Información y Actualidad Astronómica

revista.iaa.es
FEBRERO DE 2017, NÚMERO 51

Río Tinto
Un análogo terrestre de Marte

El centro de la Vía Láctea

Un extraterrestre en mi ventana

Instituto de Astrofísica de Andalucía
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

http://www.iaa.es

Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle.
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
Glorieta de la Astronomía sn , 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

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

La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA). http://revista.iaa.es

SUMARIO

REPORTAJES
Río Tinto, un análogo terrestre de Marte ...3
GalacticNucleus, un sondeo infrarrojo del centro de la Vía Láctea ...7
Un extraterrestre en mi ventana ...10
DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Relámpagos ...12
EL "MOBY DICK" DE... José Juan López Moreno (IAA) ...14
CIENCIA EN HISTORIAS...Tres viajeros y un dolmen ... 15
ACTUALIDAD ...16
ENTRE BASTIDORES... Divulgación inclusiva ... 21
SALA LIMPIA ...22
CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. La historia de la actividad magnética solar ...23

Encuentro entre un gato celeste y una langosta cósmica

Los astrónomos han estudiado durante mucho tiempo las brillantes nubes cósmicas de gas y polvo catalogadas como NGC 6334 y NGC 6357. Esta gigantesca nueva imagen, obtenida por el VST (Very Large Telescope Survey Telescope) es la más reciente. Con unos 2.000 millones de píxeles, es una de las imágenes más grandes jamás dadas a conocer por ESO. Las sugerentes formas de las nubes han dado lugar a sus nombres, fáciles de recordar: la nebulosa Pata de Gato y la nebulosa Langosta, respectivamente.

Fuente: ESO.

Geomicrobiología de un análogo terrestre de Marte: Río Tinto

LA CUENCA DE RÍO TINTO MUESTRA CONDICIONES ÁCIDAS Y FUERTEMENTE OXIDANTES SIMILARES A LAS DE ALGUNAS REGIONES DE MARTE, Y PERMITE ENMARCAR ALGUNAS EXPECTATIVAS BIOLÓGICAS DE LA EXPLORACIÓN MARCIANA

Por Ricardo Amils, *CBMSO (UAM–CSIC) y CAB (INTA–CSIC)*

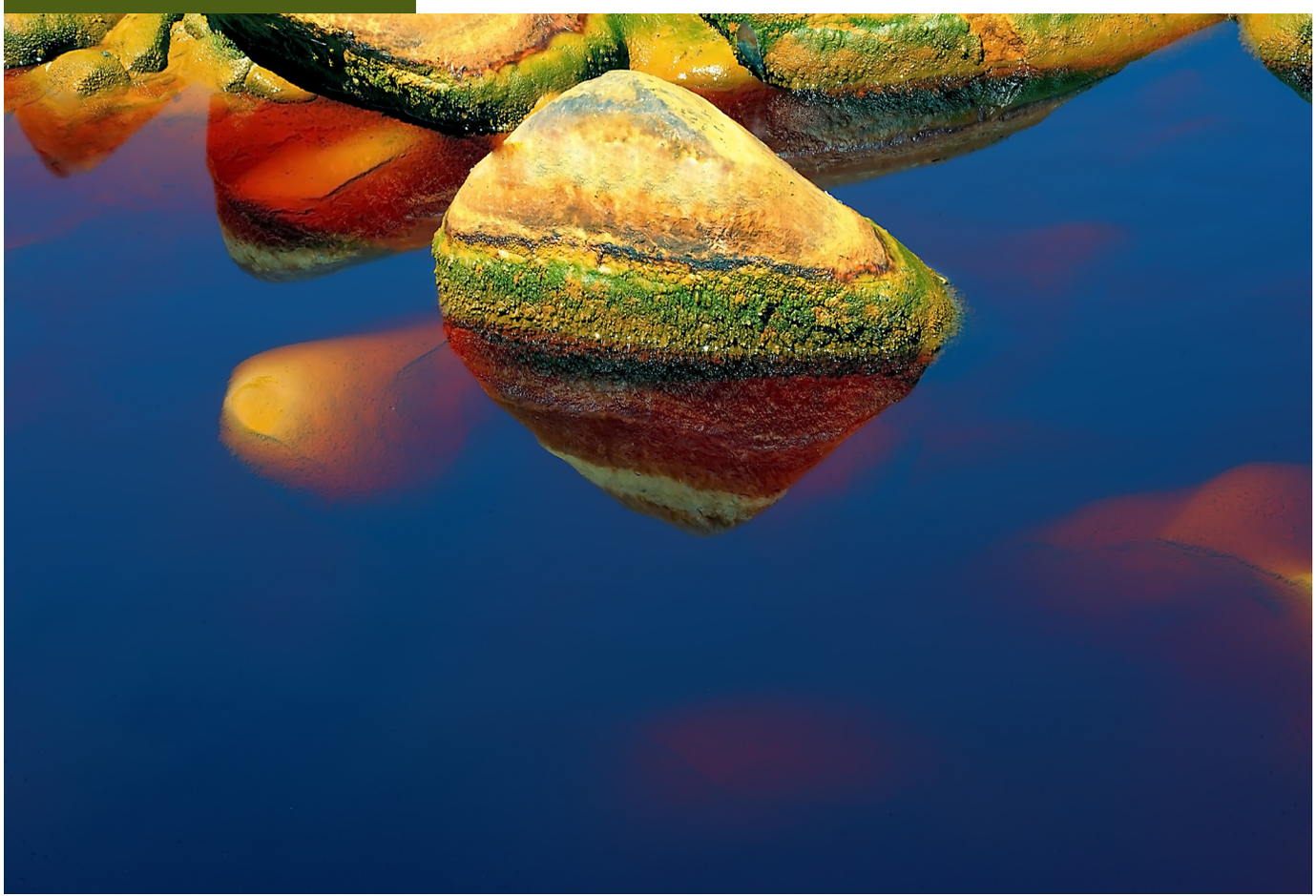
LA EXTREMOFILIA, LA PARTE DE LA MICROBIOLOGÍA QUE ESTUDIA los microorganismos que se desarrollan en ambientes extremos, ha permitido demostrar que la vida es extremadamente robusta, tenaz y capaz de adaptarse a condiciones que considerábamos inhabitables hasta hace relativamente poco. La extremofilia ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de la astrobiología, en cuyo mapa de ruta ocupa un lugar predominante. El análisis de los datos de las misiones *Viking*, desarrolladas hace más de cuarenta años con el fin de buscar señales de vida en Marte, concluyó, aunque aún sigua viva la controversia, que la vida en la superficie oxidante, fría, seca y bañada por la radiación ultravioleta del planeta rojo era imposible. En los últimos años, los avances en microbiología, sobre todo en extremofilia, han permitido cuestionar esta visión extremadamente pesimista sobre las posibilidades de vida en Marte.

