

# I NFORMACIÓN Y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

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

JULIO DE 2012, NÚMERO 37

## Nuestro aletargado monstruo galáctico

Una mirada no tan limitada al universo

CLASH

El misterioso caso de Henrietta Leavitt y Erasmus Cefeido

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

SGR A\*

Imagen: NASA/CXC/MIT/F. Baganoff, R. Shcherbakov et al.

Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Miguel Abril, Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle. Comité asesor: Rafael Garrido, José Juan López Moreno, Jesús Maíz y José Vílchez. Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

Instituto de Astrofísica de Andalucía  
c/ Glorieta de la Astronomía sn , 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

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

# ÍNDICE

## REPORTAJES

SGRA\*: NUESTRO ALETARGADO MONSTRUO GALÁCTICO ...2

UNA MIRADA NO TAN LIMITADA AL UNIVERSO ...7

CLASH ...10

CIENCIA EN HISTORIAS. UNA BREVE, MUY BREVE, HISTORIA DE LOS AUTÓMATAS ...13

DECONSTRUCCIÓN Y OTROS ENSAYOS. EL EXTRAÑO CASO DE HENRIETTA LEAVITT Y ERASMUS CEFEIDO ...14

EL "MOBY DICK" DE... RENÉ DUFFARD (IAA-CSIC) ...16

ACTUALIDAD ...17

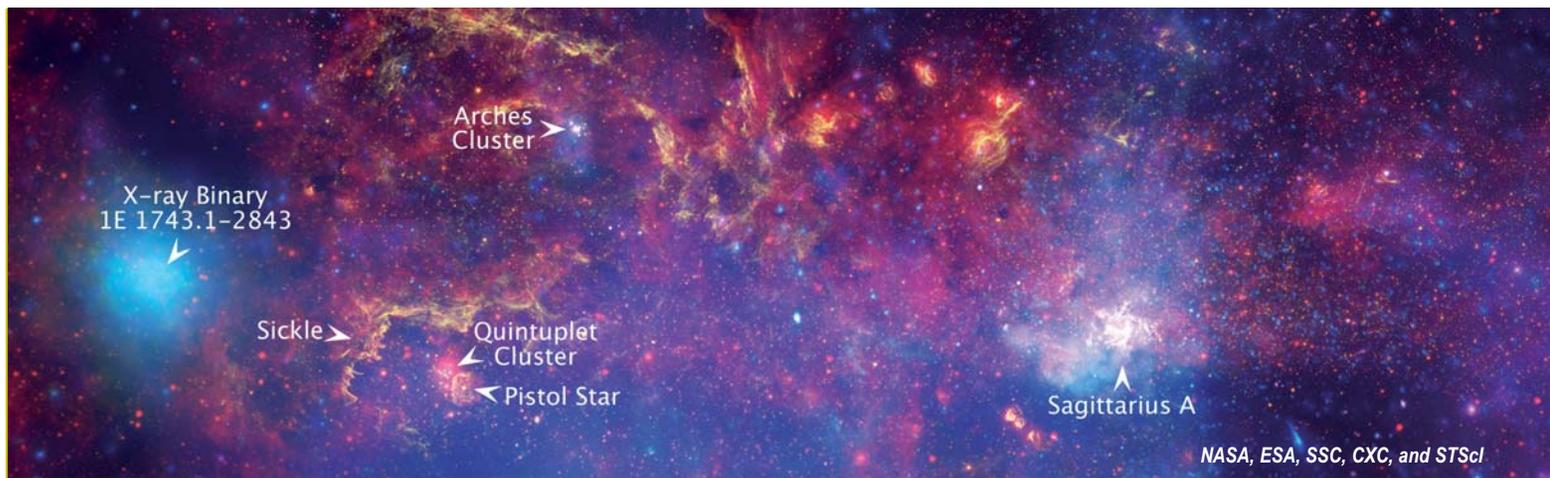
ENTRE BASTIDORES ...21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES...

LA MISTERIOSA MATERIA OSCURA ...23

AGENDA/RECOMENDADOS ...24



# SgrA\*: nuestro aletargado monstruo galáctico

**EN 2002 SE CONFIRMÓ LA EXISTENCIA DE UN AGUJERO NEGRO (SUPER)MASIVO EN EL NÚCLEO DE LA VÍA LÁCTEA. ¿QUÉ HEMOS AVERIGUADO SOBRE ÉL DESDE ENTONCES?**

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

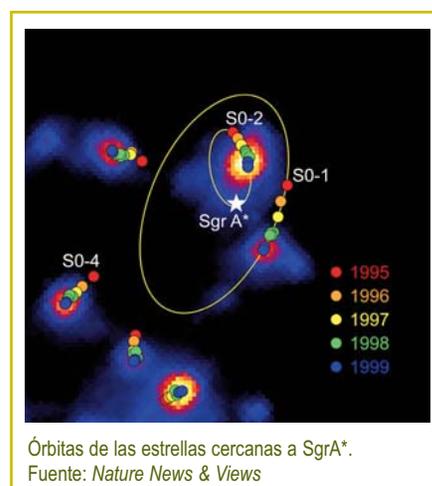
HABRÁN OÍDO HABLAR DE ÉL: NUESTRA GALAXIA, LA VÍA LÁCTEA, ESCONDE EN SU REGIONES CENTRALES UN MONSTRUO hambriento con más de cuatro millones de veces la masa del Sol... un agujero negro supermasivo conocido como Sagitario A Estrella (también Sagitario A\* o SgrA\*). Aunque esta introducción puede disparar nuestra imaginación -sobre todo la de quienes saben algo de los agujeros negros supermasivos en los núcleos de otras galaxias-, y llevarnos a pensar en enormes cantidades de materia cayendo hacia el pozo gravitatorio y en una producción de energía igualmente enorme, la realidad de SgrA\* es mucho más plácida y menos espectacular: según los expertos, se trata

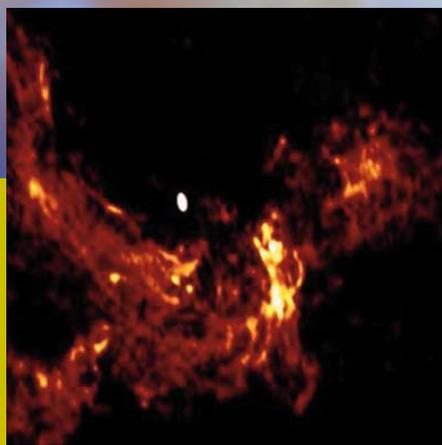
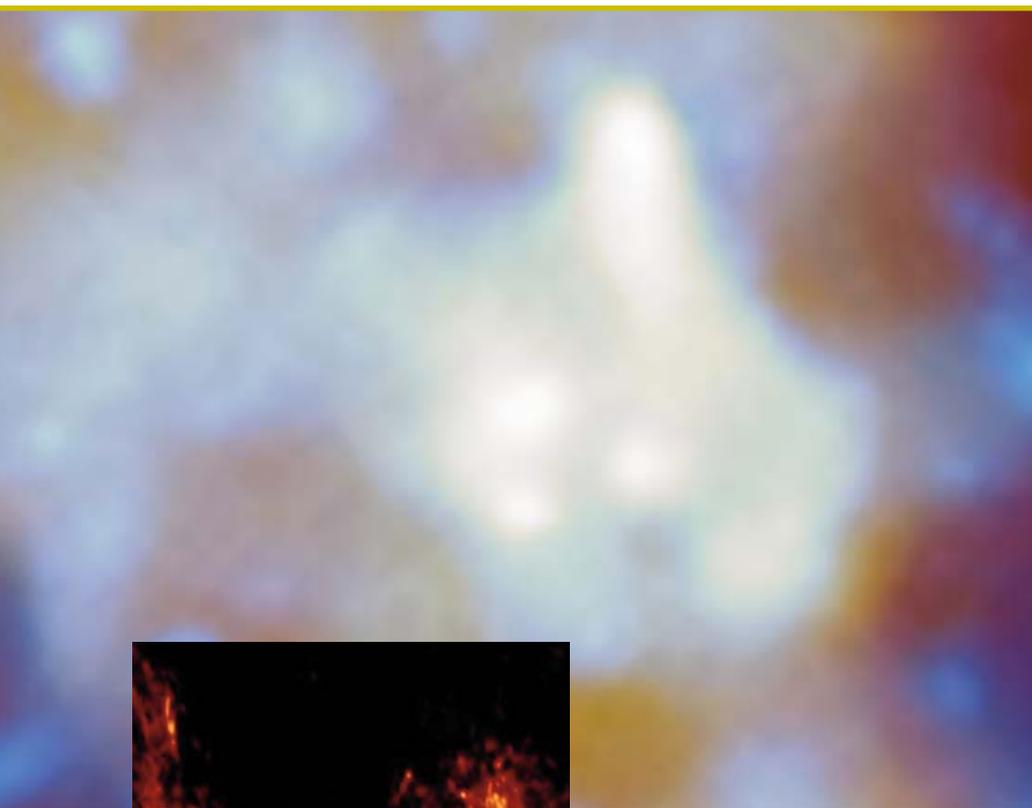
de un agujero negro más bien masivo (a secas, sin el súper), que se halla en un estado de letargo y que no dispone de la capacidad de los otros, los activos, para convertir la materia en energía. Sin embargo, se cree que muchos de los agujeros negros de los núcleos galácticos podrían incluirse en esta categoría de objetos durmientes y, además, Sagitario A\* es el único que se encuentra lo suficientemente cerca como para poder estudiar en detalle su entorno, sus características y su comportamiento e, incluso, para fotografiarlo.

## El descubrimiento

Aunque el objeto que hoy conocemos como Sagitario A\* se descubrió en 1974,

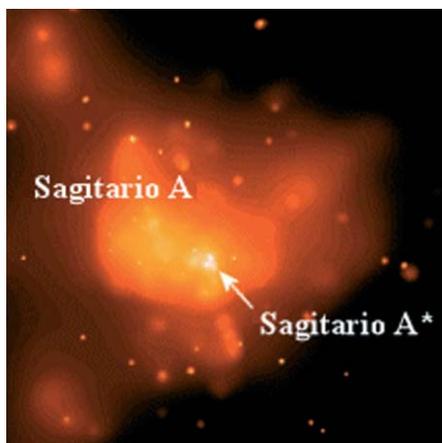
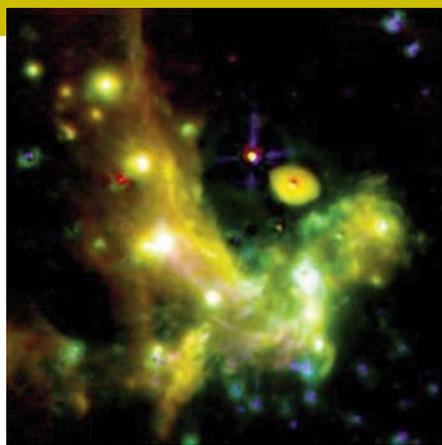
pasaron décadas hasta que ese objeto puntual que detectaron los radiotelescopios en las regiones centrales de la Vía Láctea fuera confirmado como un agujero negro supermasivo. Por un lado, parecía demasiado débil comparado con otros objetos de las mismas características y, por otro, había que descartar otras posibilidades midiendo su masa y demostrando que se hallaba concentrada en un volumen muy pequeño. A finales del siglo pasado se obtuvo una primera evidencia, gracias al meticuloso estudio del movimiento de las estrellas cercanas: no solo detectaron velocidades extremas (1.500 kilómetros por segundo) en órbitas muy pequeñas en torno a SgrA\*, sino que hallaron que la velocidad de las estrellas aumentaba hacia las cercanías del objeto (algo similar a lo que ocurre con los planetas del Sistema Solar), lo que constituye un claro indicio de que se encuentran bajo la influencia de un campo gravitatorio muy intenso que debe ser causado, además, por un objeto muy compacto. En 2002 se determinó, además, con una precisión inédita la órbita de la estrella S2, que dibuja una elipse muy pronunciada en torno a SgrA\* y que, en el punto de máximo acercamiento, se sitúa a unas tres veces la distancia que existe entre el Sol y Plutón. Gracias a los datos sobre las órbitas estelares (y a otros obtenidos con redes de radiotelescopios) se pudo calcular la masa de Sagitario A\*,





Arriba: zoom al centro galáctico en rayos X que muestra una región de unos cuatro años luz. Fuente: NASA/CXC/MIT/F.K. Baganoff et al./E. Slawik.

En pequeño, de arriba abajo: imagen en radio que muestra los brazos de gas ionizado (VLA); imagen en infrarrojo que desvela la existencia de polvo (VISIR/VLT); imagen en rayos X que muestra el gas caliente (Chandra). Todas ellas muestran una región de unos cinco años luz.



que equivale a unos cuatro millones de soles, y se confirmó que se halla contenida en un volumen muy reducido. Ya no cabía duda: habían encontrado el agujero negro central de la Vía Láctea.

### Masivo y aletargado

Antes del hallazgo de Sagitario A\* ya se suponía que la mayoría de las galaxias debían de tener un agujero negro supermasivo en su centro. Esta suposición surgió del estudio de las galaxias activas, objetos en los que la energía, muy superior a la que pueden producir las estrellas que forman la galaxia, se halla concentrada en la región central. Aunque existen diversos tipos, la visión actual defiende que todas las galaxias activas responden a un mismo fenómeno: la presencia de un agujero negro supermasivo rodeado de un disco de gas en el núcleo galáctico. Es la materia existente en torno al agujero negro la que, en su proceso de caída, libera energía, y en algunos casos se observan también chorros de partículas perpendicu-

lares al disco que viajan a velocidades cercanas a la de la luz (los jets relativistas). La enorme distancia a la que se encuentran las galaxias activas, sobre todo los cuásares, las sitúa en el universo primitivo: como su luz tarda miles de millones de años en alcanzarnos estamos viendo una etapa pasada, en la que la actividad nuclear parecía ser abundante; y los astrónomos dedujeron que los agujeros negros supermasivos que brillaban en el pasado deben estar presentes también en el universo actual, aunque quizá en estado latente.

Ese es, precisamente, el caso del agujero negro central de la Vía Láctea. Rainer Schödel, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y experto en SgrA\*, lo resume de forma muy clara: "Sagitario A\* mantiene una corriente de materia cayendo hacia él, o flujo de acreción, pero carece de un disco de acrecimiento; tampoco muestra la estructura toroidal de gas y polvo común a las galaxias activas -aunque algunos sugieren que las nubes moleculares que forman lo que se conoce como anillo circumnuclear son un vestigio de esta estructura-; y tampoco hay evidencias claras de que exista un jet, aunque hay quien argumenta que podría existir uno, pero intermitente. Además, su emisión es muy débil y su capacidad para convertir materia en energía es varios órdenes de magnitud más baja que la de los cuásares. En definitiva, SgrA\* no es un núcleo activo".

Así que la foto ha cambiado bastante. Entonces, ¿cómo es y cómo funciona este

*La capacidad de SgrA\* de convertir materia en energía es varios órdenes de magnitud más baja que la de los cuásares*

monstruo dormido? En el caso de SgrA\*, la falta de referentes (fue el primer agujero negro supermasivo hallado en estado de letargo), se compensa con la cercanía. Se entiende que la principal causa de la debilidad de Sagitario A\* reside en que no hay una nube de gas denso y abundante lo suficientemente cerca; además, se cree que la frugal dieta de SgrA\* se compone del viento estelar de un grupo de estrellas jóvenes próximas, pero solo de un pequeño porcentaje de este. Una incapacidad para absorber material que parece deberse, en cierto sentido, a la alta velocidad del viento estelar, y que explicaría el hecho de que SgrA\* sea mucho menos

luminoso de lo que debiera teniendo en cuenta la cantidad de gas disponible en su entorno (se calcula que dispone de una milésima de masa solar por año, equivalente a más de trescientos planetas Tierra, pero que solo absorbe en torno a la milonésima parte de esa cantidad).

