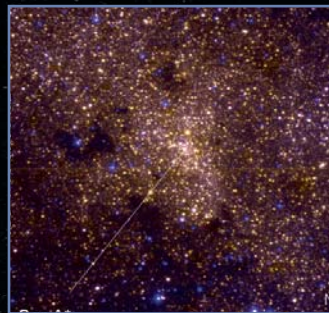
## 2. APROXIMÁNDONOS A SGRA\*

[< 20 AÑOS LUZ]



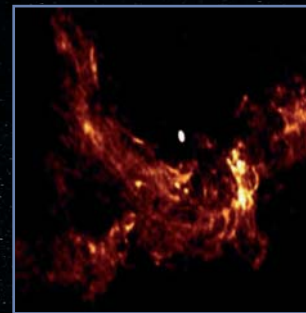
Combinación de distintas longitudes de onda:  
 Rojo (radio): gas molecular (BIMA).  
 Verde (radio): gas ionizado (VLA).  
 Azul (infrarrojo): estrellas (Spitzer).

[< 20 AÑOS LUZ]



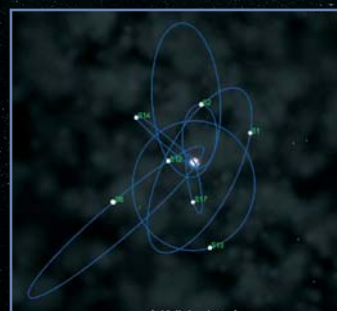
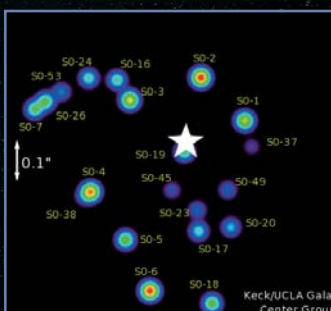
Infrarrojo:  
 20.000 fuentes puntuales y luz difusa: (ISAAC/VLT)

[5 AÑOS LUZ]



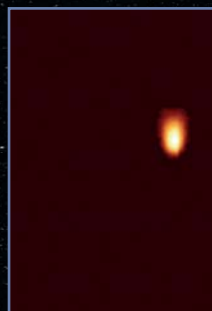
## 3. SGRA\*

[10 DÍAS LUZ]



A tan solo 26.000 años luz de la Tierra, en el centro la Vía Láctea, habita Sgr.A\*, un agujero negro de cuatro millones de masas solares y cuya existencia, propuesta hace más treinta años, no fue confirmada hasta finales del siglo pasado: los astrónomos observaron estrellas girando alrededor del centro galáctico a velocidades de 1500 kilómetros por segundo, 50 veces más rápido que la Tierra alrededor del Sol; solo la fuerza gravitatoria de un agujero negro podría retener estas estrellas en sus aceleradas órbitas.

[1 UNIDAD AS]



# ACTIVO

Silbia López de Lacalle (IAA) y  
Antxon Alberdi (IAA)

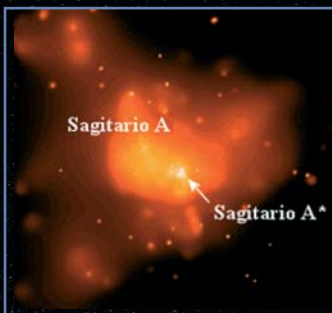
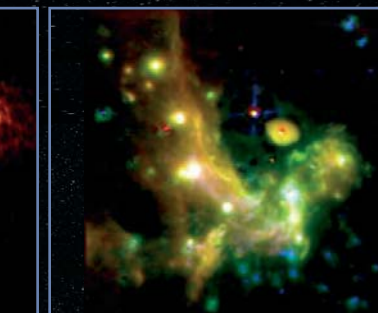


estrellas masivas; bandas rojas: polvo (*Spitzer*).



## RAYOS X

Objetos muy energéticos (agujeros negros estelares, binarias de rayos X...). La emisión difusa corresponde al medio interestelar, con regiones de formación estelar masiva (*Chandra*).

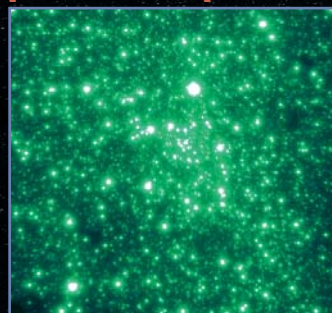


Sagitario A

Sagitario A\*

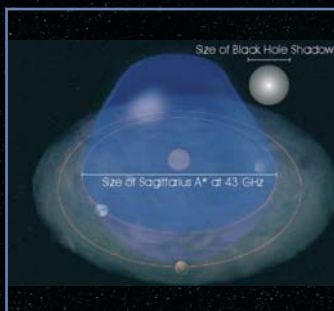
1. Radio: brazos de gas ionizado (*VLA*).
2. Infrarrojo medio: polvo (*VISIR/VLT*).
3. Rayos X: gas caliente (*Chandra*).

## [5 AÑOS LUZ]



Infrarrojo cercano con óptica adaptativa: 10.000 fuentes puntuales (*NACO/VLT*).

## ASTRONÓMICA]



Observando con VLBI a una longitud de onda de 1,3 milímetros, se ha determinado que el tamaño de Sagitario A\* es inferior a 0,3 Unidades Astronómicas (una UA es equivalente a la distancia que separa la Tierra del Sol). Con estas observaciones se ha podido determinar que la densidad de SgrA\* es diez veces superior a la de otros agujeros negros supermasivos hallados en los núcleos de otras galaxias (aunque es, paradójicamente, una densidad inferior a la del agua). Sin embargo, aún es necesario afinar más la puntería: según los cálculos, las observaciones de VLBI en ondas submilimétricas nos permitirán, entre otras cosas, determinar si SgrA\* rota o no. Incluso seremos capaces de observar la "sombra" del agujero negro, tal y como predice la Relatividad General. Tendremos que esperar, pues, a que los desarrollos tecnológicos nos permitan acercarnos más a esta turbulenta región que constituye, hasta la fecha, el laboratorio más perfecto para el estudio físico de los agujeros negros.



el "Moby Dick" de...

...Marta González (IAA-CSIC)

## Un programa para simular núcleos cometarios



Licenciada en Matemáticas por la Universidad de Santiago de Compostela con la orientación de Matemática Aplicada en 2006. Ese mismo año se incorpora al Instituto de Astrofísica de Andalucía para la realización de una tesis doctoral.

El objeto con el que mantengo esa relación que oscila entre lo amistoso y lo antagónico es el programa de ordenador en el que llevo trabajando cuatro años y medio y que constituye mi trabajo de tesis: un programa para hacer simulaciones de núcleos cometarios. Y algunos se preguntarán: ¿qué es una simulación? Y, más importante aún, ¿para qué sirve? Una simulación nos dice lo que pasaría en un sistema (en este caso, el núcleo de un cometa), partiendo de unas determinadas condiciones y aplicando los procesos que creemos que ocurren en él. Cuando comparamos las simulaciones con lo que observamos se puede aprender mucho: para empezar, podemos determinar si nuestra hipótesis puede explicar las cosas que vemos o tenemos que replantearnos qué ocurre. Por el contrario, si los procesos que utilizamos explican lo que vemos, podremos hacer predicciones sobre el sistema o suposiciones acerca de las condiciones de las que partía.