La cuenca del Río Tinto

Río Tinto es un río ácido que recorre la provincia de Huelva. Nace en Peña de Hierro, en el corazón de la Faja Pirítica Ibérica (FPI) y desemboca en el Atlántico. La FPI es uno de los mayores depósitos de sulfuros metálicos del mundo. Debido a la elevada concentración de ion férrico que posee a lo largo de sus noventa y dos kilómetros de longitud, y a la capacidad tampón del mismo, el pH (nivel de acidez) se mantiene constante a lo largo de su cauce.

La caracterización geomicrobiológica de la columna de agua del río a lo largo de su cauce muestra que los microorganismos mayoritarios (el 80% de la población) corresponden a miembros del ciclo del hierro: *Leptospirillum ferooxidans* (un oxidador de hierro), *Acidiphilium* sp. (un reductor de hierro) y *Acidithiobacillus ferrooxidans* (un oxidador de hierro en condiciones aerobias -con presencia de oxígeno- y un reductor del mismo en condiciones anaerobias -carentes de oxígeno-; este microorga-

Biopelículas en la zona rocosa de Berrocal. Fuente: Julio Segura.



Algas filamentosas a lo largo del curso del Río Tinto. Fuente: Julio Segura.

nismo puede mantener por sí solo en funcionamiento el ciclo del hierro). Aunque otros oxidadores de hierro han sido identificados en la cuenca del Tinto, su baja proporción numérica sugiere que su papel en el funcionamiento del ciclo del hierro es menor, por lo menos en la columna de agua.

Recientemente se ha concluido un estudio comparativo entre muestras de sedimentos y de la columna de agua a lo largo del gradiente físico-químico del río. Este estudio ha mostrado un mayor nivel de biodiversidad, esperable, en los sedimentos que en las muestras de la columna de agua. La mayor parte de los microorganismos identificados están relacionados de alguna manera con el ciclo del hierro. En las condiciones estrictamente anaerobias que se dan en la parte más profunda de los sedimentos a lo largo del río, la reducción de sulfato es una actividad recurrente, consecuencia de la elevada concentración de sulfatos existente en el ecosistema.

En general se asume que la toxicidad exhibida por la mayoría de los metales pesados debería ser el factor limitante para el desarrollo de organismos eucarióticos (organismos formados por células con núcleo verdadero). Sin embargo, vistosas biopelículas con intensos pigmentos verdes cubren grandes superficies de la cuenca del Tinto. De hecho, se ha evaluado que más del 60% de la biomasa del río corresponde a microorganismos eucarióticos. Y una parte importante de los mismos son fotosintéticos.

En la superficie negativamente cargada de estas biopelículas precipitan minerales de hierro, generando bioformaciones de hierro que crecen siguiendo los ciclos hidrológicos y se consolidan formando terrazas fluviales. En las épocas secas y calurosas la evaporación del agua del río favorece la precipitación de minerales como la jarosita y la schwertmannita, mientras que la copiapita, coquimbita, los yesos y otros minerales sulfatados generan eflorescencias en los suelos por acción de la capilaridad. Durante la época húmeda, la hidrólisis de los sulfatos se añade al efecto de la hidrólisis del hierro, facilitando la precipitación de oxihidróxidos de hierro (goetita). La deshidratación de la goetita genera óxidos férricos (hematites). Dependiendo de la proporción relativa de estos minerales se puede conocer la antigüedad de los distintos depósitos de rocas sedimentarias a lo largo del cauce del río.

Sin embargo, no solo los microorganismos eucariotas unicelulares son capaces de desarrollarse en las condiciones extremas del río. Distintas plantas son capaces de crecer en los suelos ácidos de la cuenca del Tinto. El análisis de los minerales de hierro asociados a los rizomas y hojas de *Imperata cylindrica*, una planta perenne hiperacumuladora de hierro recolectada en los márgenes del Tinto, muestran elevadas concentraciones de jarosita e hidróxidos de hierro. Estos resultados demuestran que sistemas multicelulares complejos son capaces de desarrollarse en condiciones extremas, lo que es de indudable interés astrobiológico.