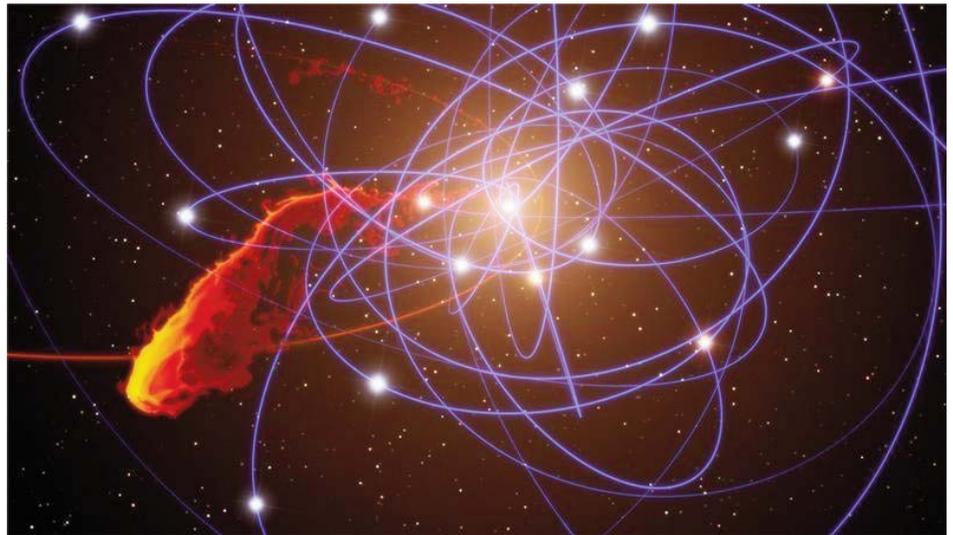
Otra causa de la debilidad de Sagitario A\* reside en la propia forma del flujo de acreción: el material no forma un disco fino, donde el gas se calienta debido a la fricción y emite energía, sino que se configura como un disco muy grueso que cae directamente hacia el agujero negro sin dejar “testimonio” de su existencia.

Y hay un tercer factor que conspira para que SgrA\* brille poco, ya que se predice que debe existir un viento muy fuerte que emana de él y que provocaría la pérdida de un alto porcentaje del material del flujo antes de alcanzar la región en la que la fuerza de gravedad del agujero negro lo absorbería.

### Comportamiento variable

Además, un trabajo publicado en 2008 halló que el flujo de material que absorbe el agujero negro debería variar en escalas de unos diez a cien años debido a la excentricidad de las órbitas de estas estrellas -cuando se aproximan a su pericentro, o región de la órbita más cercana a SgrA\*, una gran parte del viento es directamente capturado por este, incrementando su luminosidad-. También, aunque en menor medida, la caída ocasional de “grumos” de gas frío contribuiría a aumentos ocasionales en su emisión.

La variabilidad de Sagitario A\* era un fenómeno ya conocido. Desde hace años se viene observando que, varias veces al día, se producen fulguraciones, es decir, aumentos de su emisión en infrarrojos y en rayos X, que pueden multiplicarse hasta por diez y cien veces respectivamente. El origen de estas fulguraciones ha propiciado varias teorías: un grupo de astrónomos planteó en un artículo reciente que estos estallidos podrían deberse a la existencia, en torno a SgrA\*, de un enjambre de cuerpos menores (asteroides y cometas) “huérfanos” que, atraídos por su campo gravitatorio, fueran cayendo ocasionalmente hacia el agujero negro. Al interactuar con el gas circundante se desintegrarían de modo similar a las estrellas fugaces en nuestra atmósfera, produciendo picos de luminosidad. Otra explicación atribuye las fulguraciones a procesos relacionados con el campo magnético, semejantes a los fenómenos explosivos que tienen lugar en el Sol y que se deben



Concepción artística de la nube de gas hallada en las proximidades de Sagitario A\* que puede que produzca una nueva fase de actividad.

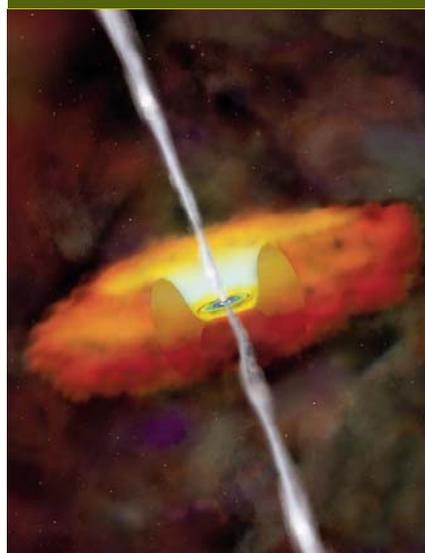
Fuente: ESO/MPE/Marc Schartmann

a la liberación de energía acumulada por líneas de campo magnético que han sufrido una fuerte torsión. No obstante, esta variabilidad de SgrA\* no debería sorprendernos y probablemente no haga falta recurrir a ideas muy exóticas para explicarla: “algunos trabajos consideran que las fulguraciones son algo especial, pero es posible que solo sean el pico visible de una variabilidad permanente en Sagitario A\*. Cualquier flujo de acrecimiento en el universo tiene inestabilidades que hacen variar la emisión, se trata de un fenómeno corriente”, asegura Rainer Schödel (IAA-CSIC).

Sin embargo, sí que se han registrado

eventos especialmente llamativos. En 2005, el satélite Integral (ESA) descubrió que hace trescientos cincuenta años SgrA\* experimentó una etapa de actividad que debió durar una década y que aumentó su emisión casi un millón de veces, inundando de energía en rayos gamma el espacio circundante. Esa radiación prosiguió su viaje hasta, trescientos cincuenta años después, alcanzar a Sgr B2, una nube de hidrógeno que actuó como un espejo natural y comenzó a brillar en rayos gamma y rayos X, desvelando la actividad pasada de Sagitario A\*. Algo similar fue detectado en 2007 por el satélite de rayos X Chandra (NASA), pero acaecido hace unos sesenta años y con menor intensidad -la emisión aumentó unas cien mil veces-. Estos hallazgos podrían interpretarse, siguiendo una de las líneas anteriores, como picos particularmente intensos en la actividad natural de SgrA\*, un escenario que, además, parece encajar bien con la variabilidad en escalas de diez a cien años ya planteada. Sin embargo, el caso desvelado por Integral genera más dudas dada su intensidad y se ha propuesto que, quizá, una nube de gas frío produjera este fenómeno. De hecho, puede que en los próximos años tenga lugar un fenómeno parecido: a principios de este año se anunciaba el hallazgo de una nube de gas -del tamaño del Sistema Solar y con una masa equivalente a tres veces la de la Tierra- en las cercanías de Sagitario A\*. Con una velocidad de dos mil quinientos kilómetros por segundo, ya presenta signos de estar siendo deformada por la fuerza gravitatoria del agujero negro y se espera que

Este esquema muestra los rasgos típicos de las galaxias activas. A diferencia de estas, Sagitario A\* carece de disco de acrecimiento, de un toroide de gas y polvo y de jets (hay quien argumenta que tiene un jet intermitente).



*“En definitiva, SgrA\* no es un núcleo activo”*

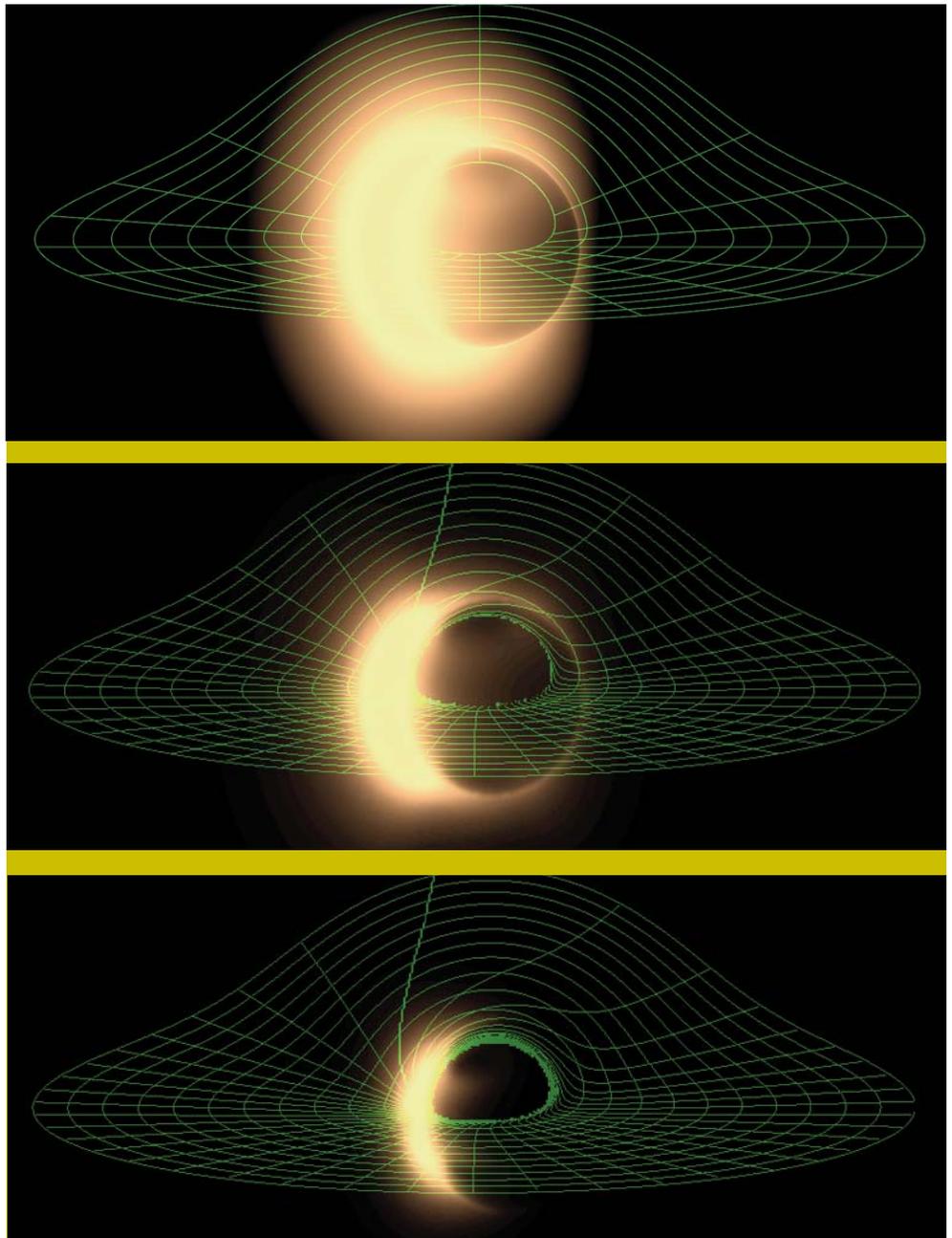
en 2013 se acerque a tan solo treinta y seis horas luz de Sagitario A\*. Los astrónomos creen que la nube irá desgarrándose en filamentos y cayendo hacia el agujero negro, lo que generará un nuevo periodo de actividad y aportará información de primera mano sobre su funcionamiento.

### Lo que queda pendiente

Quizá uno de los aspectos más atractivos de Sagitario A\* reside, precisamente, en lo mucho que nos queda por conocer. Superada la primera decepción al descubrir el carácter "inofensivo" de nuestro aletargado agujero negro masivo, resulta fascinante comprobar a qué velocidad avanza la investigación sobre él o el poco tiempo que falta para que desvelemos aspectos cruciales.

Por ejemplo, desconocemos cómo rota SgrA\*, lo que constituye una de sus características principales junto con su masa y localización exacta y que proporcionaría información sobre su historia y sobre la de la Vía Láctea. En 2011 se presentó un trabajo que combinaba modelos teóricos con observaciones de distintos agujeros negros supermasivos y que, a raíz del estudio de sus jets, planteaba que aquellos que han crecido alimentándose de la materia existente a su alrededor apenas mostrarán rotación, en tanto que los que crecen mediante la fusión con otros agujeros negros supermasivos rotarán rápidamente. Y esto se relaciona con una peculiaridad de Sagitario A\*: "Es un agujero negro relativamente pequeño para encontrarse en una galaxia tan grande como la Vía Láctea. Sin embargo, La Vía Láctea tampoco es una galaxia del todo normal para su tamaño, porque casi no tiene bulbo. Esto significa que no ha sufrido fusiones importantes con otras galaxias, que es como se forman los bulbos y, en paralelo, crecen los agujeros negros supermasivos", aclara Rainer Schödel (IAA). De modo que determinar cómo rota SgrA\* se presenta como el siguiente desafío para conocer su historia, y los astrónomos confían en averiguarlo en pocos años mediante un instrumento, GRAVITY, que se instalará en el *Very Large Telescope* (ESO) y que permitirá seguir las órbitas de estrellas muy próximas a SgrA\* -a tan solo veinte veces la distancia que separa la Tierra del Sol-.

Otra cuestión pendiente, y que se espera aclarar también en los próximos años, es la estructura de Sagitario A\*. Gracias a la interferometría en radio, que combina las imágenes de varios radiotelescopios y



Modelos de lo que se espera observar cuando dispongamos de la capacidad observacional para fotografiar a SgrA\* (todas ellas tienen un ángulo de inclinación de diez grados). La imagen superior corresponde al agujero negro sin rotación, la central a una rotación moderada y la inferior a una rotación rápida. Fuente: *Canadian Institute for Theoretical Astrophysics*.

alcanza una resolución similar a la de una antena con un diámetro equivalente a la distancia que los separa, sabemos que SgrA\* mide unos cincuenta millones de kilómetros (¡cuatro millones de masas solares en un tercio de la distancia Tierra-Sol!) y que, si el flujo de acreción dibuja un círculo en torno al agujero negro, posiblemente lo estamos viendo "de canto" o de forma oblicua, pero no de frente. El equipo que realizó este estudio está intentando aumentar la red de radiotelescopios disponible para, según sus palabras, alcanzar una resolución capaz de distinguir desde Washington los

detalles de una moneda sostenida por alguien en Los Ángeles, y ser capaces de sacar una foto de SgrA\*. Obviamente, la definición de estos objetos, que no emiten ni reflejan luz, impide tomar imágenes del agujero en sí, pero no de lo que se conoce como horizonte de sucesos, o región a partir de la que su fuerza de gravedad no es suficiente para absorber la luz. Y eso nos desvelará la silueta de SgrA\*, algo nunca obtenido y que, incluso, parecía imposible hace apenas cinco años. La pregunta es obvia, dada la velocidad a la que avanza este campo: ¿qué nos depararán los cinco años próximos?