Dado que los cometas están relativamente cerca de nosotros, la siguiente pregunta lógica parece la siguiente: ¿por qué simular cometas? Es cierto que, si los comparamos con otros objetos astronómicos, los cometas se conocen bastante bien. Sin embargo, es en la búsqueda de detalles donde surgen cuestiones aún no resueltas, y de ahí la necesidad de simularlos. Básicamente, un cometa es un cuerpo compuesto por hielo y polvo que, cuando se acerca al Sol, sufre transformaciones drásticas: el hielo sublima (pasa directamente de estado sólido a gaseoso) y, en el proceso, arrastra polvo con él. Esta mezcla de gas y polvo es la que produce el brillo de los cometas y da lugar tanto a la coma que envuelve el núcleo como a las colas, producto de la interacción con el viento solar. El brillo de la coma y las colas nos permite disfrutar, a veces incluso a simple vista, del espectáculo de los cometas. Y también hace posible que los detectemos con facilidad, pero nos impide ver el núcleo cuando lo tenemos más cerca. Así que lo que se conoce acerca de la composición y la estructura interna de los cometas es lo que se deduce del estudio de la coma: sabemos que los cometas constituyen objetos muy porosos, frágiles y muy poco brillantes cuando no se encuentran activos, y que la mayor parte del hielo que los com-



El núcleo del cometa Halley (Giotto Project, ESA).

pone es de agua (aunque se han detectado muchos otros compuestos en cantidades menores, como monóxido y dióxido de carbono, cianuro de hidrógeno o metano).

### ¿Qué nos queda por saber?

Muchas de las noticias sobre cometas aluden a su material prístino y a la importante fuente de información que esto supone: como sus órbitas los mantienen alejados del Sol durante la mayor parte de su vida y son lo suficientemente pequeños como para que la gravedad tampoco los haya procesado, los cometas tienen probabilidades

**“Las simulaciones ayudan, como mínimo, a descartar algunas de las posibles respuestas a las cuestiones abiertas”**

de conservar algo de material de la época en la que se formaron. Y el estudio de este material prístino nos permitiría conocer las condiciones de formación del Sistema Solar. Sin embargo, al no conocer las características y composición concretas de los núcleos tampoco podemos saber si queda material sin procesar o a qué profundidad se encuentra.

Otra de las incógnitas gira en torno a los estallidos de actividad de los cometas. En ocasiones, el brillo de un cometa se intensifica súbitamente. Esto apunta a un aumen-

to repentino en la producción de gas y polvo, para el que se han propuesto varias explicaciones: podría deberse a alguna transformación físico química de los materiales al recibir el calor del Sol, a la formación de una grieta por la que se libera gas retenido en el interior, al choque con un asteroide o a que de repente se haya destapado hielo en la superficie. No existe consenso al respecto, de modo que debemos buscar medios para averiguar qué ocurre de verdad en el núcleo cometario.

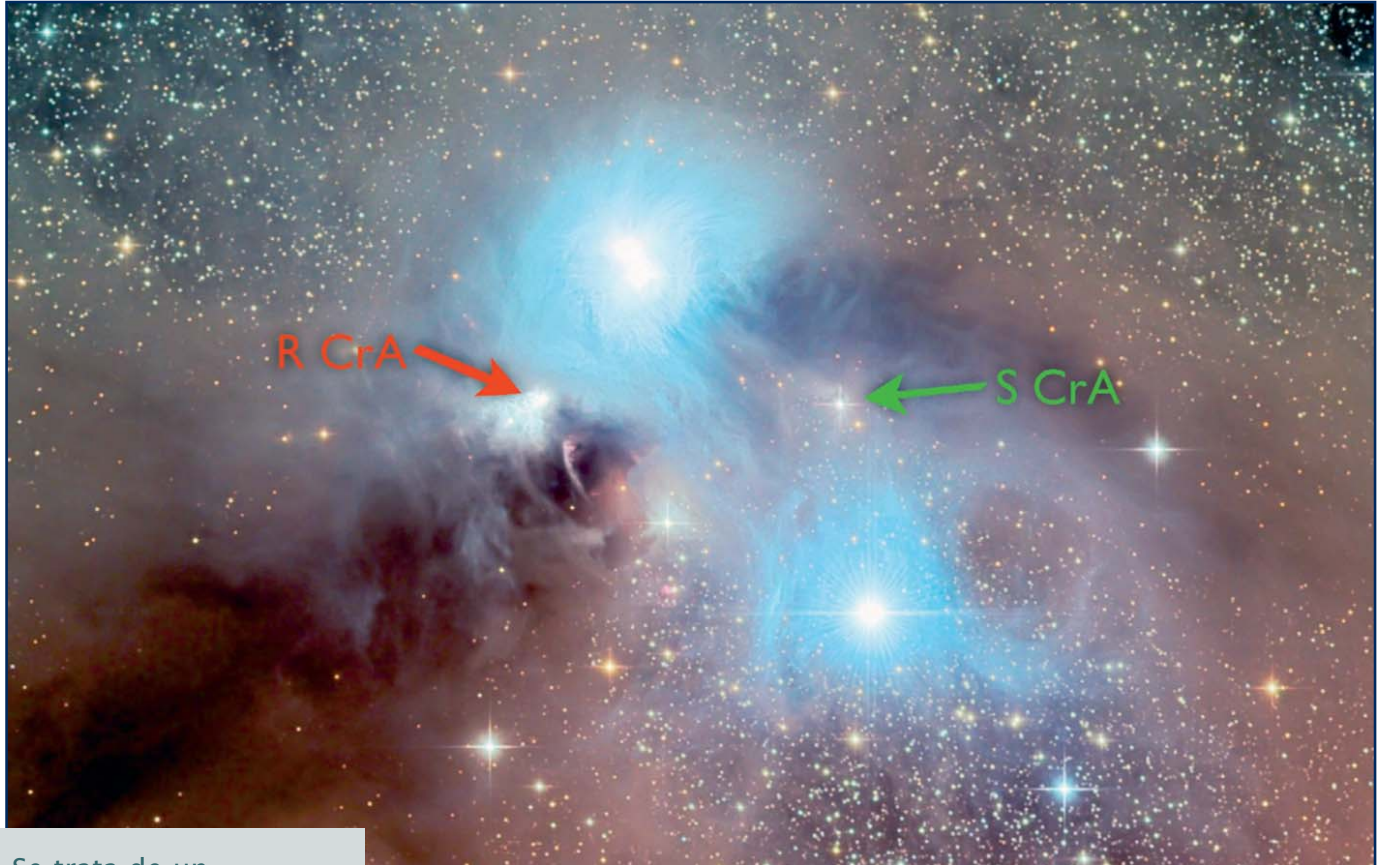
También albergamos dudas sobre los procesos de sublimación simultánea que se producen en los cometas. Cada compuesto presenta una temperatura fija a la que sublima, dependiendo de la presión. Esto nos hace esperar que a distintas distancias del Sol (y por lo tanto a distintas temperaturas), encontraremos gases de diferentes compuestos, dependiendo de su volatilidad. Sin embargo, cerca del Sol, en la coma, los vemos todos. ¿Hay algún mecanismo que hace que elementos más volátiles queden atrapados en el hielo de agua y se liberen cuando este sublima? ¿O simplemente los compuestos más volátiles vienen de zonas más profundas (y por lo tanto más frías) del núcleo?