Hasta hace poco, era generalmente aceptado que las condiciones extremas del Río Tinto se debían a la actividad minera desarrollada en la zona durante más de cinco mil años. Un estudio reciente del subsuelo de la Faja Pirítica Ibérica mediante el desarrollo de un proyecto de perforación en Peña de Hierro, considerada la zona del origen del río, ha permitido detectar la zona de recarga del acuífero a una profundidad de entre cien y cuatrocientos metros. La capa freática se mueve siguiendo un entramado de fracturas y, cuando alcanza los sulfuros masivos, el agua facilita el metabolismo de los microorganismos quimiolitoautótrofos, que obtienen su energía de la oxidación de sustancias inorgánicas sencillas y generan fluidos ácidos. Estos fluidos ácidos originan las fuentes de aguas ácidas que alimentan la cabecera del Río Tinto. Así pues, la generación de aguas ácidas en esta zona ocurre de manera natural a partir de la biooxidación de los sulfuros metálicos presentes en el subsuelo.

Este proyecto ha permitido a su vez demostrar que existe una importante diversidad microbiana en el subsuelo de la Faja Pirítica Ibérica responsable no solamente de la oxidación del hierro y del azufre en condiciones anaerobias sino de otras actividades que permiten evidenciar el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos más importantes en lo que llamamos la biosfera oscura (independiente de la radiación solar). Estos datos son de indudable interés astrobiológico, ya que de existir vida en Marte deberá desarrollarse necesariamente en el subsuelo.

Río Tinto, un análogo terrestre de Marte

El descubrimiento de sulfatos, datados en el periodo Noachiano (hace entre 3700 y 4100 millones de años), en distintas localidades de Marte sugiere un pasado acuoso, ácido, probablemente originado por la alteración de minerales ricos en sulfuros. En 2004, el

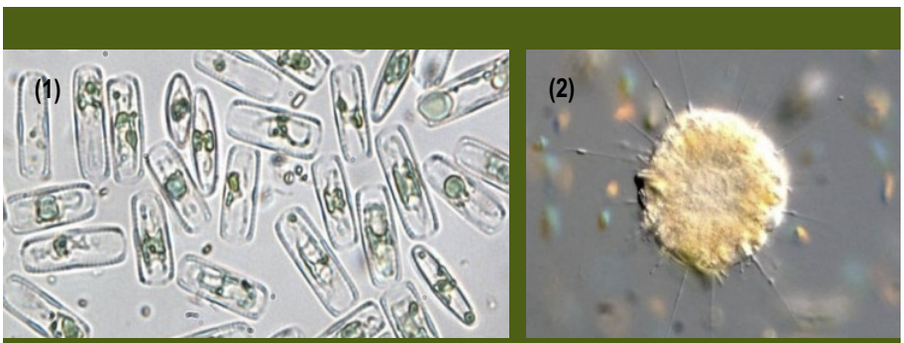
Se asume que la toxicidad de los metales pesados debería ser un factor limitante para el desarrollo de organismos eucarióticos, pero vistosas biopelículas con pigmentos verdes cubren grandes superficies de la cuenta del Tinto

rover *Opportunity* de la misión *Mars Exploration Rovers* (MER) inició su exploración en la zona Meridiani Planum. La selección de este lugar de aterrizaje se debió a la identificación mediante observaciones orbitales de una zona rica en hematites, posiblemente generada por las condiciones acuosas existentes en Marte en épocas remotas. La identificación de jarosita en estas formaciones introdujo constricciones paleo-ambientales importantes, ya que se considera que este mineral se forma únicamente en condiciones ácidas. Este hallazgo hermanó definitiva-

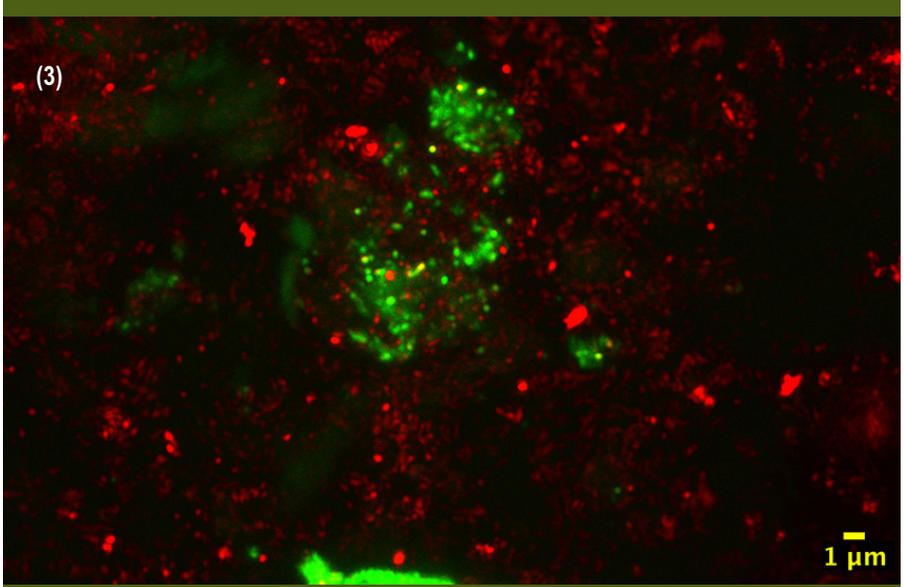
mente Río Tinto con Marte.