# Una mirada no tan limitada al universo

EN ASTROFÍSICA SE HA LLEGADO A UN NIVEL DE REFINAMIENTO TAL EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS QUE EL OJO HUMANO TIENE UN PAPEL MUY SIMILAR AL QUE OCUPA EN OTRAS RAMAS DE LA CIENCIA QUE NO SON CONSIDERADAS “VISUALES”

Por Enrique Pérez Montero  
Científico titular CSIC en el IAA y afiliado a la ONCE

LA VIDA COTIDIANA DE LAS PERSONAS QUE CONTAMOS CON UNA DISCAPACIDAD DE CUALQUIER TIPO SE SITÚA SIEMPRE EN UNA ENCRUCIJADA. Por decirlo de alguna manera, somos partícipes de nuestra condición de personas que perciben o se mueven por el mundo de una manera especial, pero sin renunciar al conjunto de las otras características que nos definen como seres humanos. En muchas ocasiones, además, esa manera especial de relacionarnos con nuestro entorno nos da un valor añadido ya que eso nos hace tener una perspectiva diferente y suscita ideas o emociones de gran valor para nosotros mismos y para los que nos rodean. De esa manera, por ejemplo, un parapléjico que sea arquitecto o abogado, una sordomuda que sea profesora de escuela o una persona con discapacidad intelectual que trabaje en una residencia de ancianos aportan experiencias y puntos de vista valiosísimos para las personas que los rodean y, por extensión, para el resto de la sociedad. En otras ocasiones, esa situación se da en contextos tan aparentemente contradictorios como el mío, que soy astrofísico y padezco una discapacidad visual muy severa. Soy, digámoslo así, un astrónomo que no puede ver las estrellas y, aún así, puedo realizar mi trabajo de manera satisfactoria y aportar un punto de vista a los grupos de investigación en los que tra-

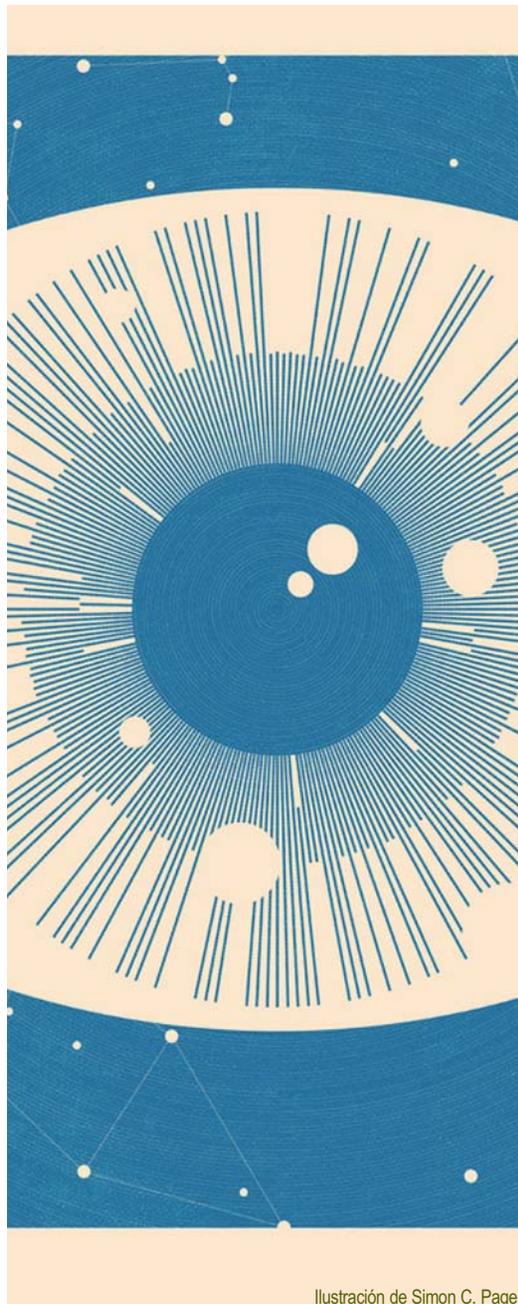


Ilustración de Simon C. Page

bajo que muy difícilmente se puede encontrar de otra manera.

## El método científico

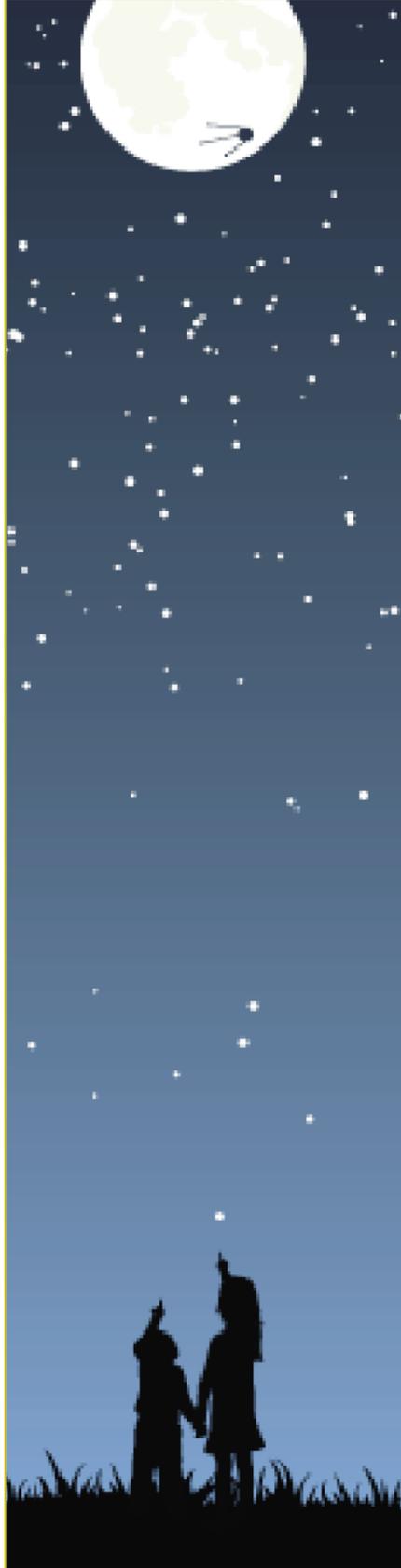
Pero, ¿cómo es esto posible? Se suele tener un concepto de la astronomía como una materia que requiere de manera especial de nuestra percepción visual, así que, ¿es realmente una opción válida para alguien con problemas de visión? En primer lugar habría que saber qué tipo de cosas estudia en realidad un astrónomo y, en un ámbito más concreto, un astrofísico. La astronomía es ante todo una rama de la ciencia con todo lo que ello conlleva. La implantación del método científico y la adopción del racionalismo como sistema filosófico durante el siglo XVI cambiaron el mundo y la manera de relacionarse con él de una forma que aún hoy en pleno siglo XXI no somos capaces de comprender del todo. Entre los pasos del método científico, tal como los definió sir Francis Bacon, destaca en primer lugar la observación del mundo y de los fenómenos que en él se producen, seguido de una cierta reflexión acerca de esas observaciones y de la elaboración de una teoría o conjunto de teorías que sean capaces de explicar las observaciones en su conjunto y de una manera satisfactoria. En muchas de las ramas de la ciencia, el siguiente paso suele ser el diseño de un experimento que nos permita confirmar o refutar la teoría que hemos elaborado. Sin

embargo, en astronomía esa posibilidad está vetada casi por completo. Dado que el objeto de observación de la astronomía es el universo más allá de los límites de nuestro planeta, salvo en el contadísimos caso de algunas sondas espaciales que han podido llegar a los confines de nuestro Sistema Solar, la inmensa mayoría del universo puede ser “mirada, pero no tocada” por los científicos. Por otro lado, la relación sensorial entre el ser humano y lo que hay más allá de la atmósfera de nuestro planeta se constriñe casi exclusivamente al sentido de la vista, exceptuando el calor que podemos sentir desde el Sol cuando sus rayos no se ven bloqueados en su camino por las nubes. Entonces, ¿qué sentido tiene que una persona que no puede percibir el universo y tampoco puede experimentar con él se dedique a la investigación del mismo? Una pista bastante clara para una posible respuesta a esta pregunta ya ha podido ser señalada más arriba. En realidad, la observación es solo uno de los pasos del método científico. No nos engañemos, es fundamental. Sin la observación del mundo la ciencia no tendría sentido. Salvo en muy contadas ocasiones, como cuando cierto físico teórico alemán, llamado Albert Einstein, fue capaz a principios del siglo XX de revolucionar nuestra manera de comprender el universo sentado en su mesa de una oficina de patentes solo con lápiz y papel, la mayor parte de los sistemas teóricos que podemos idear para comprender el universo están abocados al fracaso si no son confirmados por la observación directa de la realidad. No obstante, el aporte de los teóricos a la ciencia es igual de imprescindible, ya que su contribución es la que conduce a la correcta interpretación de los hechos y al diseño de nuevos experimentos (observaciones en el caso de la astronomía) que lleven a confirmar esas teorías.

### El ojo humano en la astronomía

Aún así, mi caso sigue siendo inesperado, ya que en realidad yo soy un astrofísico observacional y, aunque también hago uso de la teoría y de la modelización de las observaciones para contrastarlas con distintas hipótesis, gran parte de mi quehacer diario está relacionado con la adquisición, tratamiento y análisis de datos observacionales, así que volvemos a la cuestión inicial, ¿cómo es esto posible en una persona que tiene alterada su capacidad de relacionarse visualmente con su entorno?

*Salvo en el caso de algunas sondas espaciales que han podido llegar a los confines de nuestro Sistema Solar, la inmensa mayoría del universo puede ser “mirada, pero no tocada” por los científicos*



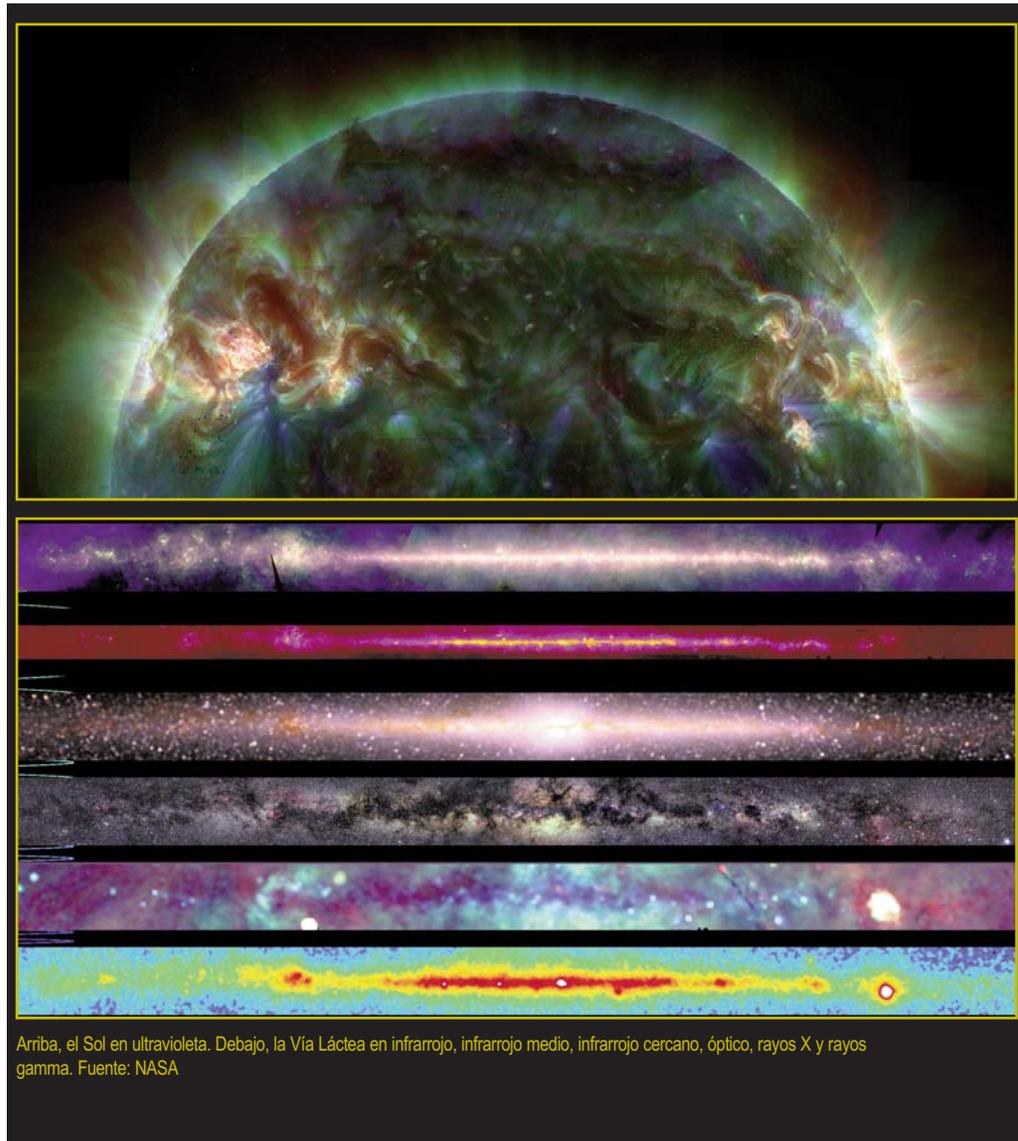
En realidad, el verdadero problema es que todos, sanos o no, somos prácticamente “ciegos” de nacimiento para la inmensa mayoría de fenómenos que se producen en nuestro universo y eso también incluye aquellos fenómenos que se producen en nuestro planeta. La percepción visual de nuestro entorno es producto de la adaptación física, fruto de muchos millones de años de evolución, en aras de la supervivencia de nuestra especie y de sus predecesores y, en consecuencia, la mayor parte de los fenómenos físicos se escapan por completo de nuestra capacidad perceptiva incluso en las más óptimas condiciones. Desde el punto de vista de la astronomía, la observación de la bóveda celeste a simple vista produjo durante miles de años más cuestiones que respuestas y no arrojó mucha más luz, valga la redundancia, que la constatación del movimiento de los cuerpos celestes más brillantes, de los ciclos principales diarios, mensuales y anuales y algunos otros fenómenos más allá de la regularidad, tales como eclipses, estrellas fugaces, auroras, pasos de cometas e incluso la explosión de alguna supernova. De todas formas, llegados a este punto, sería injusto por mi parte si no reconociera que fue un trabajo observacional exhaustivo “a simple vista” de los movimientos relativos de los planetas lo que llevó a Nicolás Copérnico a enunciar el modelo heliocéntrico en el siglo XVI, desbancando a la Tierra del centro del universo. En todo caso, la revolución definitiva en la adquisición de datos se produjo con el uso de “ayudas ópticas”. A partir del siglo XVII, Galileo Galilei comenzó a usar un telescopio basado en lentes de aumento, también llamado refractor, y observó fenómenos astronómicos nunca antes vistos por el ser humano, incluyendo la superficie de la Luna, el movimiento de los satélites de Júpiter o la observación de las manchas solares. Por cierto, la observación de nuestro astro rey sin la ayuda de filtros apropiados le produjo a Galileo una ceguera casi total al final de sus días. Durante los dos siglos siguientes el perfeccionamiento de los telescopios basados en espejos (que evitaban las aberraciones ópticas) y su agrandamiento impulsó la observación y catalogación de todo tipo de estrellas y nebulosas nunca antes observadas e incluso el descubrimiento de nuevos planetas en nuestro Sistema Solar, como es el caso de Urano por William Herschel en 1781.

**Fotografía y espectroscopía**

Sin embargo, la astrofísica, entendida como la parte de la física que se encarga de la comprensión de los fenómenos físicos que gobiernan los astros, se desarrolla cuando precisamente se deja de utilizar el ojo humano como la herramienta necesaria para la recolección de datos observacionales, gracias a la adopción de dos nuevas y revolucionarias técnicas de observación que se desarrollaron durante el siglo XIX. En primer lugar la fotografía, que se aplicó al colocar películas fotosensibles en el extremo de un telescopio, permitiendo aumentar los tiempos de exposición y, por tanto, detectar objetos mucho más débiles y extensos. Además, la adopción de sistemas de filtros llevó a la medición de la luz procedente de todo tipo de astros en distintas bandas de colores y su análisis comparativo mejoró sustancialmente y mucho más allá de ver qué objetos eran más brillantes. La segunda técnica es la espectroscopía, o la descomposición de la luz en sus distintos colores, circunstancia que se produce al pasar esta por un prisma o por una rejilla. La combinación de estos tres elementos -telescopio, prisma y cámara fotográfica- es lo que abrió las puertas a la comprensión de la naturaleza de las estrellas, al conocimiento de que estas se organizan por miles de millones en unas estructuras llamadas galaxias y al descubrimiento, ya a principios del siglo XX, de que las galaxias se alejan unas de otras, hecho probablemente debido a que tienen su origen común en un único punto.