Finalmente, desconocemos qué causas provocan que, en ocasiones, el núcleo cometario se rompa. Sabemos que su material es frágil, pero se trata de un fenómeno que ocurre solo ocasionalmente. ¿Se acercó demasiado a un objeto grande que lo sometió a un tirón gravitacional intenso? ¿Chocó contra algún asteroide? ¿Se formó alguna bolsa de gas en el interior que lo hizo estallar por la presión? ¿Comenzó a girar tan rápido que se deshizo?

Como vemos, las incógnitas son numerosas y su solución no parece sencilla. Y las simulaciones ayudan, como mínimo, a descartar algunas de las posibles respuestas a las cuestiones que siguen abiertas acerca de los cometas. O al menos eso me digo los días que los programas fallan...



# Se observan ecos de luz en torno a dos estrellas muy jóvenes



Se trata de un fenómeno poco habitual provocado por la reflexión de los pulsos de luz de las estrellas en las partículas de polvo interestelar

► Un grupo internacional de astrónomos ha detectado ecos de luz en S CrA y R CrA, dos estrellas jóvenes y de carácter variable situadas en la nebulosa NGC 6726. Los ecos se deben a la dispersión, por parte del polvo circundante, de los pulsos de luz procedentes de las estrellas, un fenómeno poco habitual ya que exige la conjunción de varios factores: un pulso de luz intenso, una alta densidad de partículas de polvo y que la dirección de la dispersión apunte hacia nosotros. Al carácter extraordinario de estos eventos se suma, además, que los ecos suelen asociarse a las últimas etapas

en la vida de las estrellas, en las que se producen fenómenos explosivos, por lo que este hallazgo en estrellas muy jóvenes resulta especialmente revelador. El trabajo, publicado en la revista *Astronomy & Astrophysics*, ha sido destacado por sus editores en la portada del volumen de septiembre.

"Los ecos de luz muestran un cosmos más dinámico de lo habitual -apunta José Luis Ortiz, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía responsable de la investigación-. En el rango óptico estamos acostumbrados a ver maravillosas imágenes de ciertas partes del Universo, pero normalmente mantienen una morfología fija. Sin embargo, lo que vemos en la película que hemos compuesto es una nebulosa cambiante con zonas que aparentemente se expanden". Si bien para la estrella R CrA ya se habían documentado variaciones

en el brillo de la región nebulosa a su alrededor, nunca se había registrado el fenómeno en el caso de S CrA, objeto en el que los investigadores han centrado este primer análisis. "Se trata de los ecos más cercanos jamás detectados y, además, se producen multitud de ecos repetidos, lo que también es novedoso", concluye el investigador.

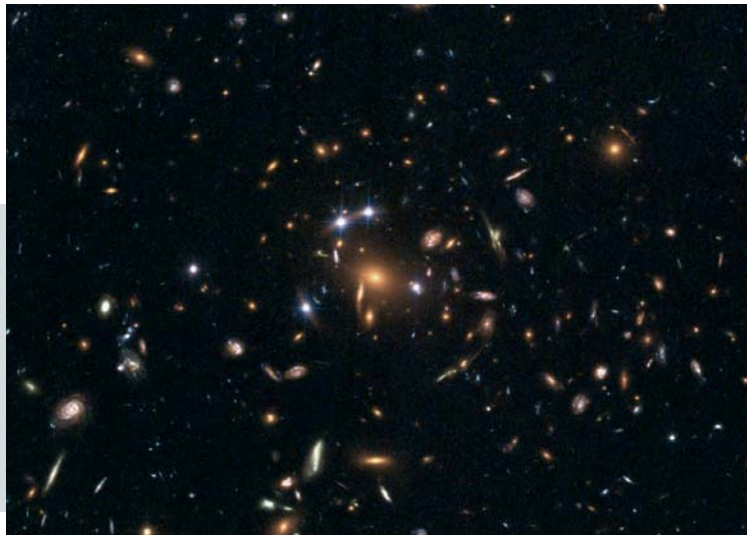
S CrA es una estrella T Tauri, un tipo de estrellas jóvenes que pueden estar rodeadas de un disco de gas y polvo que podría, con el tiempo, dar lugar a un sistema planetario similar al del Sistema Solar. El eco de luz ha permitido a los astrónomos comprobar la existencia de una nube de polvo en torno a S CrA cuyo origen, a la luz de los datos disponibles, no se puede determinar con total seguridad. La juventud extrema de la estrella, unos 500.000

años, parece apuntar a que se trata de los restos de la envoltura estelar, una especie de "cascarón" que las rodea durante las primeras fases de formación. "Sin embargo, -añade Ortiz-, la distancia de la nube de gas, situada a unas diez mil Unidades Astronómicas, abre la posibilidad de que se trate de un análogo joven a la nube de Oort de nuestro Sistema Solar, de donde se cree que proceden los cometas de largo período y que se halla a una distancia similar".

Este estudio, realizado en su totalidad en remoto mediante un telescopio automatizado en el Cerro Burek (Argentina), pone de manifiesto la posibilidad de observar ecos luminosos en estrellas jóvenes variables como medio para analizar la estructura y la composición química de su entorno, y de este modo estudiar las primeras etapas de la formación estelar y planetaria.

# ¿Un reto al principio de equivalencia?

Un grupo de investigadores plantea la posibilidad de que *alpha*, una de las constantes fundamentales, sea variable



► Aunque siempre se asegura que la naturaleza está en continuo cambio, existen en ella determinadas cantidades que permanecen inalterables. Son las denominadas constantes fundamentales de la naturaleza. La carga del electrón, la constante de Gravitación o la velocidad de la luz son algunos ejemplos, y gran parte de la física se asienta en el principio fundamental de que dichas cantidades son realmente invariables tanto espacial como temporalmente.

Pero un reciente trabajo de John Webb, de la Universidad de New South Wales, en Sydney, pretende poner en entredicho esta afirmación. Concretamente, el Dr. Webb y sus colaboradores defienden la posibilidad de que una de estas constantes fundamentales - la llamada constante de estructura fina, más conocida como *alpha* - no sea en realidad tan constante. Esta cantidad sin dimensiones caracteriza la fuerza de la interacción entre la luz y la materia, y su valor (aproximadamente 0,007) determina la longitud de onda exacta a la que se produce cual-

quier transición atómica.

Para llegar a esta conclusión, los autores han analizado escrupulosamente los espectros de una muestra de sesenta cuásares con diferentes corrimientos al rojo (*redshift*), es decir, situados a diferentes distancias cosmológicas, y pertenecientes al archivo del telescopio VLT (Paranal, Chile). En concreto, y una vez corregidos multitud de factores (incluido el propio corrimiento al rojo provocado por la expansión del Universo), se han comparado las longitudes de onda de las principales transiciones químicas observadas en dichos espectros con las que se obtendrían en un laboratorio terrestre. Para los autores, las diferencias encontradas solo pueden ser justificadas por una variación de *alpha* con el *redshift*, o lo que es lo mismo, con la edad del Universo. Estas variaciones relativas, aunque muy pequeñas (del orden de la millonésima) son, según la opinión de los investigadores, significativas y revelan un aumento del valor de la constante con la distancia cosmológica. Este último

resultado es muy sorprendente, ya que apenas hace una década dicho grupo realizaba este mismo análisis pero con una muestra de cuásares observados con el telescopio Keck en Hawai, encontrando entonces la dependencia contraria entre *alpha* y el *redshift*, es decir, el valor de la constante de estructura fina decrecía con la distancia cosmológica.