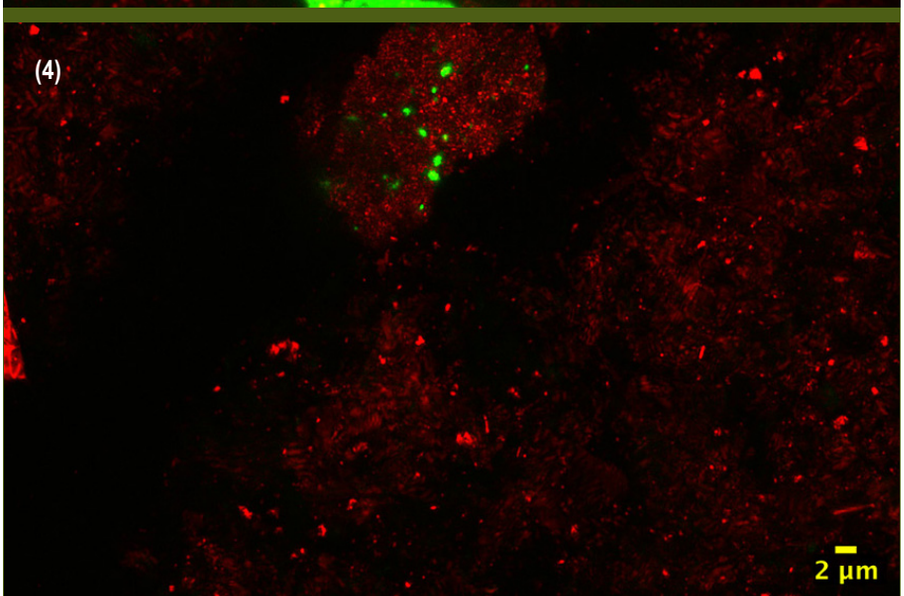
Río Tinto como análogo geológico y mineralógico de Marte genera una interesante perspectiva para la interpretación de algunos datos del planeta rojo. Por un lado, los óxidos y los sulfatos de hierro detectados en la cuenca del Tinto han sido formados en condiciones físico-químicas y biológicas convenientemente caracterizadas. Por otro, las condiciones actuales de drenaje se complementan con un record histórico de deposición convenientemente preservado como rocas sedimentarias a distintos niveles por encima del río. La combinación de depósitos antiguos y modernos del río nos facilitan la comparación con Meridiani Planum y otras regiones con minerales de hierro, como Vallis Marineris, Mawrth Vallis and Syrtis Major, en los que los procesos de deposición y diagénesis (conjunto de procesos de formación de una roca sedimentaria) deben inferirse a partir de rocas sedimentarias antiguas.

Los sistemas deposicionales de Meridiani Planum y Río Tinto poseen similitudes y diferencias. La diferencia más obvia está relacionada con las condiciones de formación. Mientras que las rocas de Meridiani Planum se acumularon mediante procesos eólicos y acuosos en un ambiente árido, las rocas sedimentarias de Río Tinto se han formado en lechos de arroyos estacionalmente secos. Más aún, los precipitados de la cuenca del Tinto deben su origen a la oxidación biológica de sulfuros metálicos, como la pirita, formados fundamentalmente por actividad hidrotermal. Los espectros Mössbauer de los minerales depositados a lo largo de la cuenca del Tinto son muy similares a los obtenidos en Meridiani, proveyendo por lo tanto de un análogo geoquímico y mineralógico de los posibles procesos que las originaron. Los minerales de la cuenca del Tinto también documentan los efectos de su diagénesis, haciéndolos doblemente útiles en la comparación con los sedimentos de Meridiani. Como en la cuenca del Tinto, las efloraciones rocosas de Meridiani contienen hematites, pero a diferencia de las terrazas antiguas del río, las rocas de Meridiani son ricas en sulfatos, incluyendo sulfatos de hierro, que no se han retenido en las rocas sedimentarias de Río Tinto. Este hecho sugiere que la formación mineral y su diagénesis se dieron en Marte bajo condiciones extremadamente limitantes de agua.



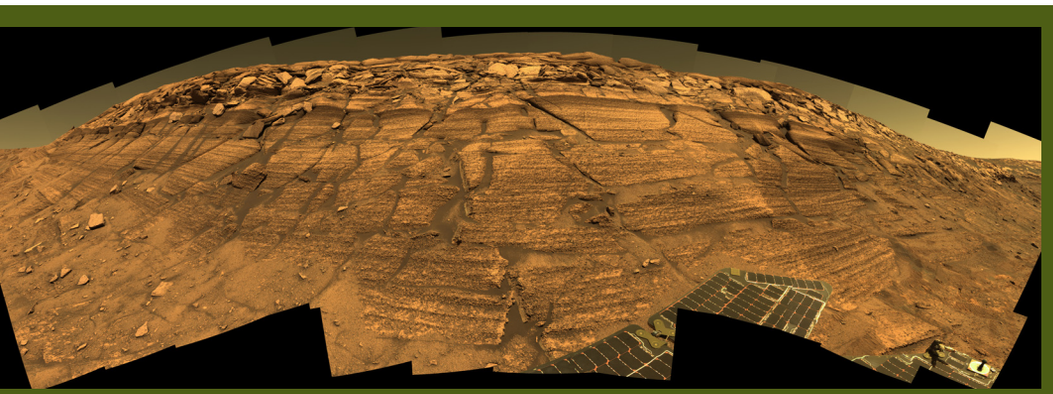
Arriba: fotografías de microscopio de distintas especies halladas en Río Tinto. (1) diatomeas; (2) Heliozoa *Actinophrys* sp. (Fuente: A. Aguilera). Debajo: Células activas de *Acidithiobacillus* (3) y *Acidiphilium* (4) detectadas por hibridación in situ a -544m y -612m de profundidad respectivamente (Crédito: M. Oggerin y C. Escudero).