**Las longitudes de onda “invisibles”**

Durante el siglo XX la astronomía se apodera de dominios de la radiación luminosa que son del todo imperceptibles para el ojo humano, como es el caso de aquellas frecuencias menores que las de la luz visible, como el infrarrojo, las microondas o las ondas de radio y también de las frecuencias mayores, como el ultravioleta, los rayos X o los rayos gamma. Durante todo el siglo pasado se han observado y catalogado todo tipo de fenómenos en todas estas frecuencias. Para ello, en la última parte del siglo, incluso se han lanzado a la órbita terrestre telescopios montados en satélites que permiten ver el universo en aquellas bandas que son filtradas por la atmósfera de nuestro planeta y que, por tanto, son del todo invisibles para los observatorios construidos en la superficie. En los últimos años se ha



Arriba, el Sol en ultravioleta. Debajo, la Vía Láctea en infrarrojo, infrarrojo medio, infrarrojo cercano, óptico, rayos X y rayos gamma. Fuente: NASA



podido además sustituir las placas fotográficas por instrumentos de medida digitales que podían ser conectados a un ordenador para poder analizar de manera más precisa las observaciones. Así pues, el ojo humano queda en todo este proceso en el mismo sitio que en muchos otros trabajos tanto científicos como no científicos: detrás de la pantalla de un ordenador. Por supuesto, esto le quita algo de encanto a la visión romántica de los astrónomos que pasan

las noches a la intemperie con los ojos pegados a los oculares de sus telescopios, si bien es cierto que esta imagen aún sobrevive en el caso de los astrónomos aficionados. En el caso de los astrónomos profesionales, la toma de datos se limita a la elaboración de propuestas de tiempo para los grandes telescopios y en noches de vela en salas de control llenas de ordenadores. De esta manera, tanto la astronomía como la astrofísica, hoy en día, han llegado a un nivel de refinamiento tal en los procesos de adquisición de datos que relegan al ojo humano a un papel muy similar al que tiene en otras ramas de la ciencia que no son consideradas “visuales”. En este entorno de trabajo una persona con una discapacidad visual tiene los mismos obstáculos que puede tener en otro trabajo con el mismo grado de sofisticación. Estos obstáculos no son en muchos casos pequeños y su superación requiere de un mucho de valentía y de paciencia pero, a mi parecer, no más que en otros oficios.

(NASA, ESA, M. Postman (STScI), and the CLASH Team)

# CLASH: Una mirada con el Hubble al lado oscuro del universo

EN MAYO DE 2009 SE LLEVÓ A CABO LA ÚLTIMA MISIÓN DE LA NASA PARA REPARAR y poner al día la instrumentación de Telescopio Espacial Hubble. A pesar de contar con herramientas que parecían un sueño hace veinte años, cuando el telescopio comenzó a funcionar, la comunidad astronómica era consciente de que, tras el retiro del transbordador espacial, los días del Hubble estaban contados; antes o después, alguna avería imposible de reparar telemáticamente o de superar usando las redundancias del sistema supondrá el fin del uso del telescopio para los astrónomos.

Por ese motivo, en agosto de 2009 la NASA y la ESA pidieron a los astrónomos que enviaran propuestas de observación para el Hubble que permitieran aprovechar al máximo el potencial científico del telescopio, con un énfasis especial en grandes proyectos de tipo "legado", que no solo representaran un avance claro en alguna de las cuestiones científicas más importantes, sino que además proporcio-

**LA COSMOLOGÍA SE ENCUENTRA ANTE DOS PROBLEMAS FASCINANTES: LA MATERIA Y LA ENERGÍA OSCURAS. EL PROYECTO CLASH BUSCA APORTAR LUZ SOBRE AMBAS CUESTIONES CON EL EMPLEO DEL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE**

Por Txitxo Benítez (IAA-CSIC)

naran grandes conjuntos de datos que siguieran siendo útiles, por su versatilidad, para la mayor cantidad posible de áreas astronómicas incluso décadas después de ser obtenidos.

Se ofertaron dos mil doscientas órbitas (cinco meses) del tiempo del Hubble para este propósito. Los astrónomos se organizaron en grandes equipos científicos y enviaron treinta y nueve propuestas, de las cuales solo tres acabaron siendo seleccionadas: CLASH, liderada por Marc Postman y Adam Riess, con una presencia significativa de miembros del IAA, fue una de ellas, con un 25% del tiempo disponible. Nuestras observaciones comenzaron en noviembre de 2010 y se extenderán hasta finales del 2013.

CLASH va a observar veinticinco cúmulos de galaxias, las estructuras ligadas gravitacionalmente más masivas del uni-

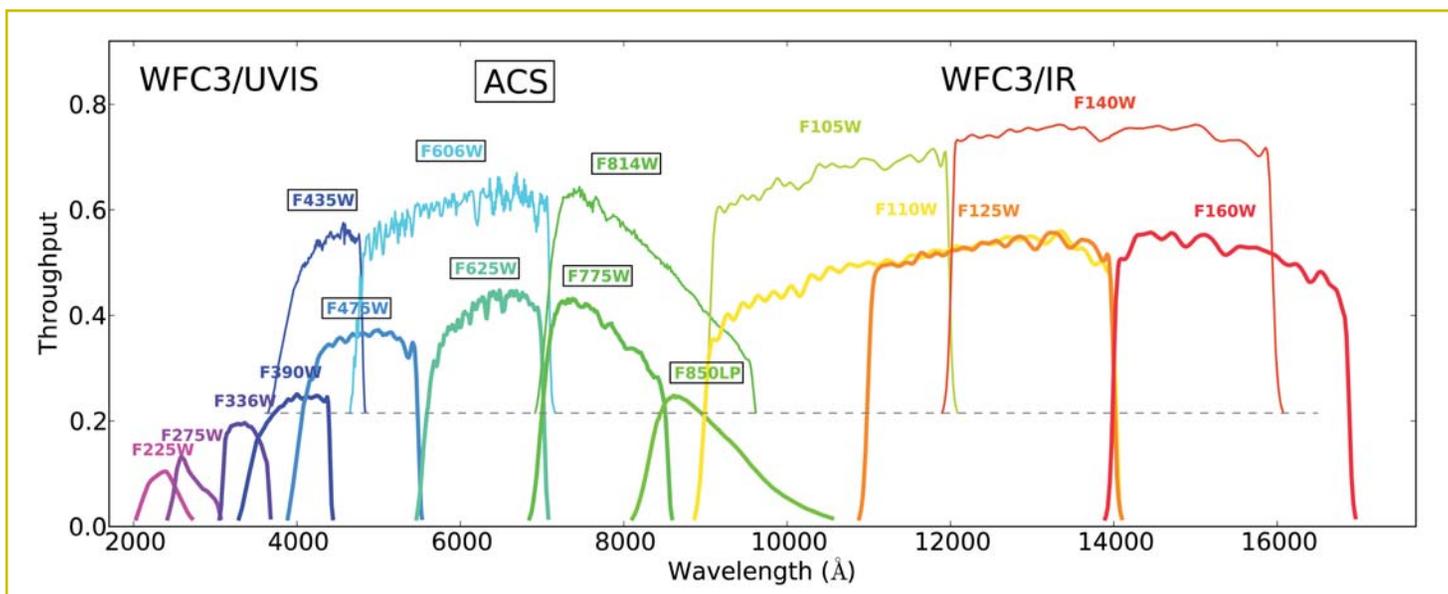
verso, usando dieciséis filtros diferentes - desde el ultravioleta (2200Å) hasta el infrarrojo-, aprovechando la ausencia de atmósfera y la sensibilidad de la nueva cámara del Hubble, WFC3, y del principal caballo de batalla del Hubble en los últimos años, la *Advanced Camera for Surveys*.

Los dos ejes principales de CLASH son el estudio de la materia y energía oscuras, sin duda alguna los dos problemas centrales de la cosmología actual. Vamos a detenernos un poco en comprender su importancia y relevancia.

## La materia y energía oscuras

El fenómeno que conocemos como materia oscura fue descubierto en escalas cosmológicas en 1933 por un astrónomo del Caltech. Fred Zwicky observó que las galaxias que forman parte de grandes





Sistema de filtros empleado por CLASH (Postman et al. 2012)

cúmulos se mueven a velocidades tan altas que dichas aglomeraciones no podrían existir sin la presencia de cantidades enormes de materia oscura (equivalente a cuatrocientas veces la masa presente en forma de estrellas) cuya atracción mantuviera la cohesión gravitatoria del conjunto y evitara que las galaxias se dispersaran.

En 1975, Vera Rubin, que trabajaba en la *Carnegie Institution* de Washington, descubrió un fenómeno similar observando las curvas de rotación de galaxias espirales: estas giraban a una velocidad mucho mayor de la esperada a partir de la cantidad de material estelar y gas que se observaba en la galaxia. Estos resultados fueron confirmados por otros investigadores y, a principios de los 80, se propuso una solución *ad hoc*, pero razonablemente satisfactoria: la materia oscura fría, una clase hipotética de partícula (u objeto astronómico) mucho más abundante que la materia bariónica ordinaria (de la que estamos hechos nosotros y las cosas que vemos a nuestro alrededor), indetectable a través de su emisión o absorción, pero que podíamos intuir e incluso medir por la atracción ejercida sobre las estrellas y el gas que observamos. Sin embargo, la acumulación de datos astronómicos durante las últimas décadas ha revelado serios problemas en esta teoría, que sigue sin embargo siendo la más aceptada por la comunidad científica a falta de mejores alternativas.

La energía oscura también tiene una larga historia. El concepto apareció por primera vez en forma de la constante cosmológica que Einstein propuso para que sus ecuaciones produjeran un modelo estático del universo. Aclarado lo innecesario de este artificio matemático por el meteorólogo

soviético Fridman (lo que Einstein llamó su mayor error científico) y por la expansión del universo descubierta por Hubble, este problema pasó a un segundo plano hasta que a finales de los años 90 dos grupos liderados respectivamente por Saul Perlmutter y Brian Schmidt (después por Adam Riess) encontraron que el universo no solo se expandía, sino que esa expansión se estaba acelerando.

Es difícil sobrestimar la importancia para la física de este descubrimiento que, como es bien sabido, fue galardonado con el premio Nobel de 2011 (ver número 36, pág. 10). Cuando escribimos las ecuaciones de Einstein para la expansión del universo e introducimos una expansión con aceleración positiva nos encontramos ante tres alternativas, cualquiera de las cuales lleva implícita una revolución para la física actual.

La primera, y más simple, es la presencia de una constante cosmológica como la introducida por Einstein. Sin embargo, los cálculos teóricos, basados en la energía cuántica del vacío, predicen un valor para dicha constante ciento veinte órdenes de magnitud inferior al observado. Parece muy difícil explicar este problema dentro del marco del modelo físico estándar sin recurrir a soluciones alambicadas como el principio antrópico y los multiversos. La segunda opción reside en que exista un nuevo tipo de campo físico o partícula desconocidos hasta la fecha -ya se han propuesto multitud de opciones- que explique las observaciones. Un descubrimiento así abriría horizontes nuevos al desarrollo de la física fundamental. La tercera opción, la menos probable pero al

mismo tiempo la más interesante desde el punto de vista científico, es que las ecuaciones de Einstein que describen la expansión del universo... sean incorrectas.

En esto punto es donde la energía oscura conecta con el enigma de la materia oscura. Puede que nos encontremos ante dos fenómenos diferentes, independientes entre sí, pero es cuanto menos curioso que en ambos casos se trate de pruebas observacionales de la relatividad general de Einstein, en escalas y aceleraciones que están muy fuera del rango en el que se ha verificado la validez de esta teoría (por ejemplo en el Sistema Solar o en el entorno de púlsares), y que en ambos casos se necesite introducir una entidad *ad hoc* para que dicha teoría corresponda con los resultados de las observaciones. La historia de la ciencia ofrece casos como los del flogisto o el éter que nos hacen levantar un ceja y ser escépticos; pero también otros como el descubrimiento de Neptuno por Adams y Leverrier en el que la aplicación rigurosa de una teoría física llevó a nuevos logros científicos.

### El papel de CLASH

Como hemos visto, la cosmología se encuentra ante dos problemas científicos fascinantes, con enorme potencial para producir nuevos descubrimientos. ¿Cómo puede avanzar CLASH nuestra comprensión de ambas cuestiones?

La primera herramienta es el estudio, con un detalle espacial sin precedentes, de la distribución de materia oscura en los cúmulos masivos de galaxias. Una de las formas en las que se puede detectar la pre-

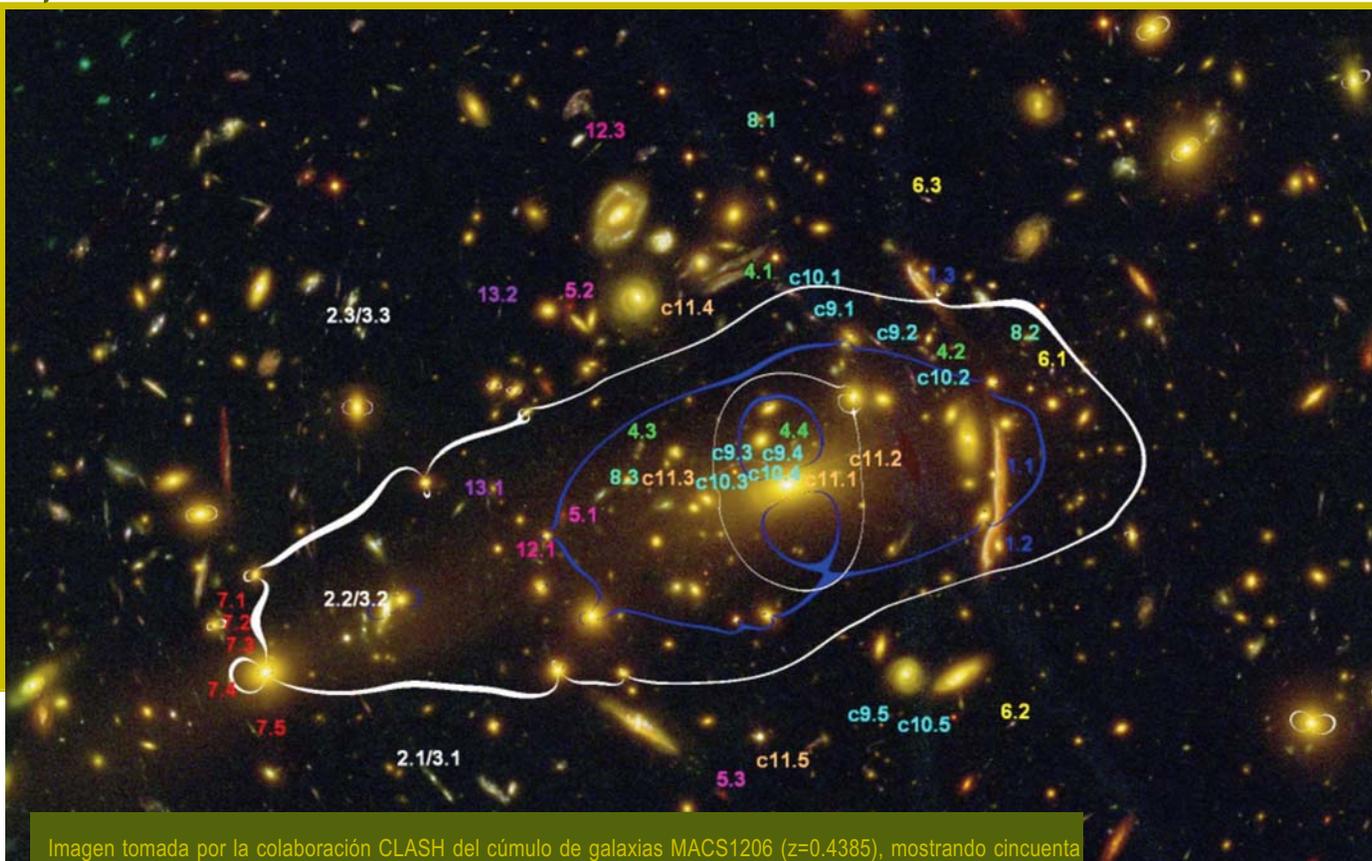


Imagen tomada por la colaboración CLASH del cúmulo de galaxias MACS1206 ( $z=0.4385$ ), mostrando cincuenta imágenes correspondientes a doce galaxias distintas (Zitrin et al. 2012).