Con el objeto de resolver esta aparente contradicción, en este mismo artículo exploran la posibilidad de que, además de una dependencia con la distancia y la edad del Universo, la constante de estructura fina presente una dependencia espacial, es decir, adquiera un valor diferente en función de la dirección del cielo en la que observemos. De hecho, no solo encuentran dicha dependencia, sino que además, combinando los datos de ambos observatorios muestran claramente que esta no es aleatoria, sino que presenta estructura.

Concretamente la variación de *alpha* en el cielo se ajusta excepcionalmente bien a un modelo dipolar con un eje alineado en la

dirección ascensión recta 17,4 horas y declinación -62 grados, y en el que el valor de la constante en la Tierra se situaría en un punto intermedio entre los dos valores extremos del modelo.

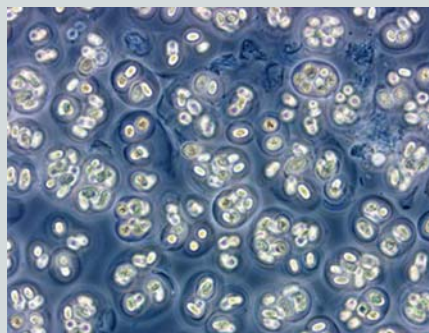
Defender que una constante fundamental de la naturaleza como *alpha* en realidad no es tal tiene radicales consecuencias. Entre otras, sugiere la violación del principio de equivalencia de Einstein, una de las bases del modelo estándar cosmológico, por lo que incluso antes de su publicación (aún está pendiente de revisión) el artículo ha causado cierto revuelo en la comunidad científica. Para muchos, las variaciones encontradas no son lo suficientemente significativas para poder ser consideradas reales. Para otros, en cambio, es otra prueba del hecho cada vez más evidente -gracias a los nuevos avances en instrumentación- de que muchas de las constantes de la naturaleza no son tales. Quizás finalmente sea verdad que en la naturaleza todo cambia.

**Emilio J. García (IAA)**

## EN BREVE

### Las bacterias supervivientes

► Bacterias procedentes de una zona rocosa de la costa inglesa han sobrevivido fuera de la Estación Espacial Internacional durante 553 días. Durante este tiempo, han soportado temperaturas extremas y han estado expuestas a la luz ultravioleta y a los rayos cósmicos. El tipo de bacterias, conocidas como OU-20 y similares a la *Gloeocapsa* que vemos en la imagen, poseen una pared celular gruesa y forman una



especie de colonias "multicelda", de modo que las células internas permanecen protegidas. Además, se trata de una especie emparentada con las bacterias que sobreviven en los desiertos o en la Antártica, por lo que es posible que posean buenos mecanismos de reparación de ADN. Las bacterias supervivientes fueron devueltas a la Tierra y prosperan saludablemente en un laboratorio.

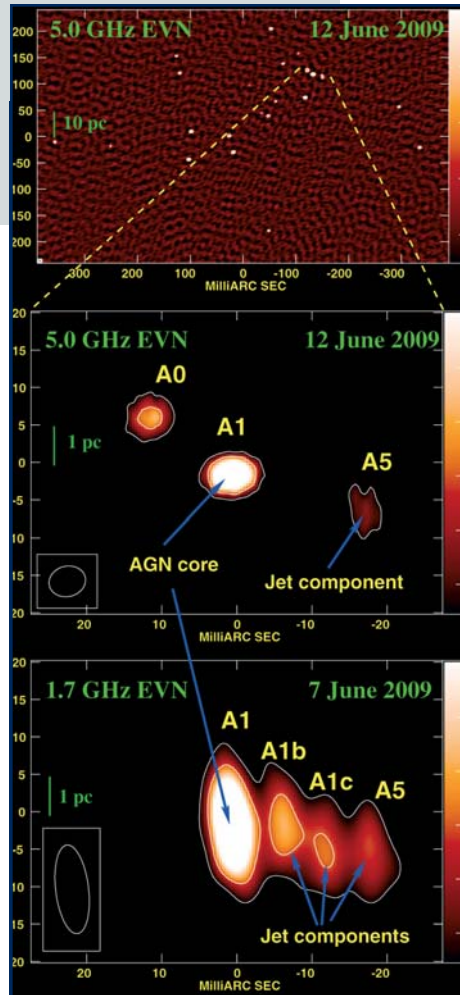
# Hallazgo fortuito del núcleo activo de la galaxia en proceso de fusión Arp 299-A

Su existencia se predijo en 2003, pero el estudio de esta galaxia se ha centrado en sus intensos brotes de formación estelar y en su alta tasa de producción de supernovas

► Astrónomos del Instituto de Astrofísica de Andalucía han obtenido un sorprendente hallazgo al observar las regiones centrales de galaxia Arp 299-A, que se halla en los inicios de un proceso de fusión con una galaxia menor. Su búsqueda de fuentes compactas, como restos de supernovas, les ha llevado a detectar el núcleo activo de la galaxia, es decir, el agujero negro supermasivo central sobre el que va cayendo materia que, en el proceso, libera gran cantidad de energía. El trabajo aparece destacado en el número de septiembre de la revista *Astronomy & Astrophysics*.

"Con observaciones de muy alta resolución hemos hallado nuevas fuentes y descubierto una estructura global en lo que pensábamos que era una cadena de supernovas jóvenes y remanentes de supernovas, y que demuestra la existencia de un núcleo activo poco luminoso que presenta un chorro de material similar al de la galaxia M81", comenta Miguel Ángel Pérez-Torres, astrofísico del IAA que encabeza la investigación.

Aunque la existencia de este núcleo activo se predijo en 2003, su situación seguía siendo una cuestión abierta y los estudios sobre Arp 299-A se han centrado en sus intensos brotes de formación estelar, producidos por la inyección de gas que supone su interacción con la galaxia compañera. "Este resultado sugiere que los procesos de fusión de galaxias llevan asociados no solo estallidos de formación estelar, sino



Zoom a las regiones centrales de Arp 299-A, donde se observan numerosos objetos compactos, muchos de ellos supernovas y remanentes de supernova. La resolución de la imagen inferior ha permitido descubrir una estructura global que une los objetos A1 y A5 y que constituye un chorro de materia que emerge del agujero negro supermasivo de la galaxia.

también la existencia de actividad nuclear", apuntan los autores.

El trabajo ha indagado también en la naturaleza de un objeto muy cercano al núcleo activo, una supernova de tipo II muy joven y de evolución muy lenta rodeada de un medio interestelar denso. Se trata de la supernova más cercana a un agujero negro supermasivo detectada hasta la fecha, cuya existencia



El par de galaxias en interacción Arp 299, formado por IC 694 y NGC 3690.

Fuente: NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University).

parece difícil de explicar: este tipo de supernovas se producen por la muerte de estrellas muy masivas, y son poco comunes en las regiones tan próximas al agujero negro central. Los autores proponen, sin embargo, que estrellas de este tipo podrían obstaculizar el crecimiento de material en torno al agujero negro y explicar así la baja luminosidad del núcleo activo de Arp 299-A.