Como hemos mencionado, diversos microorganismos son capaces de crecer en la cuenca del Tinto en condiciones ácidas y fuertemente oxidantes que, desde una perspectiva astrobiológica, son condiciones similares a las existentes en Meridiani y otras regiones ricas en hierro de Marte en la época en la que se depositaron las sucesiones sedimentarias ricas en sulfatos. Como consecuencia, Río Tinto permite enmarcar algunas de las expectativas biológicas de la exploración de Marte. Los depósitos sedimentarios de Río Tinto reportan aspectos físicos, químicos y biológicos del ecosistema, y estos indicadores persisten a través de su diagénesis, proveyendo una crónica geoquímica y geomicrobiológica de los procesos que se han dado en Río Tinto a lo largo de su historia. De igual manera, los afloramientos marcianos poseen un potencial similar de preservar el registro ambiental y biológico (si hubiera existido o existe vida en Marte).

Los resultados de la caracterización geomicrobiológica de la Faja Pirítica Ibérica en la zona de Río Tinto sugieren que los ecosistemas detectados en ese ambiente podrían tener éxito en Marte, sobre todo los que se dan en el subsuelo, donde estarían protegidos de las condiciones extremadamente oxi-



Arriba, imagen tomada por el rover Opportunity (NASA) de la pared interna el cráter Endurance, situado en la región Meridiani Planun.
A la derecha, visión aérea de Meridiani Planum. Fuente: ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO.

dantes que se dan en la superficie de Marte hoy día. El metabolismo microbiano subterráneo asociado a la oxidación de los sulfuros metálicos de la Faja Pirítica Ibérica es además capaz de producir metano, uno de los posibles indicadores atmosféricos de vida en Marte. Aunque el metano se puede producir abióticamente, más del 80% del metano de la atmósfera terrestre se produce biológicamente por acción de microorganismos (arqueas) metanogénicos. Estos microorganismos, con muy pocas excepciones, operan en hábitats que tienen tres propiedades físico-químicas comunes: pH neutro, condiciones de vida en ausencia de oxígeno (anaerobiosis) y un potencial redox negativo (el potencial redox es una medida de la actividad de los electrones, relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno). Estas condiciones son lo más opuesto a las que encontramos en Río Tinto.

La caracterización geomicrobiológica sugiere que los ecosistemas detectados en la zona de Río Tinto podrían tener éxito en Marte, sobre todo si se dan en el subsuelo

Poco después de la detección de metano en la atmósfera marciana, se inició un estudio sistemático en los sedimentos anóxicos (privados de oxígeno) de la cuenca del Tinto y en el subsuelo de la Faja Pirítica Ibérica con el fin de detectar actividad metanogénica en los mismos. En ambos casos se ha podido demostrar dicha actividad no solamente en cultivos de enriquecimiento, sino que se han podido detectar los microorganismos responsables por técnicas de hibridación in situ con sondas fluorescentes.

Como ya se ha mencionado, las condiciones físico-químicas de Río Tinto están muy alejadas de las condiciones óptimas que requieren las arqueas metanogénicas. ¿Cómo podemos explicar que se produzca biológicamente metano en condiciones que no lo deberían permitir? Esta aparente contradicción se puede resolver a nivel microscópico. En la columna de agua solo pueden desarrollarse aquellos microorganismos capaces de operar en las condiciones existentes en el medio. La generación en matrices semisólidas (sedimentos) o sólidas (rocas) de "micronichos" permite el desarrollo de microorganismos con requerimientos muy distintos a las condiciones globales del ecosistema o incluso antagónicas.

La presencia de metano en un ambiente oxidante controlado por el ion férrico tiene implicaciones importantes en la búsqueda de señales de vida en Marte. El argumento de que las condiciones ambientales de Marte no podrían permitir la actividad metanogénica y que, por lo tanto, el metano detectado en la atmósfera de Marte debe ser de origen geológico, queda en entredicho teniendo en cuenta los datos obtenidos en los sedimentos del Tinto y el subsuelo de la Faja Pirítica Ibérica. El rover *Curiosity* de la misión MSL, que se halla actualmente explorando el cráter Gale, no solo ha detectado metano en dicho entorno sino que además está equipado con un espectrómetro de masas capaz de medir su fraccionamiento isotópico, lo que podría ayudar a clarificar su origen.

El agua en estado líquido parece ser imprescindible para la vida que conocemos. Como ya se ha indicado, el agua es abundante en la cuenca del Tinto, tanto en la superficie como en el subsuelo. Por el contrario, debido a constricciones ambientales, el agua en Marte solo puede existir en la superficie como fase sólida (hielo) o en fase de vapor. Estudios climáticos de la evolución de la atmósfera de Marte indican que, durante el periodo Noachiano, la presión atmosférica debió ser lo suficientemente alta como para permitir la existencia de importantes cantidades de agua líquida que

La generación de matrices semisólidas o sólidas de "micronichos" permite el desarrollo de microorganismos con requerimientos muy distintos a las condiciones globales del ecosistema o incluso antagónicas

explicarían las distintas observaciones morfológicas de su superficie. Aun cuando hoy en día disponemos de distintos instrumentos orbitando el planeta, solo tenemos datos indirectos sobre la existencia de agua congelada en el subsuelo (permafrost), de agua-hielo en los polos y de soluciones hipersalinas en distintas zonas de Marte. Sin embargo, las imágenes de alta resolución así como los datos espectrales generados por distintos instrumentos orbitando alrededor del planeta o en su superficie sugieren la existencia de distintos episodios húmedos en la historia de Marte, algunos muy recientes. Aunque solo existe una posibilidad remota de que los minerales de hierro detectados en Marte sean el producto de la actividad quimiolitotrófica, la diversidad detectada en Río Tinto, con metabolismos compatibles con las condiciones existentes en Marte, permiten sugerir que en los lugares donde hayan confluido los sustratos minerales y el agua se haya desarrollado o, mejor aún, se esté desarrollando vida en el subsuelo del planeta. Sería muy deseable que tengamos en un futuro próximo una misión de perforación que permita explorar las condiciones físico-químicas que pudieran permitir el desarrollo de vida en el subsuelo de Marte o detectar su existencia pasada o presente. Para ello la experiencia ganada en el estudio de la geomicrobiología de la cuenca del Tinto será fundamental.