sencia de materia oscura es a través del efecto de lente gravitatoria. La presencia de masa deforma el espacio y cambia la trayectoria de los rayos de luz que provienen de objetos lejanos, amplificando su brillo y haciendo que adopten formas características, como arcos, anillos o incluso multiplicando sus representaciones de forma que vemos la misma galaxia en varios puntos diferentes del cielo; el análisis de las posiciones de estas imágenes múltiples nos permite reconstruir la distribución de masa de la lente que las produce (imagen superior). Restando de la masa total la masa visible contenida por galaxias y gas emisor de rayos X podemos calcular la cantidad total y distribución de la materia oscura. El factor más importante para poder llevar a cabo esta medición de manera precisa reside en conseguir observaciones muy sensibles y con un amplio rango de colores, para poder detectar un número suficiente de galaxias lejanas y además estimar su *redshift*, o corrimiento al rojo, utilizando un método conocido como *redshifts* fotométricos. CLASH lleva este procedimiento hasta nuevos niveles, observando los cúmulos de galaxias con dieciséis filtros diferentes. Esto nos va a permitir medir, con un nivel de detalle muy alto, el perfil de masa de cada uno de los veinticinco cúmulos; la combinación de todos ellos permitirá

---

*CLASH se encuentra en el ecuador de su programa de observaciones, y entra en la fase más interesante [...] se acumulan suficientes datos como para empezar a obtener resultados fundamentales*

---

determinar la distribución típica de masa con una precisión sin precedentes. La muestra de CLASH forma una base de datos fundamental para el uso de los cúmulos como una herramienta cosmológica, proporcionando una “calibración” de su masa en función de otras propiedades observables de manera más sencilla como sus propiedades ópticas, algo esencial para poder explotar los catálogos de cúmulos que serán desarrollados por los futuros grandes cartografiados como JPAS, PanStarrs y otros.

El segundo método que CLASH explota es la búsqueda de supernovas de Tipo Ia. Como es bien sabido, estos objetos son una especie de candelas estándar, cuyas curvas de brillo permiten estimar con relativa exactitud el valor de su luminosidad intrínseca. Comparando esta cantidad con el brillo observado de la supernova, es posible derivar su distancia, lo que nos

permite trazar la evolución de la geometría en función del tiempo. Esta es, de hecho, la técnica por la que se concedió el premio Nobel a Perlmutter, Riess y Schmidt. CLASH está aprovechando las observaciones que llevan a cabo los instrumentos del Hubble que no están enfocados en los cúmulos, lo que se conoce como observaciones paralelas, para detectar nuevas supernovas. Después lleva a cabo observaciones adicionales de estos campos (hasta cincuenta órbitas) para poder determinar su curva de brillo. La utilización de la nueva cámara del HST, la WFC3, con su alta sensibilidad en el infrarrojo, permite detectar supernovas hasta un *redshift* de 2,5.

Entre los resultados más importantes de CLASH hasta la fecha se encuentra el descubrimiento de varios objetos a muy alto *redshift*, magnificados por el cúmulo de galaxias. Es en particular interesante un candidato a una galaxia a  $z=9,6$  cuyo *redshift* ha sido estimado con gran precisión y fiabilidad usando nuestros dieciséis filtros.

CLASH se encuentra ahora en el ecuador de su programa de observaciones, y entra en la fase más interesante, ya que la mayor parte del desarrollo de algoritmos y técnicas se ha llevado a cabo y se acumulan suficientes datos como para empezar a obtener resultados fundamentales.

Una breve, muy breve...

# ... historia de los autómatas

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

En 1922 se estrenó en Nueva York una extraordinaria obra de teatro del dramaturgo checo Karel Capek, *R.U.R.*, una oscura y opresiva distopía donde una especie de seres humanos eran ensamblados por piezas en una enorme cadena de montaje, con la misión de desempeñar las labores más ingratas de la sociedad. Dichos personajes eran bautizados con el nombre de ROBOTS -que en checo viene a significar "trabajo duro"- y, desde un punto de vista histórico, es probablemente la primera aparición de un concepto que daría nombre a una rama de la ingeniería: la robótica.

Pero si hablamos de autómatas, la cosa viene de más antiguo, de la Grecia clásica; de hecho, la palabra autómata procede del griego *automatos*, que significa "espontáneo o con movimiento propio". Los primeros autómatas de los que se tiene registro los construyó, en algún momento entre los años 10 al 70, Herón de Alejandría, quien además escribió lo que podría considerarse el primer libro de robótica, *Los Autómatas*, donde describía sus mecanismos -la mayoría diseñados para el entretenimiento-, como aves que gorjeaban o estatuas que servían vino. La moda se extendió e incluso el gran Leonardo da Vinci diseñó al menos dos autómatas. Uno de ellos se considera el primero con forma humana y consistía en un caballero vestido con armadura medieval capaz de saludar en las recepciones reales. Leonardo lo diseñó en 1495, aunque no hay constancia de que lo construyera -algo que sí se ha hecho recientemente siguiendo paso a paso sus esquemas-.

## Diseños refinados (y engaños)

Es ya en el siglo XVII cuando se extendió por toda Europa la obsesión por intentar reproducir lo más fielmente posible la anatomía de los seres vivos. Por ejemplo, Jaques de Vaucanson inventó un pato mecánico cuyo sistema digestivo era capaz de imitar de manera exacta el de un pato verdadero -¡incluso convertía el grano en excremento!-, aunque luego se descubrió que todo era un truco mecánico...

En el siglo XVIII apareció el más increíble creador de autómatas de la historia, Pierre Jaquet-Droz, quien construyó tres autómatas que aún hoy despiertan la fascinación más absoluta: *La pianista*, una autómata de dos mil quinientas piezas capaz de interpretar de manera real una

partitura al órgano con sus propios dedos; *El dibujante*, de dos mil piezas, un niño capaz de realizar hasta cuatro dibujos diferentes desde el esbozo en lápiz hasta los retoques finales; o el más inaudito de todos, *El escritor*, un autómata de seis mil piezas capaz de escribir a pluma diferentes textos en inglés y francés siguiendo con su mirada lo que escribe. Los tres autómatas se pueden contemplar en el Musée d'Art et d'Histoire de Neuchâtel en Suiza.



En Futurama existe incluso el infierno robot y su jefe, el diablo robot.

Y en este periplo por la historia de los autómatas no podemos olvidar al pueblo japonés, que ya entre los siglos XVIII y XIX construía mecanismos de una alta complejidad que se empleaban especialmente en pequeñas obras de teatro. Se les llamaba KARAKURI y reflejaban el amor y la fascinación que el pueblo japonés aún siente por los autómatas.

## La robótica despegue

Pero el gran despegue de la robótica como ingeniería se dio en el siglo XX, especialmente con la aparición de la electrónica. En la feria mundial de Nueva York de 1939 se presentó uno de los primeros robots humanoides: ¡¡ELEKTRO!! Varios pies de altura de puro aluminio, un vocabulario de setecientas palabras y con capacidad para ejecutar hasta veintiséis movimientos diferentes en respuesta a la voz humana. Eso sí, hoy en día lo hubieran reducido enseguida a chatarra, porque fumaba en sitios públicos.

A finales de los años cuarenta surgió un avance

fundamental para la robótica: se desarrollaron los primeros computadores, y George Devol diseñó el primer robot programable. A partir de este instante comenzó una espiral *in crescendo* en el desarrollo de sistemas robóticos cada vez más complejos, especialmente cuando en 1979 un cochecito llamado *Stanford Cart* cruzó exitosamente un salón lleno de sillas sin ayuda de un teleoperador. Fue uno de los primeros robots capaces de tomar decisiones a partir del análisis del entorno. Pero ya antes, en 1961, se había puesto en funcionamiento el primer robot industrial en una planta de ensamblaje de automóviles de General Motors, y en 1976 ya se utilizaban brazos robóticos en las sondas espaciales Viking 1 y 2.

En los ochenta los robots comenzaron a comercializarse en multitud de entornos industriales, tecnológicos y científicos. En 1996 la empresa japonesa Honda, tras décadas de secretismo, dejó atónitos a todos al presentar un extraordinariamente adelantado robot humanoide llamado P3 y, en el año 2000, volvió a lograr un hito único con ASIMO. ASIMO camina y corre, salva obstáculos, transporta peso, sube y baja escaleras, abre y cierra puertas, reconoce gestos humanos y los interpreta, diferencia la voz humana entre otros sonidos, puede transmitir mensajes personales, servir de guía, es capaz de sincronizarse con el movimiento de una persona y caminar a su mismo ritmo, saludar, jugar al fútbol, conducir la orquesta de Detroit y, lo más increíble... ¡puede conectarse a internet!

## La actualidad

Un censo realizado en 2011 sitúa en varias decenas de millones el número de robots activos a lo largo del planeta en plantas industriales, quirófanos o laboratorios, realizando tareas peligrosas o explorando entornos vedados para el ser humano. Se espera que la próxima generación sea fruto de la llamada robótica social, centrada en la construcción de autómatas capaces de interactuar de una manera cada vez más fina y precisa con el ser humano.

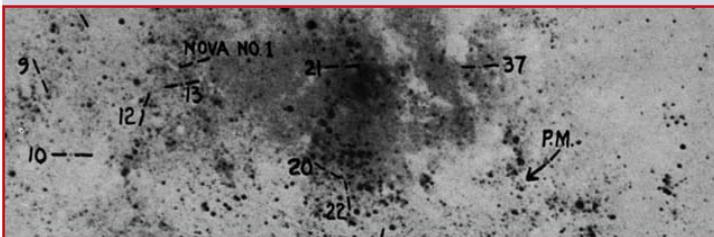
En cualquier caso, el gran reto de la robótica reside en que los robots del futuro sean capaces de desenvolverse y de aprender en entornos sociales cambiantes, pero lograr que un robot gestione toda la información que le rodea, tome sus propias decisiones -incluso en función de su estado de ánimo-, y actúe con naturalidad exigirá una fusión entre robótica, inteligencia artificial, neurociencia, psicología y ética.

# EL EXTRAÑO CASO DE Henrietta LEAVITT...

*Querido diario: Mi nombre es Henrietta Swan Leavitt y pertenezco al harén de Pickering.*

¡Oh! Por favor, no lo entiendan mal. El *Harén de Pickering*... así es como nos llaman al grupo de mujeres que trabajamos para Edward Charles Pickering. ¿Cuál es nuestro trabajo? Somos "computadoras". Sí, ya sé que no tengo aspecto de computadora, pero permítanme explicarles todo desde el principio...

A unas pocas manzanas de aquí se encuentra el Observatorio Astronómico de Harvard, del que el Señor Pickering es director. El observatorio se ha embarcado en el más ambicioso proyecto astronómico que uno pueda imaginar: catalogar la posición, el brillo y el color de todas las estrellas del cielo. Para ello cuenta con dos telescopios, uno aquí, en Harvard, para observar el hemisferio norte, y otro en Arequipa, en Perú, para fotografiar el cielo del hemisferio sur.



Cada día llegan cajas y cajas de placas fotográficas del cielo nocturno. Decenas de miles de estrellas que hay que analizar una por una. Una tarea tediosa e ingrata, pero necesaria para comprender cómo es nuestro universo. Y aquí es donde el Señor Pickering tuvo su genial idea: contratar mujeres.

Así que, día tras día, mis compañeras y yo -el harén de Pickering- pasamos siete horas diarias, seis días a la semana, analizando sistemáticamente placa por placa por un sueldo de 10,50 dólares a la semana. Por eso nos llaman "computadoras" o "calculadoras".



Pero que conste que no me quejo. Cobramos un sueldo, tenemos un mes de vacaciones, trabajamos en algo que no es limpiar o ser maestra, estamos lo más cerca de universidad de lo que cualquier mujer se atrevería a soñar, y además...hacemos una gran labor por la ciencia... **y haríamos mucho más...**



## ● ...y haríamos mucho más...

... ¡¡si este necio se diera cuenta de lo que tiene delante de sus narices!! Si este orangután fuera mínimamente consciente de que aquí, en Harvard, su harén está fraguando la que será la astrofísica de siglo XX. ¡Que si nos dejara libertad para explorar, desarrollar y publicar nuestras propias ideas científicas habríamos avanzado mucho más en nuestro conocimiento del universo! Pero no, para él, como para el resto... "el mejor servicio que podrían prestar las mujeres a la astronomía es la mera acumulación de hechos".



Por esto he decidido tener mi propio diario donde plasmar en libertad mis inquietudes científicas. Mi compañera Annie Jump Cannon, a la que le encanta todo esto de los ordenadores e internet, me ha dicho que hoy día cualquier diario hay que acompañarlo de un vídeo. Así que aquí estoy. ¡Ah! ¿que cuál ha sido mi contribución a la astronomía? Digamos que he descubierto una regla para medir el universo... pero de esto ya hablaremos. Se despide atentamente, Henrietta Swan Leavitt.



...Y

## Erasmus CEFEIDO

*"Estimado Erasmus Cefeido: sus consejos me han sido muy valiosos para recuperar a mi prometida..."*

No me miren así. Como comprenderán, con los 25 centavos a la hora que me paga el Observatorio de Harvard no llego a fin de mes. Necesito algún dinerillo extra. Así que, y esto es un secreto, tengo un consultorio en las páginas del *Washington Post*. Un consultorio científico, por supuesto... bueno... no, en realidad es un consultorio sentimental, pero yo sé llevarlo a mi terreno.

El editor me sugirió que escribiera con seudónimo de hombre... para darle más seriedad. Pero tengo que reconocerles que me encanta, aunque algunas consultas ponen a prueba mis conocimientos sobre el universo...

### ◆ *¿Cómo de grande es el universo?*

*"Estimado Erasmus Cefeido:*

*El pasado día, paseando con mi prometido le pregunté cuán grande era su amor por mí, a lo que él me contestó "mi amor es tan grande como el universo entero". Desde entonces un duda se ha instalado en mi corazón... ¿cómo de grande es el universo? ¿debo confiar en su amor? Suya atentísima, Duda en Expansión"*

Querida Duda en Expansión. Para la segunda pregunta no tengo respuesta, pero sí en cambio para la primera: el universo es...muy grande, y cada segundo que pasa lo es más porque está en una continua expansión.

[...] Así que, querida "duda en expansión", imagine una esfera de 46500 millones de años luz de radio alrededor de usted. Ese es el tamaño del amor que dice profesarle su prometido...

### ◆ *Las estrellas no me son favorables*

*"Querido Erasmus Cefeido:*

*Me dirijo a ti porque las estrellas no me son favorables. Amo a una joven capricornio pero yo, piscis cien por cien, sé que nuestro amor es imposible, que nuestros signos habitan en elementos distintos y estamos destinados a la distancia. Por favor, ¿cómo puedo contrarrestar la influencia de Marte sobre nuestro futuro?*

A ver, mozo, que estamos en Babia. Marte influye tanto sobre tu destino como yo misma. Además, ¿qué tipo de fuerza ejercen los astros sobre nosotros: gravitatoria, electromagnética, o cuál? Y te advierto que la magia no me sirve...