## Red Europea de VLBI

La densidad de polvo de las regiones centrales de las galaxias impide observarlas en longitudes de onda cortas, como el visible. Pero las longitudes de onda largas, como las ondas de radio, sí pueden atravesar el velo opaco producido por el polvo. Los investigadores emplearon para este estudio una de las herramientas de observa-

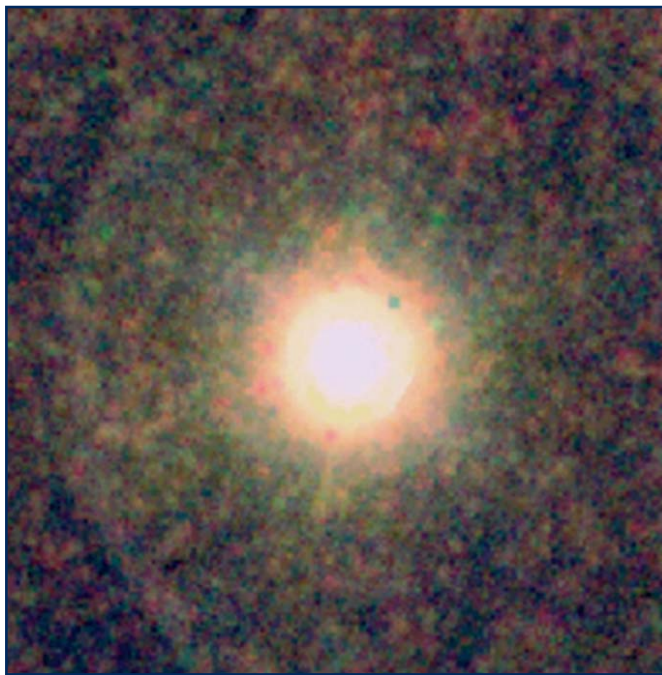
ción en radio con mayor poder de resolución existentes, la Red Europea de VLBI, un consorcio formado por los mayores radio observatorios de Europa, Asia y Sudáfrica. La técnica empleada se conoce como interferometría, y consiste en observar el mismo objeto con varias antenas separadas geográficamente, con lo que se obtiene el equivalente a un telescopio del tamaño de la distancia que separa las antenas (y esta puede ser de cientos de kilómetros). Gracias a esta herramienta el grupo de investigadores ha obtenido resoluciones angulares de milisegundos de arco, con las que podría verse desde la Tierra a una persona tumbada sobre la superficie de la Luna y que, en este caso, ha permitido observar nuevas fuentes cuya morfología, luminosidad e índice espectral demuestran la existencia de un núcleo activo en Arp 299-A.

# Se encuentra vapor de agua en CW Leonis, una estrella de carbono

Un estudio reciente de CW Leonis descarta que el vapor de agua se produzca por la evaporación de cuerpos helados

► IRC + 10126, más conocida como CW Leonis, es una vieja estrella de carbono situada en la constelación de Leo. Aunque en el visible es una estrella débil, es el objeto extrasolar más brillante del cielo en el infrarrojo después de Eta Carinae. Esto se debe a que se encuentra rodeada de una capa de polvo que absorbe prácticamente toda su emisión visible y la reemite como luz infrarroja. Una estrella de carbono es una estrella de masa intermedia como el Sol que ha envejecido y se encuentra en una fase de gran combustión nuclear llamada rama asintótica gigante (AGB, en inglés *asymptotic giant branch*), donde el carbono es más abundante que el oxígeno en la capa de polvo y gas que la rodea. Esta envoltura alrededor de la estrella está formada por materia de la propia estrella que ha sido arrastrada por el viento estelar.

Lo que hace de CW Leonis una estrella muy interesante es que se ha detectado vapor de agua a su alrededor. Este hecho resulta sorprendente ya que, dada su abundancia de carbono, el oxígeno debería encontrarse formando monóxido de carbono (CO) y no moléculas de agua. La presencia de vapor de agua fue descubierta en 1999 por el satélite de la NASA SWAS (*Submillimeter Wave Astronomy Satellite*), lo que despertó nuevas preguntas entre los científicos: ¿cómo se había formado el agua en un ambiente tan rico en carbono? El primer estudio publicado en 2001 atribuyó su presencia a la vaporiza-



ción de cuerpos helados, como cometas o planetas enanos, girando alrededor de la estrella. Años más tarde, se propusieron dos mecanismos distintos para explicar la formación de agua y donde se daba una predicción de su distribución espacial dentro de la capa gaseosa.

En 2009, observaciones espectroscópicas de CW Leonis con los instrumentos PACS y SPIRE acoplados a bordo del Observatorio Espacial Herschel han revelado nuevas pistas para poder comprender el origen del vapor de agua. Las medidas muestran que el agua está presente en la región más interna de la capa que rodea la estrella, donde la temperatura es lo suficientemente

alta para poder excitar las líneas espectrales correspondientes al agua (H<sub>2</sub>O), que necesitan niveles de energía alrededor de los 1000 K. Este resultado, que ha sido publicado recientemente y es de gran importancia, excluye los mecanismos que sitúan el agua en regiones intermedias o externas de la envoltura estelar.

Sabemos que hay agua pero, ¿cómo ha llegado hasta la parte más interna de la capa que rodea a CW Leonis? La explicación más probable apunta a que el vapor de agua se produce por procesos químicos donde las reacciones se desencadenan debido a la radiación ultravioleta. La única fuente de esta luz procede del

espacio interestelar, y normalmente es bloqueada por el material que fluye de la estrella debido a su pérdida de masa por viento estelar. Pero con observaciones en el visible y en el infrarrojo cercano se ha comprobado que la capa que rodea a IRC + 10216 no es homogénea y tiene regiones más o menos vacías, lo que permite que una fracción de fotones ultravioleta penetren en las regiones más internas. De esta forma, la luz ultravioleta libera los átomos de oxígeno de las moléculas de monóxido de carbono y pueden reaccionar con el hidrógeno para formar agua. Las estrellas AGB cuentan con un mecanismo para producir algo de radiación ultravioleta (UV), que se generaría por la propia pulsación cerca de la fotosfera estelar; sin embargo, debido a su alta densidad, los fotones UV se atenúan considerablemente y la radiación se vuelve muy débil.

La penetración de la radiación UV interestelar en el interior de la capa que rodea a la estrellas provoca la formación de híbridos a partir de elementos pesados como son el NH<sub>3</sub> (amoníaco) y otras moléculas como es el HC<sub>3</sub>N.

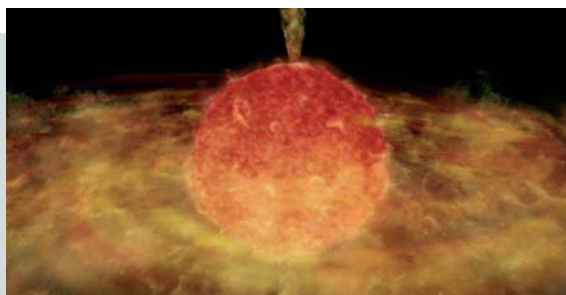
El descubrimiento de agua en estrellas de carbono, como es el caso de CW Leonis, obliga a estudiar la importancia de las reacciones químicas inducidas por la luz ultravioleta procedente del medio interestelar en estrellas con envolturas de gas y polvo. Los investigadores responsables de esta investigación no dudan en que se puedan encontrar situaciones similares en otras estrellas.