Un sondeo infrarrojo sin precedentes del centro de la Vía Láctea

EL CENTRO DE NUESTRA GALAXIA CONSTITUYE UN DESAFÍO PARA LAS TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN ACTUALES. EL PROYECTO GALACTIC NUCLEUS HA RECUPERADO UNA TÉCNICA PARA OBSERVARLO CON NITIDEZ DESDE TIERRA

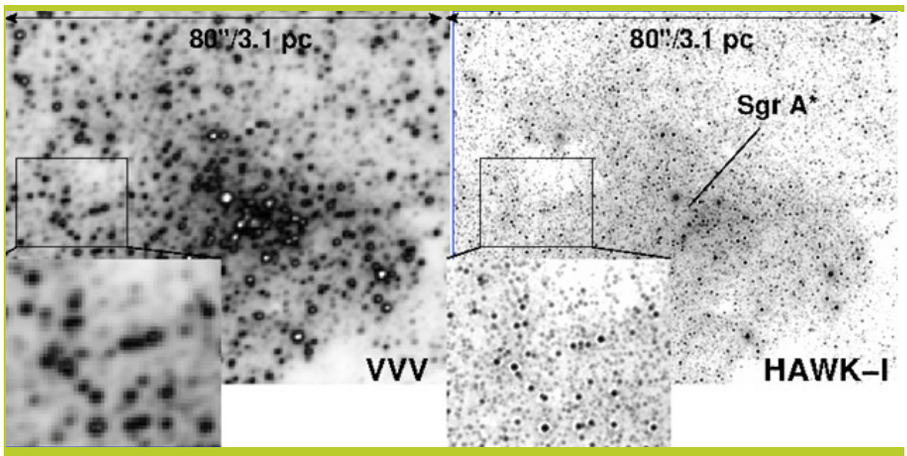
Por Rainer Shödel *(IAA-CSIC)*

EN EL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA RESIDE UN AGUJERO NEGRO MASIVO de unos cuatro millones de masas solares, que se halla rodeado de un denso cúmulo estelar que contiene unos veinticinco millones de masas solares en estrellas. Este cúmulo nuclear tiene unos veinte pársecs de diámetro (un pársec corresponde a 3,26 años luz y es la medida de distancia preferida de los astrónomos), y está embebido en una región muy densa de estrellas y de gas molecular que se conoce como disco nuclear, con un tamaño de unos quinientos pársecs. El centro galáctico es una región de superlativos: la densidad de estrellas puede ser desde cientos de miles a diez millones de veces más alta que en el entorno de nuestro Sistema solar; el campo magnético interestelar es más de cien veces mayor que en el resto de la Vía Láctea; y, finalmente, esa región contiene tres de los cúmulos jóvenes de estrellas más masivos conocidos en nuestra galaxia.

Se piensa que el centro galáctico es representativo para la mayoría de los núcleos de otras galaxias en el universo cercano. Pero los demás se hallan, como mínimo, unos cientos de veces más lejos de la Tierra. Por esta razón el centro galáctico juega un papel clave en la astrofísica, como un laboratorio único donde estudiar fenómenos como la formación estelar en entornos extremos o la interacción de estrellas con un agujero negro masivo. Por ejemplo, es el único lugar donde se han podido observar -y se están siguiendo- las órbitas de estrellas individuales alrededor del agujero negro central.

Desgraciadamente, el centro galáctico es un objeto que presenta importantes retos a la hora de observarlo. Nuestra línea de visión tiene que atravesar el gas y el polvo del disco galáctico y por esta razón la luz emitida en el núcleo de la Vía Láctea sufre una extinción y un enrojecimiento extremos. Solo uno de cada mil millones de fotones del rango del visible emitido en esta región alcanza la Tierra. Sin embargo,

Imagen de las regiones centrales de la Vía Láctea, que combina datos de los telescopios espaciales Hubble (en óptico), Spitzer (infrarrojo) y Chandra (rayos X). Sagitario A*, el agujero masivo central, se aprecia en la región blanca brillante en el centro a la derecha.
Fuente: NASA/JPL-Caltech/ESA/CXC/STScI



Comparación entre una imagen del centro galáctico (a unos 1.6 micrómetros de longitud de onda) procedente de uno de los grandes sondeos (VVV), a la izquierda, y de nuestro sondeo, a la derecha. Las estrellas más brillantes aparecen saturadas en la imagen de la izquierda (puntos blancos entre las estrellas). Los pequeños campos magnificados demuestran cómo podemos detectar del orden de diez veces más estrellas en nuestros datos.

en el infrarrojo la situación es más favorable, con uno de cada diez fotones alcanzándonos. Por esta razón, solo hemos podido explorar el contenido estelar del centro galáctico a partir de finales de los años 60 del siglo pasado, con el desarrollo de la astronomía infrarroja. Este área despegó en torno al año 2000, cuando los grandes detectores infrarrojos (de unos 1024 por 1024 pixeles) se hicieron por fin estándar en los observatorios astronómicos.