### ◆ *Mi novio dice que soy un sol...*

*"Querido Erasmus Cefeido:*

*Te escribo porque necesito consejo urgente. Mi novio, tras años de relación, no me pide en matrimonio, a pesar de que siempre es atento, cariñoso y se pasa todo el tiempo diciendo que soy un sol. ¿Tiene miedo al compromiso? ¿debo seguir esperando o debería desistir?*

Querida amiga,

Me temo que tu caso no es sencillo. Debes evaluar con especial cuidado en qué faceta del Sol está pensando tu novio cuando te atribuye sus cualidades. ¿Está acaso pensando en el Sol durante su máximo? [...] En ese caso, tu novio te hace un flaco favor con la metáfora, porque piensa que eres eruptiva e imprevisible, y quizá eso le impida dar un paso hacia la estabilidad en vuestra relación. No obstante, es posible que esté pensando en el Sol como la fuente de luz y calor que ha posibilitado la vida en la tierra, en cuyo caso sin duda tu novio te venera... Pero, ¡ay, amiga! También es posible que tu pretendiente piense en el Sol como una estrella enana de tipo G rica en elementos pesados...

[...] Te aconsejo, querida amiga, que en la siguiente ocasión que tu pretendiente te diga que eres un sol, le exijas que especifique a qué se refiere con ello.



## Vesta



Nació en Córdoba de la Nueva Andalucía, en Argentina, donde se licenció en Astronomía. Realizó el doctorado en Brasil y actualmente se encuentra con un contrato post doctoral Ramón y Cajal en el IAA.

**M**e considero un astrónomo con mucha suerte: no solo puedo estudiar mi objeto de interés, sino que también puedo ver las imágenes obtenidas por una nave que gira a su alrededor y hasta puedo tocar un trozo de ese asteroide llamado Vesta.

Cuando comencé mi doctorado en Río de Janeiro me propusieron estudiar una cierta clase de asteroides llamados basálticos, entre los que destaca Vesta con unos cuatrocientos kilómetros de diámetro. Estos asteroides tienen en su superficie piedras volcánicas, similares a las que podemos encontrar en Tenerife, en el volcán del Teide. Comparados con otros asteroides, son fáciles de identificar analizando la luz que nos llega de ellos (su espectro) y se puede determinar que hubo actividad volcánica, por lo menos en el mayor de ellos, Vesta.

A lo largo de su historia, Vesta ha sufrido multitud de colisiones que han generado abundantes cráteres y expulsado gran cantidad de material al espacio. Los fragmentos eyectados, algunos de entre diez y veinte kilómetros de diámetro, son los llamados vestoides, ya que forman un grupo de asteroides con un origen similar.

Vesta y los vestoides, que no es el nombre de un grupo de rock, fue el tema de mi tesis de doctorado, de mi post-doc en Alemania y uno de los temas de trabajo en la actualidad.

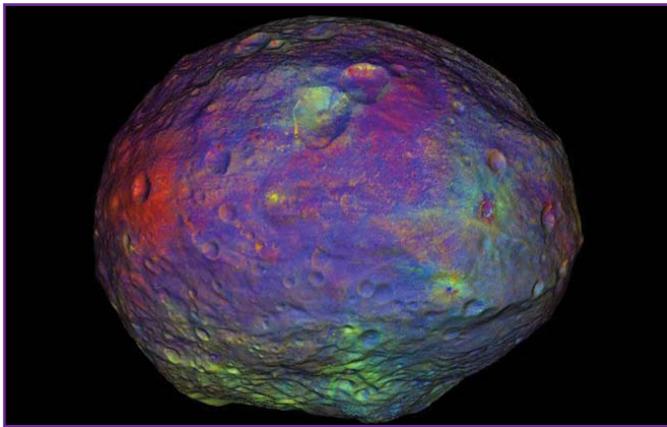
¿Y qué tiene de especial esta ballena/asteroide llamada Vesta? Al haber presentado actividad volcánica se trata de un cuerpo diferenciado, o sea que su estructura interna presenta un núcleo, un manto y una corteza, como la Tierra, Venus, Mercurio o Marte. Vesta en realidad es un protoplaneta, un objeto a medio camino entre un asteroide y un planeta terrestre. Dije antes que tenía mucha suerte porque podía estudiar mi Moby Dick desde el puerto, o usando las imágenes que obtuvo el barco que llegó hasta esa ballena o, incluso, puedo estudiar un fragmento de la ballena en un laboratorio aquí en la Tierra. Lo explico ahora: Vesta es un asteroide que se encuentra en el cinturón principal

de asteroides, entre Marte y Júpiter. Puedo usar los telescopios para investigarlo desde tierra y estudiar el espectro de su luz. Hasta hace dos años sabíamos que había sufrido muchos impactos e incluso habíamos estudiado algunos fragmentos y averiguado qué tipo de basalto (lava) había en su superficie. Se sabía que Vesta es diferenciado y que nos puede decir muchas cosas sobre la formación de los planetas en el Sistema Solar y en los

mos que puede tocar el objeto que estudia.

El caso de Vesta constituye un caso de criminología perfecto, donde se puede estudiar el evento catastrófico (el crimen), seguir la pista de los fragmentos hasta encontrar algunos y llevarlos al laboratorio.

Como el caso de este crimen es bastante interesante, se decidió enviar un barco como el Pequod para estudiar a Vesta, y de camino también a Ceres, otro asteroide o planeta enano interesante. La nave que en este momento se encuentra en órbita en torno a Vesta se llama DAWN y está enviando imágenes de altísima resolución junto con espectros para analizar la composición de la superficie con gran detalle (<http://dawn.jpl.nasa.gov>). Cuando la nave DAWN llegó a Vesta en agosto del 2011 se encontró con un pequeño mundo volcánico, lleno de



Combinación de imágenes en infrarrojo y visible donde los colores representan los distintos materiales existentes en la superficie de Vesta. NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/PSI

**“Vesta constituye un caso de criminología perfecta, donde podemos estudiar el evento, seguir la pista de los fragmentos y llevarlos al laboratorio”**

cráteres, prestándose mucha atención al gran cráter que produjo todos esos asteroides, los vestoides. Este cráter, que se encuentra en la región polar sur de Vesta, fue nombrado como la madre de Rómulo y Remo, Rhea Silvia (todos los cráteres y regiones de Vesta se nombraron a partir de nombres de vestales y mujeres famosas de la Roma antigua). El gran cráter de Rhea Silvia tiene un pico central de una altura de casi veinte kilómetros, mucho más alto que Mauna Kea en Hawai, que tiene diez kilómetros de altura medidos desde su base en el fondo del océano.

Poder ver, con un detalle de algunos metros, el cráter que dio origen a los asteroides que estás estudiando, o incluso que dio origen al trozo de roca que uno tiene en la mano en forma de meteorito, eso no tiene precio. Vesta tiene mucho que contarnos todavía y les invito a ver los fabulosos detalles de mi Moby Dick en la página web antes mencionada, ¡les va a sorprender!

# NGC 6778: formación y ruptura de una nebulosa planetaria

NGC 6778 muestra unos flujos de material a alta velocidad que han producido la ruptura del "cascarón" de la nebulosa y de su anillo ecuatorial, produciendo así la forma final de esta nebulosa



► Un estudio, realizado por los astrónomos Martín A. Guerrero y Luis F. Miranda del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha analizado en detalle la morfología y cinemática de la nebulosa planetaria NGC 6778 y ha concluido que su forma, con dos lóbulos y numerosas estructuras menores, ha podido verse significativamente alterada debido a un evento explosivo y a la formación de flujos de material a alta velocidad. El trabajo apareció destacado en la portada del número de marzo de la versión online de la revista *Astronomy & Astrophysics*.

Las nebulosas planetarias son el producto de la muerte de estrellas de masa baja e intermedia -inferior a diez masas solares- que, en sus últimas etapas, han ido perdido su envoltura. Cuando el núcleo queda finalmente expuesto, su energía ioniza el gas de la envoltura y esta comienza a brillar. "Se cree que la interacción del viento estelar tenue y veloz que emana del

núcleo con el viento emitido en la fase anterior, más denso y lento, determina la forma que finalmente presentará la nebulosa", comenta Luis F. Miranda. "Sin embargo, se han detectado estructuras en nebulosas planetarias, como flujos de material muy estrechos -colimados- y veloces, que obligaban a ampliar el escenario de vientos en interacción para comprender cómo adoptan su forma las nebulosas planetarias", matiza el astrónomo.

Ese es el caso de NGC 6778, una nebulosa planetaria cuya estrella central es en realidad un sistema formado por dos estrellas -una estrella binaria-, que giran en torno a un centro común a una distancia tan reducida que llegaron a compartir la misma envoltura. La

nebulosa muestra una forma de "S" dibujada por los flujos de material, cuyos extremos se hallan distantes de una región central donde se aprecia un anillo ecuatorial muy fragmentado y sendos lóbulos bipolares, también con indicios de ruptura.

Las observaciones aportadas en este último estudio muestran una visión más detallada de NGC 6778, revelando nuevas e interesantes estructuras, como una especie de jirones que emergen de la región ecuatorial o nebulosidades con un núcleo brillante y cola que recuerdan a los cometas. Estas estructuras y el estado fragmentario del anillo y los lóbulos constituyen una clara evidencia de la existencia de interacciones dinámicas muy fuertes

en la nebulosa planetaria, quizá originadas en una súbita eyección de masa tras un evento explosivo que produjo al mismo tiempo los flujos colimados de material.

"Mientras que el origen de los flujos colimados de alta velocidad hallados en muchas nebulosas planetarias es incierto, NGC 6778 representa un caso singular en el que estos flujos colimados sí pueden asociarse con la evolución en una fase de envoltura común de la estrella central binaria", señala Martín A. Guerrero. "Además, podemos decir que los distintos flujos de NGC 6778 han intervenido de forma crucial en la formación y evolución de esta nebulosa planetaria", concluye el astrónomo. S.L.L. (IAA)

## EN BREVE

### Telescopio BOOTES en China

► El pasado 20 de marzo se inauguró, en el Observatorio Astronómico de Lijiang (China), la cuarta estación astronómica robótica de la red BOOTES (acrónimo en inglés de Observatorio de estallidos y Sistema de exploración de fuentes esporádicas ópticas), un proyecto liderado por el investigador Alberto J. Castro-Tirado (IAA-CSIC) que cuenta ya con dos instalaciones en España y una en Nueva Zelanda y dispone hasta la fecha de tres telescopios de sesenta centímetros de diámetro para la observación del universo. Se esperan resultados científicos importantes en el campo de los estallidos cósmicos de rayos gamma (GRBs) y también en lo que respecta al seguimiento y monitoreado de fuentes de alta energía de manera simultánea con los satélites espaciales. <http://bootes.iaa.es/>



# Gaia-ESO: la revolución en nuestro conocimiento sobre la Vía Láctea y la evolución estelar



(ESO)

Gaia-ESO, uno de los mayores y más ambiciosos estudios realizados desde tierra, analizará unas 100.000 estrellas de la Galaxia

► Astrónomos del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) participan en Gaia-ESO, un proyecto que obtendrá datos espectroscópicos de alta calidad de unas 100.000 estrellas de la Vía Láctea y que supondrá un gigantesco avance en la comprensión de nuestra Galaxia. Se trata de uno de los mayores y más ambiciosos

estudios realizados desde tierra, en el que colaboran unos trescientos científicos de un total de noventa instituciones y que permitirá un análisis exhaustivo de la formación, evolución y características de las distintas poblaciones de estrellas que constituyen la Vía Láctea.

Un estudio como Gaia-ESO resulta necesario, entre otras cosas, para trazar en detalle la historia de nuestra Galaxia. El modelo cosmológico actual defiende una formación del universo de pequeño a grande, donde las galaxias mayores surgieron a partir de la agrupación de objetos más pequeños. Sin embargo, simular de forma realista la formación y evolu-

*El cartografiado espectroscópico Gaia-ESO (GES) se está llevando a cabo con el telescopio VLT y el controlador de fibras FLAMES unido a los espectrográfos UVES y GIRAFFES.*

*El Grupo de Sistemas Estelares del Instituto de Astrofísica de Andalucía forma parte activa de este cartografiado liderando el Paquete de Trabajo 1 -Cluster Membership- y participando en varios de los diecisiete paquetes en los que se ha organizado el consorcio.*

ción de la Vía Láctea -un proceso que implica innumerables factores-, aún queda lejos de nuestra capacidad.

“Por ello recurrimos a las estrellas: de igual modo que la historia de la vida se dedujo examinando las rocas, esperamos deducir la historia de

nuestra Galaxia estudiando las estrellas, porque las estrellas develan su pasado a través de su edad, composición o movimiento”, señala Emilio J. Alfaro, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que participa en Gaia-ESO.

Para ello, Gaia-ESO será minucioso y estudiará las estrellas de todos los componentes de la Vía Láctea: la región central (o bulbo), el disco grueso, el disco fino y el halo galáctico. Y lo hará desde tres puntos de vista -la abundancia de elementos químicos, la distribución espacial y la cinemática-, de modo que supondrá la muestra más homogénea jamás obtenida y permitirá desvelar cómo se formó y cómo evolucionó la Galaxia.

“El cartografiado espectroscópico Gaia-ESO (GES) aúna la misión de la ESA más ambiciosa de todos los tiempos para el estudio de la Vía Láctea, Gaia, con los ‘programas herencia’ (legacy programs) del Observatorio Europeo Austral (ESO), que proporcionan a la comunidad científica internacional grandes bases de datos, homogéneas y completas sobre determinados objetos o regiones del cielo”, añade Alfaro (IAA-CSIC).

Se espera que el análisis de todos los datos de Gaia-ESO esté listo para 2016, cuando la misión Gaia, que se lanzará a finales de este año, empiece a aportar datos. Gaia permitirá elaborar el censo de estrellas más amplio de nuestra galaxia, así como descubrir cientos de miles de nuevos objetos cósmicos (como nuevos planetas extrasolares, asteroides o sistemas múltiples). **S.L.L. (IAA)**

## El estudio más completo sobre el hielo

El IAA ha participado en el estudio más completo realizado hasta la fecha sobre los hielos. El trabajo, en el que han participado 17 científicos de 11 países recoge cuáles son los temas más actuales que existen en este campo de investigación

► El trabajo, publicado en la revista *Reviews of Modern Physics*, recorre las investigaciones internacionales sobre el hielo que se han realizado en los últimos años, relacionadas con las estructuras, variedades y procesos físicos y químicos en los que participa. Supone la revisión más completa de todas las formas y propiedades del hielo realizada hasta el momento.

El investigador del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (centro mixto del CSIC y la Universidad de Granada) Ignacio Sainz



explica que “el hielo puede adoptar una gran multitud de formas cuando se prepara a muy bajas temperaturas y presiones, y cuando se encuentra en cometas, en planetas y en partículas de polvo en el espacio interestelar”.

Para Sainz, el estudio del hielo “es un área que está al rojo vivo”, y que “puede influir en la química y física de la atmósfera, formando parte de las nubes o en los procesos que tie-

nen lugar en los grandes casquetes polares”. También puede interpretar “un papel esencial” en el cambio climático, e incluso en la explicación del origen de la vida, ya que algunas teorías sitúan el origen de los primeros seres vivos de la Tierra en los hielos oceánicos. En el artículo se analiza también su presencia en Marte y en cometas, por ejemplo. Sin embargo, sobre esta forma sólida, Sainz opina: “Es una gran des-

conocida que podría dar explicación a numerosos temas científicos de actualidad”. El artículo analiza también por qué todavía no se puede predecir una avalancha de nieve. “Los aludes se deben a un cambio en las estructuras internas de las partículas de hielo entre los límites de capas físicamente diferentes, que facilita el deslizamiento de una de ellas sobre la otra. Pero en la actualidad aún no podemos predecir

la estabilidad física de esa capa”, concluye.