Susana Martín-Ruiz (IAA)

## EN BREVE

### Una estrella con crisis de identidad

► La estrella BP Piscium, estudiada a lo largo de la última década, muestra características difíciles de interpretar: posee un disco de gas y polvo y un par de chorros de material que surgen de sus polos y se extienden hasta varios



años luz de distancia, rasgos típicos de una estrella joven. Sin embargo, los datos más recientes sugieren que se trata de una estrella vieja, más concretamente de una gigante roja. En este escenario, el disco y los chorros podrían

## La pregunta

A raíz de una nota de prensa cuyos resultados se analizaron en la sección "Deconstrucción y otros ensayos" del número anterior, un lector nos remitió una pregunta que hemos considerado interesante y que reproducimos aquí:

He leído con gran interés su nota de prensa sobre la activación de un cuásar por un encuentro entre galaxias y me surgen varias preguntas: ¿Cuál es el corrimiento al rojo (*redshift*) del cuásar? Unos compañeros relacionan este hallazgo con la hipótesis sobre el corrimiento al rojo de Halton Arp; en este caso, el *redshift* del cuásar debería ser diferente (mayor) que el de la galaxia que lo alberga. ¿Es este el caso de SDSS J0123+00? ¿Confirmaría esto la hipótesis de Arp?

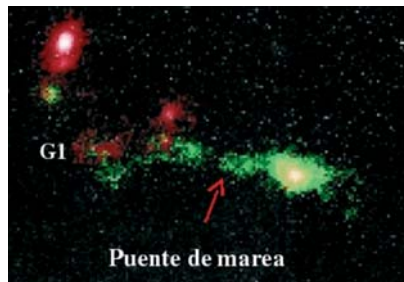
Estudios realizados en las primeras décadas del siglo XX condujeron al descubrimiento de que los espectros de la mayoría de las galaxias están desplazados hacia el rojo. Se interpretó que en general las galaxias se alejan de nosotros y se alejan entre sí: es decir, el Universo se encuentra en expansión. Poco después se producía la derivación empírica de la importantísima ley de Hubble (1929), según la que la velocidad con la que una galaxia se aleja de nosotros es proporcional a su distancia. La expansión del Universo y la ley de Hubble son pilares fundamentales del modelo del Big Bang (gran explosión) sobre el origen del Universo. Este, por tanto, asume que el desplazamiento al rojo (que representamos con la letra  $z$ ) es cosmológico y que galaxias con mayor  $z$  están más lejos.

En los años sesenta del siglo pasado, el astrónomo Halton Arp y sus colaboradores propusieron una idea revolucionaria. Obtuvieron resultados que, aparentemente (en la mayoría de los casos hoy existen explicaciones alternativas), implicaban que objetos astronómicos como cuásares y galaxias con desplazamientos al rojo muy diferentes se encuentran asociados físicamente. Esto sería imposible si dichos objetos estuvieran separados por las enormes distancias inferidas a partir de sus respectivos valores de  $z$ . Descartaban así el origen cosmológico de  $z$  y proponían que las galaxias y cuásares tienen desplazamientos al rojo intrínsecos que dependen de su edad. Ponían así en tela de juicio la ley de Hubble y el modelo del Big Bang.

Si tienes alguna pregunta, puedes enviarla a [revista@iaa.es](mailto:revista@iaa.es)

interpretarse como restos de una interacción reciente: a medida que BP Piscium aumentaba de tamaño al terminar la secuencia principal y entrar en la fase de gigante roja, pudo engullir un planeta gigante o una estrella compañera. Son varias las evidencias que apuntan a

que se trate de una estrella vieja: para empezar, no se encuentra próxima a una región de formación estelar; además, presenta muy poco litio en su atmósfera, su gravedad superficial es muy baja así como su producción de rayos X, todo ello característico de estrellas viejas.



En el número anterior de esta revista, la sección "Deconstrucción y otros ensayos" (titulada *Cómo encender un cuásar*) se dedicó a un interesante sistema formado por una galaxia que está físicamente conectada a un cuásar por un puente de gas. Hemos recibido consultas sobre si este sistema apoya la teoría de Arp y contradice la naturaleza cosmológica del desplazamiento al rojo. La respuesta es no. El cuásar y la galaxia tienen valores de  $z$  muy similares. Según la interpretación cosmológica de  $z$ , están a distancias parecidas y, por tanto, la conexión física es totalmente factible.

Aunque las ideas de Arp y colaboradores siguen causando interés entre el público general, no han sobrevivido al avance de la tecnología y de la ciencia. Tras casi un siglo desde el descubrimiento de la expansión del Universo, el origen cosmológico de  $z$  está fuertemente respaldado tanto por la teoría como las observaciones. El modelo del Big Bang tiene problemas, pero la naturaleza no cosmológica del desplazamiento al rojo no es uno de ellos.

Montserrat Villar (IAA)

## ENTRE BASTIDORES

PREMIOS, UNIVERSIDAD Y  
ASTROLOGÍA

EMILIO J. ALFARO (IAA-CSIC)

A principios de octubre, en una ceremonia presidida por cinco premios Nobel, se entregaron los galardones IgNobel 2010. El IgNobel se concede a aquellos científicos cuyos trabajos de investigación, en palabras de sus organizadores, "primero te hacen reír y después pensar." Sirva como ejemplo el premio concedido en el área de Biología a dos científicos de la Universidad de Bristol, por demostrar que los murciélagos de la fruta practican sexo oral antes de la cópula, lo que les lleva a mantener más tiempo la erección -un resultado que no ha sorprendido en absoluto a Batman.

Pero el IgNobel 2010 que más me ha impresionado, por el horizonte de posibilidades que abre, se refiere al área de Gestión y Administración. Tres autores italianos han demostrado matemáticamente que cualquier organización funcionaría mejor si la promoción de sus miembros se realizara aleatoriamente. Algo que, estoy seguro, más de un lector ya había intuido.

Casi de forma simultánea a la concesión de estos premios han tenido lugar en una universidad española unas jornadas de astrología. Sí, han leído bien, astrología. Ante las protestas de miembros de esa universidad, sociedades científicas y ciudadanos indignados, la vicerrectora de Extensión Universitaria declaró a un periódico que la Universidad de Alicante mantendrá las jornadas porque "solo les cedemos el espacio, no entramos en los contenidos, que no tienen ninguna vinculación con la Universidad ni ningún reconocimiento académico; nuestra relación, más allá del espacio, es nula". Puede que la relación sea nula para esta vicerrectora, pero no lo es para la Sociedad Española de Astrología, que así se denominan los organizadores del evento, quienes no han tardado en incorporar el logo de la UA al anuncio de las jornadas. La Astrología y la Universidad unidas otra vez, ¡en el siglo XXI!

Aparte de la dificultad de los humanos en erradicar la superchería, una cosa resulta evidente de todo esto: el equipo rectoral no ha sido elegido al azar.

Emilio J. Alfaro es astrónomo del Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC) y Presidente de la Sociedad Española de Astronomía.