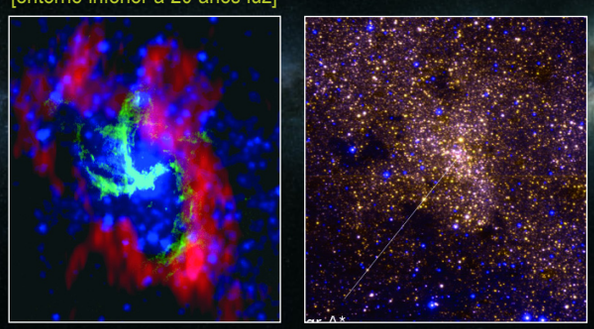
Estar limitado a observaciones en el infrarrojo significa que es muy difícil saber con certeza qué tipo de estrellas estamos viendo en el centro galáctico. Por ejemplo, algo que resulta trivial en otras regiones del cielo, como distinguir por sus colores entre una estrella fría, vieja y de pocas masas solares y una joven, caliente muy masiva, resulta muy difícil en el caso del centro de la Vía Láctea.

Además de estar limitado al infrarrojo, hay otra razón importante por la que el centro galáctico es una región subexplotada por parte de los grandes sondeos existentes: incluso los sondeos más modernos y adecuados (como VVV y APOGEE) están fuertemente limitados por la extrema densidad de las estrellas en dirección de Sgr A*. Esto conlleva dos efectos en gran detrimento de la calidad de datos. Por un lado, el gran brillo superficial produce que muchas estrellas brillantes o pequeñas regiones en su conjunto queden saturadas y no puedan ser estudiadas. Por el otro lado, se requiere una resolución angular, o nitidez, muy alta para las imágenes. Sin embargo, la turbulencia de la atmósfera actúa en detrimento de la calidad de las imágenes, de modo que no pueden separarse nítidamente estrellas que están más cercanas en el cielo que poco menos de un segundo de arco (sea cual sea el tamaño del telescopio usado).

Aunque este valor es unas sesenta veces mejor que la resolución que puede lograr el ojo humano, es casi veinte veces peor de lo que pueden alcanzar teóricamente los modernos telescopios con espejos principales de tamaños de entre ocho y diez metros de diámetro. Estos últimos se pueden equipar con una tecnología que se

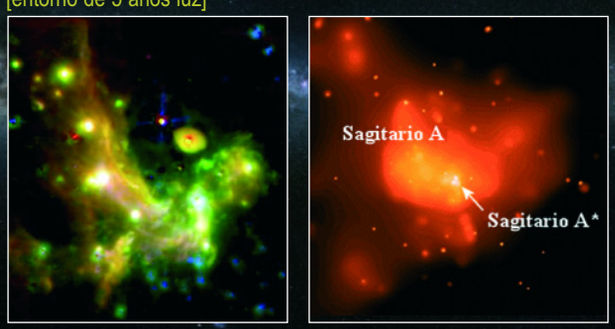
APROXIMÁNDONOS A SGRA*

[entorno inferior a 20 años luz]



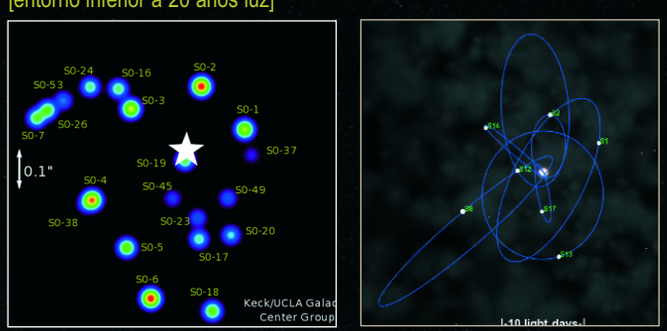
Izda: combinación de distintas longitudes de onda. Rojo (radio): gas molecular *(BIMA)*; Verde (radio): gas ionizado *(VLA)*; Azul (infrarrojo): estrellas *(Spitzer)*. Derecha: 20.000 fuentes puntuales y luz difusa vistas en el infrarrojo *(ISAAC/VLT)*

[entorno de 5 años luz]



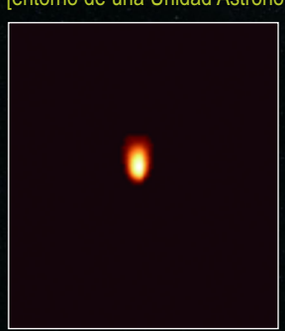
Entorno de Sagitario A*. Izda: imagen en nfrarrojo medio que muestra polvo *(VISIR/VLT)*. Dcha: rayos X, que trazan el gas caliente *(Chandra)*.

[entorno inferior a 20 años luz]



Estrellas más próximas a SgrA*, con sus correspondientes órbitas. *(Keck/UCL)*

[entorno de una Unidad Astronómica]



Observando con VLBI a una longitud de onda de 1,3 milímetros, se ha determinado que el tamaño de SgrA* es inferior a 0,3 UAs (una UA es equivalente a la distancia que separa la Tierra del Sol).