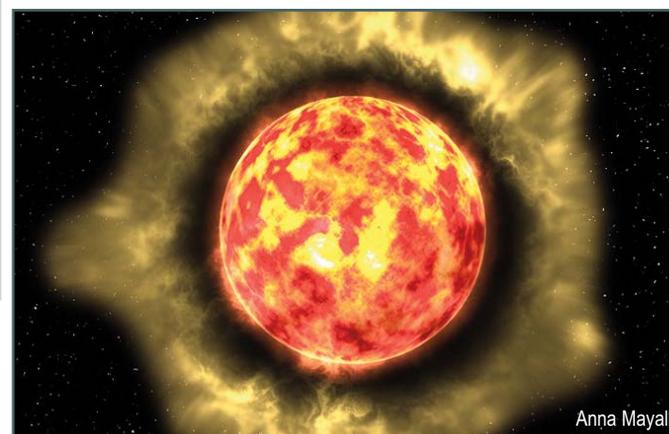
El trabajo, que ha sido liderado por el también investigador del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra Julyan Cartwright, ha contado con la colaboración de investigadores de otros centros del CSIC, como el equipo de Rafael Escribano en el Instituto de Estructura de la Materia y el de Pedro Gutiérrez en el Instituto de Astrofísica de Andalucía.

## Cómo las gigantes rojas se desprenden de su envoltura

Un estudio aclara cómo las gigantes rojas pierden gran parte de su masa a través de supervientos estelares

► Las estrellas de masa intermedia (entre media y diez masas solares), tras pasar gran parte de su vida en la secuencia principal, afrontan un momento crucial al agotar su combustible: las reacciones nucleares se extienden a capas más externas y la estrella pierde estabilidad, se expande y se convierte en una gigante roja.

Durante esta fase, la estrella pierde una gran cantidad de masa a través de un viento estelar compuesto por partículas de polvo (silicatos) cien millones de veces más denso que el



viento solar y que puede tener lugar durante un periodo de unos diez mil años. Así, la estrella puede llegar a perder hasta casi la mitad de su masa total.

Pero en este escenario existía un problema. Según la teoría, este “superviento” se produce por la ace-

leración que experimentan los granos de polvo al absorber la luz de la estrella; sin embargo, el tamaño estimado de los granos apuntaba a que deberían sublimar en lugar de acelerarse.

Ahora, un estudio realizado gracias al *Very Large Telescope* (ESO)

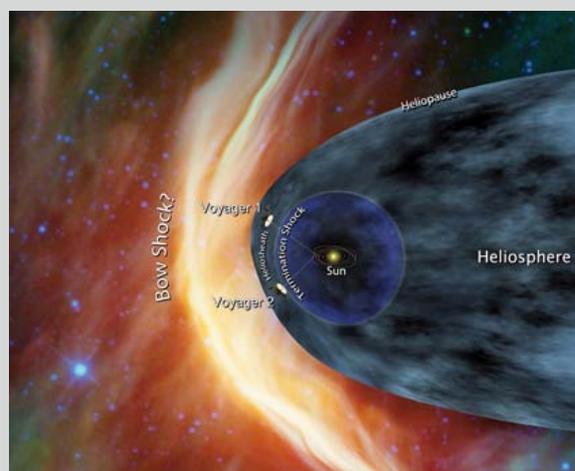
aporta información crucial. Se empleó una técnica innovadora para la observación de tres gigantes rojas, WHydrae, RDoradus and R Leonis, que permitió establecer que no solo los granos de polvo se encuentran a una distancia de la estrella mucho menor de lo que se pensaba (menos de dos radios estelares), sino que su tamaño supera las estimaciones. Con este tamaño, de aproximadamente un micrómetro de lado, los granos serían “transparentes” a la radiación de la estrella, por lo que no se produciría sublimación. La aceleración de los granos de polvo procedería, en este caso, de la dispersión de los fotones en lugar de la absorción, y la velocidad obtenida por esta vía se hallaría en torno a los diez kilómetros por segundo.

Silbia López de Lacalle (IAA)

### EN BREVE

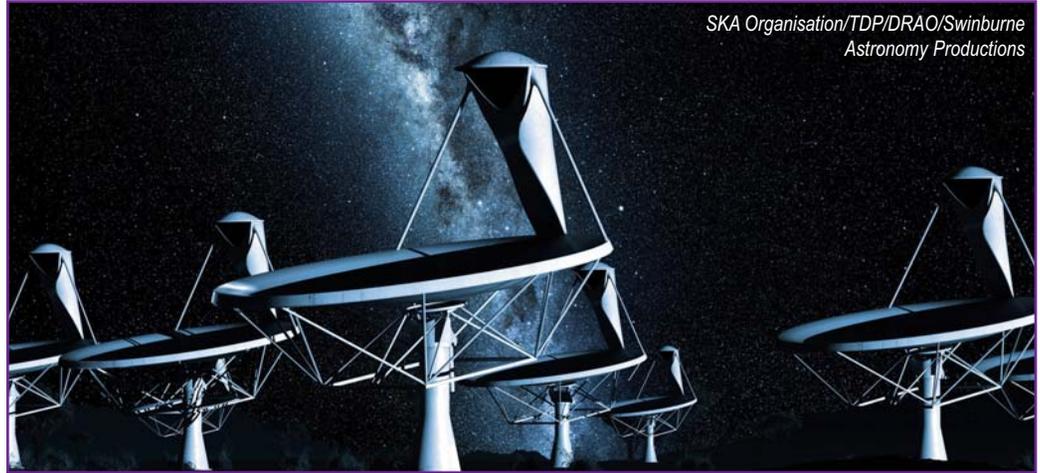
#### La nave Voyager 1, de camino al espacio interestelar

► Según los últimos datos, la nave Voyager 1 (NASA) se está aproximando a la última frontera del Sistema Solar, lo que la convertirá en el primer objeto realizado por el hombre que accede al espacio interestelar. Lanzada en 1977, la Voyager 1 se encuentra ahora en una región donde las partículas eléctricamente cargadas procedentes de fuera del Sistema Solar ha aumentado de forma notable (de 2009 a 2011 ha aumentado en un 25%), lo que constituye uno de los tres marcadores que determinan la salida de la nave del Sistema Solar. Para asegurar su nueva etapa exploratoria, también es necesario que descienda considerablemente la cantidad de partículas generadas por el Sol que recoge la nave, lo que marcaría su salida de la heliosfera y, finalmente, también se espera un cambio en la dirección de las líneas de campo magnéticos que detecta.



# Una mirada verde al cielo

El *Square Kilometre Array* (SKA), un súper radiotelescopio compuesto por miles de antenas, se enfrenta al desafío de comprender el universo sin contaminar la Tierra: aspira a funcionar solo con energías renovables



SKA Organisation/TDP/DRAO/Swinburne Astronomy Productions

► Finalmente no ha resultado ser una casualidad que, en aquellos años tan ilusionantes como fueron los de la transición española, surgieran en España proyectos pioneros que apuntaban al cielo con intenciones tan distintas: la pura observación astronómica desde Calar Alto o desde la Isla de La Palma, y el aprovechamiento de una energía no contaminante desde la Plataforma Solar del desierto de Tabernas en Almería. Ahora estas dos disciplinas convergen gracias a un proyecto que en aquella época podría haberse considerado pura ciencia ficción: SKA, una red de sensores radioastronómicos a escala continen-

tal, que revolucionará la tecnología de la información y las comunicaciones. Este súper radiotelescopio estará compuesto por miles de antenas equivalentes a un kilómetro cuadrado de superficie total -*Square Kilometre Array*-, distribuidas en las lejanas y exóticas tierras de África y Australia. Sorprendente y afortunadamente, el proyecto necesita extenderse en superficies de miles de kilómetros, donde se aplicarán innovaciones tecnológicas nunca antes imaginadas. SKA combinará varios miles de antenas, con diseños tales que permitan cubrir un ancho de banda excepcional, hasta sumar el kilómetro cuadrado

necesario para realizar contribuciones revolucionarias a la astrofísica, la astrobiología y la física fundamental, en áreas que son actualmente objeto de investigación en los principales centros astrofísicos de España. La longitud total de fibra óptica necesaria para interconectar estas antenas es suficiente para dar dos veces la vuelta a la Tierra. Aun más impresionante es saber que generará un tráfico de datos cien veces superior al del internet actual, cuyo procesado en tiempo real requiere de computación distribuida de alto rendimiento, e innovadoras tecnologías de minería de exabytes (trillones de bytes) de datos.

Pero el gran reto de esta megainfraestructura científica, y el motivo principal de este artículo, reside en el suministro de energía a todos los procesos implicados (antenas, transmisión en fibra, computación...), tanto en un núcleo central, equivalente a una población, como en áreas aisladas y remotas. Y ello sin generar interferencias, tan dañinas para un radiotelescopio, y sin llevar a cada antena una red eléctrica convencional. Tal demanda energética, para un tiempo de operaciones previsto de unos cincuenta años, hace que la comunidad de científicos e ingenieros implicados en SKA no desee caer en la contradicción de contaminar

## ENTRE BASTIDORES

### RECORTES EN CIENCIA: ¿UNA IDIOTEZ?

JUAN CARLOS SUÁREZ (INVESTIGADOR DEL IAA-CSIC Y MIEMBRO DE LA PLATAFORMA INVESTIGACIÓN DIGNA)

**“TODOS, CUANDO FAVORECEN A OTROS, SE FAVORECEN A SÍ MISMOS; [...] ME REFIERO A QUE EL VALOR DE TODA VIRTUD RADICA EN ELLA MISMA, YA QUE NO SE PRACTICA EN ORDEN AL PREMIO: LA RECOMPENSA DE LA ACCIÓN VIRTUOSA ES HABERLA REALIZADO”**

SÉNECA, *CARTAS A LUCILIO*

En la Grecia Antigua se consideraba idiotas (*idiotés*) a aquellos ciudadanos que no se ocupaban del asunto público, sino de lo suyo (*idios*), incapaces de ofrecer nada a los demás. Esta idiotez ha permanecido durante siglos manifestándose como un virus social cuyas cepas más virulentas atacan a sus anchas en las sociedades menos educadas en valores democráticos. Se produce un curioso fenómeno entre los infectados: en muchos provoca desidia social y desapego por la política, y a unos pocos les potencia una irrefrenable necesidad de aglu-

tinuar poder para satisfacer sus intereses personales sin contar con los demás. Los efectos son devastadores: menos ciudadanía y por tanto menos democracia. Aparece el despotismo (revestido de paternalismo ilustrado), que a su vez provoca nuevas huidas de la política. Todo un mecanismo de contagio viral de secuelas evidentes: se resuelven peor los problemas y se crean algunos nuevos.

Ningún grupo social es inmune a la idiotez, aunque algunos están más preparados que otros para combatirla. Cabría suponer

que aquellos colectivos formados por individuos dedicados a pensar, a razonar y a ser extremadamente críticos, estarían en buena disposición para combatir el virus. Sin embargo, la realidad es otra: v. gr., nosotros los científicos, locos despistados, ocupados en nuestras teorías, laboratorios y publicaciones científicas (con árbitro, por aquello de ser críticos y rigurosos) con frecuencia olvidamos que antes que (y junto a) científicos somos ciudadanos. La ciudadanía implica un deber positivo para con los demás cuya inhibición tiene consecuencias

la Tierra para comprender el universo. Es por ello que este proyecto nos ofrecerá la posibilidad de ver unidos dos conceptos como las nuevas tecnologías y el desarrollo energético sostenible, aspirando a funcionar veinticuatro horas al día con energías renovables. La conjunción de una necesidad científica de la astronomía española, y de la experiencia de empresas y centros tecnológicos, constituye una oportunidad excepcional, y así lo ha entendido el Ministerio de Economía y Competitividad, que ha aprobado el proyecto VIA-SKA[1]. Como parte de este, investigadores españoles han contribuido a los trabajos de definición de SKA y, junto con más de cuarenta empresas, han mostrado su capacidad para contribuir en áreas tan diversas como receptores de ruido ultra-bajo, sistemas eléctricos, electrónica de potencia y control, actuadores, técnicas de marca de tiempo con precisión de nanosegundos, o herramientas de e-Ciencia para una explotación científica eficiente.

El desafío energético de SKA ha dado lugar a que, desde el inicio del proyecto, se haya establecido una estrecha colaboración entre VIA-SKA y el Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER), en cuyo marco han contribuido a la definición de los distintos bloques necesarios para la ejecución del paquete de



trabajo de Energía. Por ello España ha recibido el apoyo de Portugal, Alemania y Holanda para liderar el desarrollo de dicho paquete. La colaboración con dichos países se ha concretado ya con la concesión de un proyecto europeo liderado por empresas españolas, y enfocado en desarrollos de soluciones de energía solar de concentración de aplicación a SKA. De la variedad de dichas tecnologías en que España es especialista han sido testigos representantes de la Oficina de SKA, así como expertos en energías renovables y astronomía de países como EEUU, Corea o Nueva Zelanda, en sendas visitas realizadas los pasados 28 de mayo y 21 de junio a las centrales termosolares PS10/PS20 de Abengoa, en Sanlúcar la Mayor (Sevilla). Durante estas quedaron impresionados por la envergadura de

la instalación, así como por la capacidad demostrada por sus propietarios de desarrollo, construcción y operación de plantas solares en diversos países. No en vano estas centrales objeto de la visita constituyen el primer complejo solar termoeléctrico con tecnología de torre instalado en el mundo con fines comerciales.

Es el afán por conocer, que aparentemente no da lugar a desarrollos de aplicación directa, el que en el caso de SKA irá más allá de lo tecnológico. Pensemos en el impacto que tendrá en el continente africano[2]: desde la necesidad que generará de importar conocimiento para formar a científicos e ingenieros especializados, hasta la mejora del nivel de vida de la población de áreas remotas mediante el acceso a energías renovables, pasando por las infraestructuras de comunicacio-

Visita reciente a las centrales termosolares de Abengoa Solar, en Sanlúcar la Mayor (Sevilla), con representantes de la Oficina de SKA, ASTRON (Holanda), e IT (Portugal), así como del IAA-CSIC, CTAER, CDTI y Ministerio de Economía y Competitividad.

nes, que abrirán África al mundo social y económicamente. Recordemos que se trata del mayor mega proyecto de ciencia global, con países participantes de todo el globo, como Canadá, Nueva Zelanda, China, Australia, Sudáfrica, buena parte de Europa o India.

En definitiva, dos áreas en las que España ocupa un puesto de prestigio en el mundo vuelven a coincidir en el primer proyecto al que podría aplicarse el apelativo de "terricola".

**Lourdes Verdes-Montenegro (IAA-CSIC, IP de VIA-SKA) y Valeriano Ruiz (CTAER)**

[1] <http://amiga.iaa.es/p/279-via-ska.htm>

[2] <http://theconversation.edu.au/astronomy-for-africa-the-ska-will-lead-to-brain-gain-7289>

nefastas para el individuo y, por tanto, para la comunidad en la que vivimos, lo que incluye a nuestro propio colectivo y al papel de este -y por ende de la ciencia- en la sociedad.

La ciencia ha sido y es considerada en España un lujo que solo podemos permitirnos en épocas de bonanza. Hoy la inversión pública en investigación científica es un 40% menor que en el año 2009. Hemos tenido que esperar a estos brutales recortes -que ya tienen consecuencias irreversibles- para que organizaciones como FJI, PID, COSCE, CRUE\* y sindicatos trabajen juntos (*Carta abierta por la ciencia en España\*\**, presentación de enmiendas a los Presupuestos Generales del Estado, etc.). Esta coordinación es inédita en España y va por el buen camino, aunque desgraciadamente la repercusión de sus actividades en los medios de comunicación y en la socie-

dad ha sido escasa, y con casi nula efectividad real. Pero ¿es suficiente? ¿vamos a dejar que sean solo ellos quienes hagan algo? ¿y los demás, qué vamos a hacer? Podemos incluso ir más lejos y preguntarnos si la salud del propio sistema de investigación tiene algo que ver en todo esto: ¿nos gusta el CSIC tal y como está? ¿y la universidad? ¿y los OPIs? ¿hay transparencia suficiente? ¿por qué deciden los que deciden? ¿a quién se deben los que deciden? ¿los que deciden lo están haciendo bien? Y si creemos que no, ¿qué mecanismos de sanción tenemos? ¿qué medios poseemos para participar en la gestión de la ciencia? ¿nos parece bien la nueva ley de la ciencia?... ¿estamos contagiados por el virus de la idiotez?