## Pilares científicos

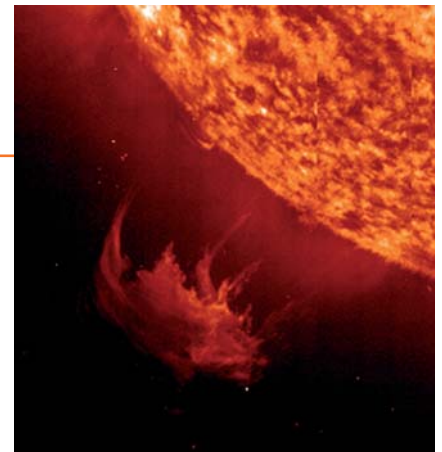
# LOS FACTORES DEL CLIMA ESPACIAL

EXISTEN CUATRO TIPOS DE FENÓMENOS ASOCIADOS A LA ACTIVIDAD SOLAR QUE PUEDEN INFLUIR SOBRE NUESTRO PLANETA

El Sol es un excepcional laboratorio: en su más de un millón de kilómetros de radio hay encerrada más física y química que en la suma de muchos laboratorios terrestres. El último siglo de investigación solar nos ha permitido conocer cada vez más sobre el intrincado rompecabezas que supone nuestra estrella, cuyas piezas serían: cómo se produce energía en su interior, cómo se transporta esta desde el núcleo hasta la superficie, cómo interacciona con el plasma solar, cómo se genera y desarrolla su campo magnético así como su relación directa con los fenómenos de actividad solar. Especial relevancia ha tenido este último campo debido a su

influencia sobre nuestro planeta en lo que se define como clima espacial. Y los fenómenos que afectan a este clima se agrupan en cuatro tipos: fulguraciones solares, eyecciones de masa coronal (CME), partículas solares energéticas y viento solar de alta velocidad. Las fulguraciones solares son explosiones de radiación, especialmente en el rango visible y en rayos X, asociadas a un aumento de la energía magnética relacionado a su vez con las manchas solares. Las eyecciones de masa coronal son grandes erupciones de plasma solar y campo magnético que, literalmente, se desprenden de la superficie solar y barren parte del Sistema Solar. La interacción de estas eyecciones con el propio viento solar genera un chorro de partículas cargadas muy energéticas que siguen las líneas de campo magné-

tico entre el Sol y la Tierra. Por último, el viento solar de alta velocidad se compone de partículas energéticas que escapan de determinadas áreas del Sol conocidas como agujeros coronales y que pueden alcanzar el campo magnético terrestre en pocos minutos. Gracias a los observatorios solares y a las misiones espaciales, cada vez contamos con imágenes de mejor resolución tanto espacial como temporal de la superficie solar que nos están permitiendo conocer mejor procesos como el de *reconexión* magnética -responsable de las CME y las fulguraciones solares-, entre otras muchas cuestiones aún sin contestar.



## Incertidumbres

# PRONÓSTICOS TORMENTOSOS

LA PREDICCIÓN DE LA ACTIVIDAD SOLAR RESULTA COMPLEJA, TANTO A NIVELES GLOBALES (MÁXIMOS Y MÍNIMOS) COMO EN EVENTOS CONCRETOS

A pesar de los muchos avances que se han realizado en el último siglo con respecto a la dinámica solar, aún no existe un modelo que explique cómo funciona realmente el Sol o cuál es el origen exacto de su actividad. Por esta razón predecir la actividad solar constituye un problema complicado, en muchos aspectos similar a la predicción climatológica pero mayor en el caso solar por la compleja física del plasma y de su magnetismo. Además, la Tierra y el Sol forman un sistema conectado, y predecir el comportamiento del Sol solo resolvería la mitad del problema. De hecho, la manera en que el campo magnético y la atmósfera terrestres interaccionan con una tormenta solar es uno de los principales caballos de batalla de la heliofísica actual. Incluso suele afirmarse que la predicción del clima espacial lleva cincuenta años de retraso con respecto a

su contrapartida terrestre. A pesar de que el ciclo de actividad solar presenta un patrón regular de unos once años, el pronóstico de los máximos y mínimos aún no resulta del todo eficaz, y menos aún respecto a la intensidad y duración de estos. En general, las predicciones se basan en la revisión de los datos estadísticos anteriores pero, sin ir más lejos, el último mínimo (2008) se mostró excepcionalmente largo y carente de intensidad en relación a lo esperado por el panel de expertos. Esta complejidad alcanza su máximo cuando se trata de prever eventos concretos en la superficie del Sol que puedan afectar de manera significativa a la Tierra. Al igual que con los terremotos o los huracanes, no existe un modelo que nos permita predecir de manera exacta cuándo se va a producir una tormenta solar, y menos su tipo e intensidad. Aún así, organizaciones como la *Space Weather Prediction Center* emplean observatorios tanto terrestres como espaciales para monitorizar en tiempo real el entorno y la superfi-

cie solar. Con estos datos y modelos numéricos, y de manera análoga a la meteorología terrestre, establecen un pronóstico del clima solar en una escala que va de horas a semanas. Pero en lo que no hay tanta incertidumbre es en las consecuencias que una tormenta solar intensa provocaría sobre nuestra tecnificada sociedad, tan dependiente del sistema eléctrico: efectos adversos en las comunicaciones y la navegación GPS, destrucción de componentes eléctricos en satélites e incluso tormentas geomagnéticas capaces de destruir gran parte del sistema eléctrico mundial sumirían durante meses a la humanidad en un estado similar al de la Edad Media. Estos efectos se paliarían con un adecuado sistema de previsión ante la llegada de una tormenta solar. Por estas razones es tan importante mantener bien vigilada a nuestra estrella.

## divulgación

> SEMANA DE LA CIENCIA 2010 // [www.iaa.es/scyt2010](http://www.iaa.es/scyt2010)  
**conferencias + exposici<sup>o</sup>n + marionetas**

Las anteriores ediciones de Noches de Ciencia nos han permitido visitar los lugares comunes de la CIENCIA, viajar por los diferentes rincones del TIEMPO y entender el concepto EVOLUCIÓN como una constante en el

Universo. Para este año 2010 la palabra clave es INVENCIÓN. La invención entendida como la etapa final de un largo y continuo proceso, un proceso que comienza con el estudio y la observación de un fenómeno, la

formulación de hipótesis y la elaboración de unas leyes, y que alcanza su madurez con el desarrollo de una tecnología donde confluyen muchos caminos del conocimiento y con la que se abren, a su vez, nuevos territorios para explorar.

No tendríamos satélites de comunicación sin las leyes de Newton, pero tampoco descubriríamos la geología marciana sin la robóti-

ca de los rover, o la intimidad más escondida de la materia sin la monstruosa tecnología de los aceleradores de partículas. Ciencia y tecnología forman una simbiosis vital. Y, aunque su relación es a veces compleja y tortuosa, llena de atajos y grandes rodeos, no pueden existir de forma independiente y constituyen las piezas fundamentales e imprescindibles de lo que denominamos progreso.