Decía Michel de Montaigne en sus *Ensayos* que "a nadie le va mal mucho tiempo sin que él mismo tenga la culpa".

Apelo pues al sentido de responsabilidad cívica para luchar contra la idiotez, no solo por nosotros mismos, sino por la sociedad a la que nos debemos. Paliemos los efectos de la idiotez con el mejor analgésico: la participación política, y dotémonos de la mejor defensa: la educación. En esta última tenemos doble responsabilidad, difundiendo conocimientos y sirviendo de ejemplo a la sociedad con nuestra actitud cívica. Ello nos hará más libres a nosotros y a las generaciones futuras. En definitiva ¡no seamos idiotas!

\* Federación de Jóvenes Investigadores (FJI), Plataforma Investigación Digna (PID), Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE), Consejo de Rectores Universitarios de España (CRUE)

\*\* <http://www.investigaciondigna.es/>

# SALA limpia



por Miguel Abril (IAA)

## la respuesta:

### ¿Cuál de estos datos relativos al GPS es falso?

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

Vale, lo reconozco: me he pasado. Setenta y ocho satélites son demasiados. Y, además, con veinticuatro bien organizados es suficiente para tener cobertura global (casi) permanente. Y digo "casi" porque en situaciones muy concretas es posible que no se reciba señal de los suficientes satélites como para establecer una posición fiable; por ejemplo, en una isleta perdida cercana a la Península Antártica los sábados por la tarde (palabrita del niño Jesús). Pero, dejando a un lado esas situaciones exóticas, con veinticuatro satélites está asegurada la cobertura y la recepción adecuada de la señal en cualquier punto de la superficie terrestre, así que la respuesta falsa era la c. Las otras tres, que por otra parte resultan mucho más sorprendentes, son ciertas. La precisión en la posición física que se puede alcanzar con un

GPS comercial es de unos metros, pero con técnicas como el GPS diferencial —en la que los datos recibidos de los satélites se comparan y corrigen con los de otra estación fija cuya posición es bien conocida— se pueden alcanzar precisiones mucho mayores. Del orden de unos pocos centímetros, como se proponía en la respuesta a. Aunque para el usuario habitual la principal aplicación de los receptores GPS es la localización espacial precisa de vehículos o personas, en otras tareas más especializadas (experimentos astrofísicos, instrumentación geofísica o aplicaciones más mundanas, como claquetas de cine sincronizadas) lo que se aprovecha son las posibilidades de sincronización temporal que también proporciona el sistema GPS. Como base de estos sistemas se utiliza, en la mayoría de los casos, una señal de un pulso por segundo sincronizada con el

tiempo universal con una precisión de unos pocos nanosegundos (milmillonésimas de segundo, como se proponía en la respuesta b). Como siempre que hablamos de magnitudes inmensamente grandes o absurdamente pequeñas, corremos el riesgo de perder la noción de la escala, así que propongo un ejercicio mental para poner este *mierditiempo* en contexto: imaginemos el proceso más rápido del que seamos conscientes. A mí se me ocurre el tiempo que transcurre desde que nos pinchamos un dedo hasta que sentimos el dolor. Aparentemente es instantáneo, pero los impulsos eléctricos viajan tan solo a velocidades de unos cien metros por segundo, por lo que tardan como mínimo una centésima de segundo en llegar desde nuestro dedo hasta el cerebro. Así que resulta que la precisión en la sincronización de un pulso temporal que podemos conseguir con un GPS es nada menos que un millón de veces mejor que el tiempo que tarda un proceso aparentemente instantáneo. Es una tontería de comparación, pero a mí me sirve.

También resulta sorprendente la altura a la que orbitan los satélites, que efectivamente es la que se dice en la respuesta d. ¿Por qué ocupan órbitas a más de veinte mil kilómetros de altura, cuando la estación espacial internacional, por ejemplo, se encuentra a solo cuatrocientos? La principal razón no tiene nada que ver con la tecnología: el sistema GPS se diseñó originalmente para usos militares, y un satélite situado a miles de kilómetros de altura es mucho más difícil de inutilizar por el enemigo que otro situado en órbita baja. Paradójicamente, la principal amenaza para el funcionamiento del GPS ahora no se encuentra bajo los satélites, sino sobre ellos: una tormenta solar particularmente violenta podría inutilizar parcial o totalmente los suficientes nodos de la constelación como para amenazar seriamente el funcionamiento del sistema. Lo cual nos lleva a una interesante cuestión: ¿cómo se protegen los sistemas electrónicos de todas las amenazas a que están sometidos en el espacio exterior? Cuestión que será tratada en algún otro número, porque en este...

## la pregunta:

...Sabían que los balones de fútbol tienen, como los planetas, un campo magnético originado por su movimiento de rotación? ¿Y que la trayectoria al tirar un saque de esquina tiene forma de elipse con el portero en uno de sus focos? No, no va a colar... A ver cómo me las apañó yo para conseguir hablar de balones en una revista de astronomía... Voy a tener que recurrir al socorrido argumento de...

extensión, de tecnología aplicada al deporte. Dos campos que no son tan ajenos como podría pensarse. Incluso si dejamos a un lado los deportes de motor y la vela de alta competición, en los que la investigación en materiales, aerodinámica o mecánica es la piedra angular, la tecnología juega un papel fundamental también en los deportes de verdad, esos en los que lo que corre no es una máquina sino un hombre, una mujer o un ser hormonado a medio camino entre ambos. Si no, que se lo pregunten a un portero cuando ve venir un Jabulani a 120 km/h describiendo trayectorias inimaginables con un Adidas Tango. O al gran Bjorn Borg cuando, aburrido de una vida sin



Planeta Fútbol, fotografiado por el autor con el telescopio de 3,5 m de Calar Alto.

tenis, volvió a la competición empuñando orgulloso su mítica Donnay de madera. Su frustrado experimento *vintage* —no consiguió vencer ni uno de sus partidos frente a musculosos jovencuelos con raquetas de fibra de carbono— es la muestra más evidente,

aunque no la única, de la importancia que tiene la tecnología en el deporte. El tema da para mucho, así que esta vez, por eso de que la actualidad manda, nos centraremos en balones de fútbol. Balones un tanto especiales, eso sí:

...porque en este, la actualidad manda. Cuando lean estas líneas probablemente estemos en plena Eurocopa, así que vamos a aprovechar para hablar de balones y, por

### ¿CUÁL DE ESTOS INVENTOS NO ES REAL?

- A) UN BALÓN DIRIGIDO POR CONTROL REMOTO
- B) UN BALÓN QUE EXTRAE ENERGÍA DE LAS PATADAS PARA ENCENDER LUCES
- C) UN BALÓN CON GPS PARA EVITAR GOLES FANTASMA
- D) UN BALÓN CON CÁMARA INCORPORADA

# LA MISTERIOSA MATERIA OSCURA

## Pilares científicos

Nuestro universo se compone de mucho más de lo que podemos ver directamente con nuestros ojos y telescopios. Solo una parte muy pequeña del universo está formada por materia que interactúa electromagnéticamente y, en consecuencia, emite fotones (luz) que podemos detectar con nuestros instrumentos. Esta materia "ordinaria" es la que todos conocemos y compone todo lo que nos rodea -la Tierra y el Sol, los demás planetas y estrellas y nosotros mismos-, pero solamente representa el 5% del contenido total de materia y energía del universo. Sabemos que el 23% del universo está hecho de otro tipo de materia, no ordinaria, que no podemos observar directamente porque no interactúa electromagnéticamente -es decir, no emite fotones-. El restante porcentual de

materia-energía del universo corresponde a la aún más misteriosa energía oscura.

La materia oscura ha podido ser detectada, indirectamente, gracias a sus efectos gravitacionales en los demás objetos celestes como, por ejemplo, en el movimiento de las estrellas de nuestra Galaxia o en la masa total de los cúmulos de galaxias que, medida a través de diferentes técnicas (véase el efecto de lente gravitacional), revela la presencia dominante de materia oscura respecto a la materia ordinaria. Claras evidencias de la existencia de la materia oscura vienen también desde las medidas del fondo cósmico de microondas y de los estudios de la formación de estructuras. La evidencia más fuerte reside quizás en el hecho de que sin la materia oscura las estructuras que hoy en día vemos en el universo no existirían. Su efecto gravitacional dominante

"forzó" a la materia ordinaria a colapsar en zonas de alta densidad de materia oscura para formar las primeras estrellas en el universo primordial, y así hasta las galaxias y los cúmulos de galaxias. Sin materia oscura no estaríamos hoy aquí hablando de ella.

Lo que sabemos por cierto de la materia oscura puede ser resumido en pocas líneas. Sabemos que existe porque vemos sus efectos. Sabemos que no puede estar compuesta de los mismos componentes de la materia ordinaria, sino de diferentes tipos de partículas. Sabemos que no interactúa a través de las fuerzas electromagnéticas y nuclear fuerte, o de lo contrario lo habríamos notado. Y conocemos unas cuantas características genéricas más que debe presentar para que encaje con todas nuestras observaciones, como "cuánta" materia oscura debe haber y qué masa debe tener.

## Incertidumbres

No se puede decir que lo que ignoramos sobre la materia oscura sea más que lo que sabemos, pero sí que se trata de un desconocimiento crítico: desconocemos lo que es, de qué "está hecha" la materia oscura. No sabemos si es una partícula o más de una, ni sabemos de qué partículas se trata. Solo tenemos hipótesis -de hecho, muchas- sobre lo que podría ser.

También existen teorías que intentan explicar la materia oscura como un efecto de gravedad modificada. Así, no existiría ninguna partícula "exótica" todavía por descubrir, sino que la gravedad sería diferente en diferentes zonas del universo, explicando lo que estamos viendo y llamando materia oscura. Pero hasta la fecha, estas teorías alternativas, a diferencia del así llamado modelo cosmológico estándar, no han tenido éxito en explicar todas nuestras observaciones. Por otro lado, otras teorías como la gravedad cuántica no han conseguido toda-

vía predicciones para poder ser verificadas experimentalmente.

En el marco del modelo cosmológico estándar, la materia oscura puede estar compuesta por diferente partículas. Nos referimos a la mayoría de ellas como WIMPs, del inglés para "partículas masivas que interactúan débilmente", lo que hace referencia a la fuerza nuclear débil. Se trata simplemente de una clase de partículas que encaja con lo que nos esperamos. Todas ellas son, a día de hoy, solamente hipótesis teóricas. Quizás la más famosa sea el "neutralino", partícula esperada en las teorías súper simétricas, o teorías así formuladas más allá del modelo estándar de partículas.

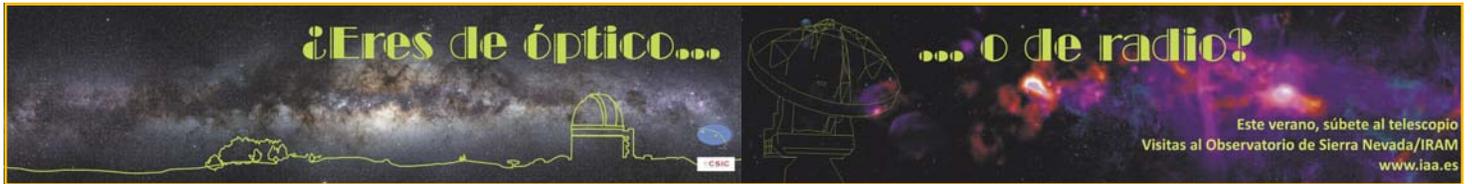
Desde hace varios años, podemos decir décadas, estamos intentando detectar indicios de esta clase de partículas tanto directa como indirectamente. En cuanto a la detección directa, por un lado existen varios experimentos que intentan observar las consecuencias de la interacción débil de la materia oscura con la mate-

ria ordinaria y, por otro, utilizamos grandes aceleradores de partículas. La comunidad científica está pendiente de los resultados del LHC en Ginebra, que podría confirmar la existencia de teorías más allá del modelo estándar de partículas y así abrir la ruta para una más clara caracterización de la materia oscura. En cuanto a la detección indirecta, hay varios telescopios y satélites que intentan capturar una señal de la posible aniquilación o desintegración de materia oscura en partículas ordinarias desde aquellos objetos cuya masa sabemos que está dominada por materia oscura.

Hasta la fecha nuestros esfuerzos han sido pagados solamente con la exclusión de algunos modelos teóricos. Solo podemos seguir cazando estas partículas, sin olvidar que teorías alternativas todavía podrían tener algo que decir en esto. Al fin y al cabo, lo único cierto es que hay algo que no podemos identificar y cuyo efecto gravitacional es dominante sobre la materia ordinaria del universo: la misteriosa materia oscura.



## VISITAS AL OBSERVATORIO DE SIERRA NEVADA



Por séptimo año consecutivo, el Instituto de Astrofísica de Andalucía organiza visitas guiadas al Observatorio de Sierra Nevada y al Instituto de Radioastronomía Milimétrica, en

[www.iaa.es/visitas-OSN-IRAM](http://www.iaa.es/visitas-OSN-IRAM)

colaboración con el Albergue Universitario de Sierra Nevada y dos asociaciones de astrónomos aficionados: la Sociedad Astronómica Granadina y la Asociación Astronómica Astronémesis.

Las visitas tendrán lugar el 23 de junio, 14 de julio, 11 y 18 de agosto y 8 de septiembre, y el número de plazas está limitado a 40 personas por visita. Al igual que otras ediciones, habrá dos modalidades: de un día o de fin de semana.

Las reservas se pueden realizar enviando un correo electrónico a la dirección [albergue@nevadensis.com](mailto:albergue@nevadensis.com) o en el número 958480122.

## TESLABLOG: Un Nikola Tesla "resucitado" divulga ciencia



Un proyecto de divulgación del IAA "revive" a Nikola Tesla, inventor del motor que permitió generalizar el uso de la energía eléctrica, de la radio o del control remoto, para que divulgue los avances científicos a través de un videoblog

Para muchos fue el hombre que inventó el siglo XX. Seguro que, de no haber existido Tesla, tarde o temprano otro ingeniero habría hallado la forma de dominar la corriente alterna. Pero lo que también es seguro es que Tesla tenía el siglo XX en su cabeza: de hecho, posiblemente él concebía una versión mucho mejor que la que terminó por hacerse realidad.

Por esto, el Instituto de Astrofísica de Andalucía eligió a Nikola Tesla para protagonizar un proyecto de divulgación que se estrenó recientemente y en el que un Tesla moderno habla de ciencia a través de su videoblog, un espacio en el que trata temas que van desde la generación de energía o la transmisión de electricidad sin cables a la exploración de Marte, la invisibilidad o los robots.

<http://teslablog.iaa.es>

## EL RADIOSCOPIO

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

# EL RADIOSCOPIO

Hay mucha más ciencia de la que crees

<http://radioscopio.iaa.es>

Acaba de completarse la primera temporada de El Radioscopio, un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa aborda temas tan diversos como los aceleradores de partículas, los recortes en ciencia, la agricultura del futuro, los microorganismos o las incógnitas pendientes en diversas áreas de la astrofísica. Veinticinco minutos semanales de ciencia rigurosa, variada y amena.

## CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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