**Noches de Ciencia 4 un ciclo de divulgación sobre la Invencción**  
 [ cómo el conocimiento mejora nuestra vida ]  
[www.iaa.es/scyt2010](http://www.iaa.es/scyt2010)

**martes 16 nov. 19:00** [ Una breve historia de la enfermedad: pasado, presente y futuro. Pablo R. Palenzuela (UPM) ]  
**SALUD**

**miércoles 17 nov. 19:00** [ Planeta amigo. Javier Almedros (IAG) ]  
**TIERRA** [ Planeta cruel. Miguel Abril (IAA-CSIC) ]

**jueves 18 nov. 19:00** [ Las partículas elementales: de la Grecia Antigua al LHC. Jesús Marco (IFCA-CSIC) ]  
**MATERIA** [ Manipulando la materia: el nanomundo. José Luis Costa-Krämer y Antonio García (IMM-CSIC) ]

**viernes 19 nov. 19:00** [ Herramientas hechas con luz. Carmen Afonso (IO-CSIC) ]  
**LUZ** [ Ondas gravitatorias: la otra luz del Cosmos. José Luis Jaramillo (MPG) ]

**Y también... exposición GALERÍA DE INVENTORES**  
 Sala de exposiciones de la Biblioteca de Andalucía

**En la Biblioteca de Andalucía c/Prof.Sainz Cantero 6**

organiza: Instituto de Astrofísica de Andalucía IAA-CSIC

**La Guíæoleta presenta...**

**¡CONTACTO PEL"CANO!**

Galileo



## congresos

> ERE 2010 // 6-10 SEPTIEMBRE 2010 // <http://www.iaa.es/ere2010>

En septiembre tuvieron lugar en Granada los Encuentros Relativistas Españoles (ERE 2010), un congreso internacional que, bajo el título La gravedad como un cruce de caminos en la Física, acogió a más de doscientos investigadores de todo el mundo.

Los Encuentros Relativistas Españoles 2010 se han establecido, a lo largo de sus más de treinta años de trayectoria, como un evento internacional destacado en su campo que busca el diálogo y el intercambio de ideas. El grupo de

Gravitación y Cosmología del Instituto de Astrofísica de Andalucía, organizador de esta edición, la dotó de un enfoque multidisciplinar al estructurar la reunión en torno a la gravedad, concepto que permite establecer diálogos entre diferentes comunidades científicas. De hecho, cada día se organizó como un encuentro entre expertos de distintas áreas, que debatieron desde los aspectos más teóricos de la gravedad hasta sus aplicaciones prácticas, por ejemplo en astrofísica o en cosmología.

**Spanish Relativity Meeting ERE2010, Granada 6-10 September**

**"Gravity as a Crossroad in Physics"**  
 Organized by the "Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC"

The underlying rationale of the meeting is to present gravitational physics as a "focus" for the interesting relations between theoretical cosmology and physics. Each day during the event will be devoted to a particular "thematic" where the communities sharing some of their ultimate goals, but differing in their conceptual background, methodology and technical approach. The following "Day" theme areas contain the scientific content of each Day:  
 Day 1: Fundamental vs Effective approaches in theoretical gravity.  
 Day 2: Cosmology vs Quantum Field Theory approaches in Quantum Gravity.  
 Day 3: Theoretical Cosmology vs Physical Cosmology.  
 Day 4: Astrophysics vs Cosmology.  
 Day 5: Mathematical Relativity vs Numerical Relativity.

Invited speakers: A. Abulmasmeh, M. Arzouf, E. Álvarez, R. Arzouf, R. Bardeen, T. Baumgarte, B. Carter, M. Colles, G. Dall'Aglio, J. Fernández, G. Genovese, A. Lobo, M. Longo, J. M. Martín-García, G. Motta, M. Pagan, R. Penrose, T. Pfenning, R. Penrose, R. Penrose, C. Rovelli, A. Sotiriou, J. Valiente, J. Valiente, M. Visser, G. Volonakis, J. Zanotti.

International Advisory Board: M. Alcubierre, J. Aronson, R. Beg, C. Callan, T. Damour, R. Maartens, M. Sasaki, M. Visser.

Local Organizing Committee: V. Abaya, C. Barceló (coordinator), J.L. Jaramillo (coordinator), J.L. Díaz, F. Lizasoain.

Sponsors: IAA, CSIC, SECYT, etc.

# AGENDA

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

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

28 oct.	Antxon Alberdi (IAA-CSIC)	Un Universo magnético
25 nov.	Enric Pallés (IAC)	Astrobiología
16 dic.	Emilio J. Alfaro (IAA-CSIC)	Cuestión de densidades

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



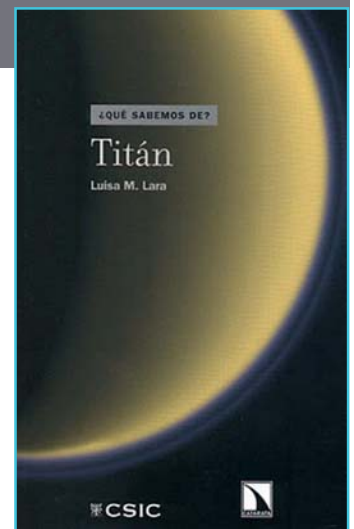
# RECOMENDADOS

## ¿QUÉ SABEMOS DE? TITÁN

Cuando se quiere hacer referencia a un lugar cuya descripción nos resulta difícil, se suele emplear la frase "tiene una atmósfera especial", y con ella queremos expresar todo aquello que de alguna forma nos ha conmovido, nos ha inquietado o nos despierta curiosidad... Así es Titán, un satélite con una atmósfera especial; todo lo que él esconde, desde su interior más profundo y desconocido hasta su capa atmosférica más externa, representa un entorno desconocido y muy atractivo. Desde su descubrimiento como satélite de Saturno a mitad del siglo XVII hasta nuestros días, la forma en que se ha ido mostrando a la comunidad científica ha sido casi siempre elusiva. Se intuyó su atmósfera en el año 1905, se descubrieron los gases que la componen y se nos negó la visión de su superficie aun estando allí con las misiones Voyager 1 y 2. A principios del siglo XXI, después de casi cuarenta años de avances tecnológicos y científicos, el escenario es otro, pero los actores son los mismos: Titán y una nave espacial (Cassini-Huygens). En esta obra descubriremos un satélite con un mundo químicamente muy activo y geológicamente intrigante, aunque ya empiece a permitirnos ver sus ríos, canales, cañones, montañas, lagos, costas y criovolcanes.

Autora: Luisa M. Lara

Ediciones CSIC/Catarata (puede adquirirse en [www.csic.es](http://www.csic.es) y en [www.catarata.org](http://www.catarata.org))



## CIENCIA EN MUÑEQUILLOS DE PELUCHE



¿Quién puede resistirse a la pareja formada por un fotón y una partícula de materia oscura (dcha), o a la familia compuesta por un neutrón, dos quarks abajo, un quark arriba y un gluón (debajo)? La autora y diseñadora de *The Particle Zoo* busca reflejar su interés por la cosmología y la física de partículas en cada una de sus partículas de fieltro, cuyo color,

peso, tamaño o apariencia se adecuan a las características de sus homólogos reales.

<http://www.particlezoo.net/>

Otra opción para aquellos que estén más interesados por cuestiones de salud son los microbios gigantes de GiantMicrobes: a la izquierda, de arriba abajo tenemos una neurona, el virus de la gripe, la *Escherichia coli*, el temible estafilococo áureo multirresistente o el virus de las vacas locas. <http://www.giantmicrobes.com>



## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

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