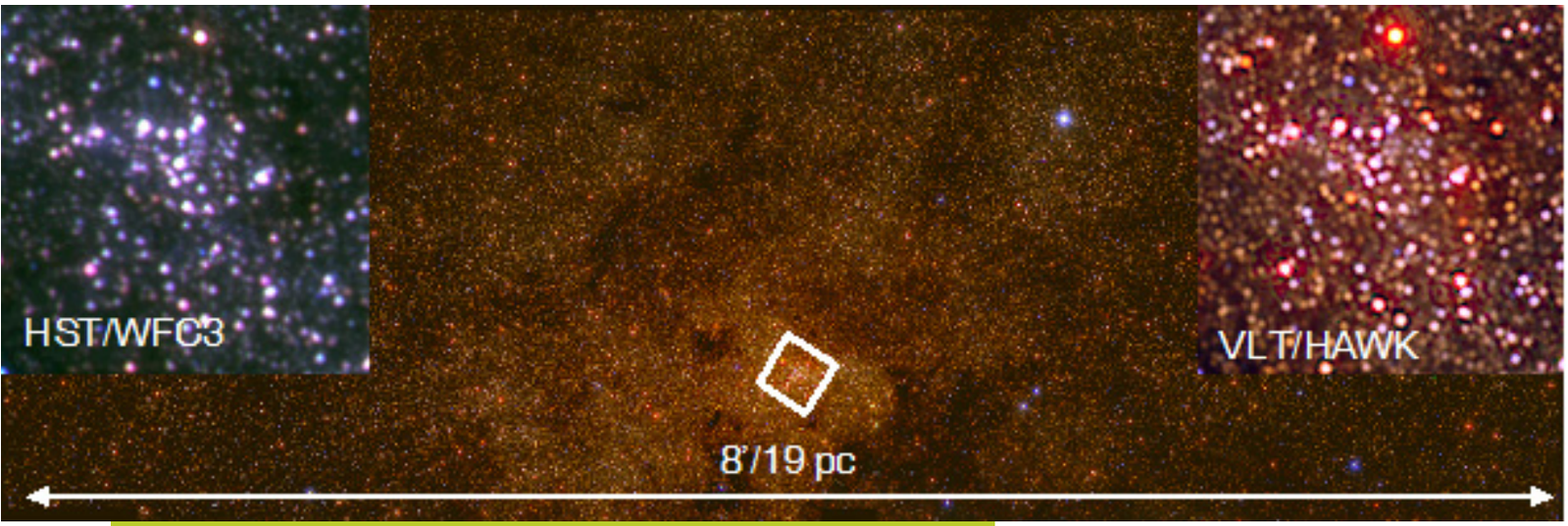


Imagen de una región en el centro galáctico que ha resultado de nuestro sondeo con HAWK-I/VLT. Los colores no son reales porque todos los datos fueron tomados en el infrarrojo (azul - 1.26 µm, verde - 1.62 µm, rojo - 2.15 µm). Las pequeñas imágenes muestran zooms de la región central marcada con un cuadro blanco. A la izquierda, con el telescopio espacial Hubble; a la derecha nuestros datos.

llama óptica adaptativa (OA) que les permite obtener imágenes casi perfectas, como si fueran colocadas en el espacio. Entonces nos podemos dar cuenta de que en un círculo de un segundo de arco de radio podemos detectar varias decenas de estrellas.

Sin embargo, existen unas importantes limitaciones en cuanto al uso práctico de la óptica adaptativa para estudiar campos mayores que unas decenas de segundos de arco (como comparación, la luna llena tiene un diámetro de unos treinta minutos o mil ochocientos segundos de arco). La corrección de un campo con la gran mayoría de los sistemas de óptica adaptativa existentes resulta en una gran variación de la nitidez a través de las imágenes tomadas. Además, la óptica adaptativa funciona peor a ondas de luz relativamente cortas y requiere que una estrella brillante esté colocada dentro del campo que se observa -y, dado el tamaño pequeño de los campos, este requisito solo se cumple para unos 10% del centro galáctico-.

Por estas razones, nuestro proyecto se basa en otra técnica, más antigua, de obtener imágenes nítidas desde la superficie de la Tierra. Tomando series rápidas de cientos de exposiciones cortas (de un segundo o menos) se puede recuperar a posteriori la información completa sobre el campo observado con procesamiento numérico en ordenadores. Esta técnica, llamada *speckle imaging* en inglés, requiere, sin embargo la posibilidad de captar y almacenar grandes cantidades de datos (unos cien veces más que con procedimientos más convencionales), una gran capacidad de computación y, por último, conocer de algún modo qué forma tiene la imagen de una estrella (un objeto puntual) en cada imagen en cada momento. Gracias al rápido progreso de la microelectrónica, los primeros dos requisitos no presentan grandes obstáculos hoy en día. Sin embargo, el último requisito era la clave porque el *speckle imaging* nunca fue aplicado a grandes escalas. Combinando varias técnicas de procesamiento de imágenes astronómicas ya existentes se podía solucionar el último problema. Esto abrió el camino a estudiar el centro de nuestra Galaxia a grandes escalas y en todo el rango infrarrojo con varias cámaras infrarrojas ya existentes en telescopios terrestres.

La densidad de estrellas en el centro galáctico puede ser desde cientos de miles a diez millones de veces más alta que en el entorno de nuestro Sistema Solar

Basándome en esta metodología propuse liderar un gran sondeo multifiltros del centro de la Vía Láctea al Consejo Europeo de Investigación (ERC), que me otorgó uno de sus prestigiosos *Consolidator Grants* para este proyecto. Empezamos en febrero 2014 y estamos a mitad del proyecto. Para empezar, logramos que el Observatorio Europeo Austral (ESO) nos concediera ciento sesenta horas de tiempo de observación con la cámara infrarroja HAWK-I, instalada en uno de sus telescopios VLT (*Very Large Telescope*). En la imagen superior vemos una de las primeras imágenes obtenidas. Una comparación con lo que puede hacer el telescopio espacial Hubble (HST) demuestra la gran calidad de nuestros datos (el telescopio espacial Hubble, desgraciadamente, solo sirve en parte para nuestro trabajo porque no puede observar en todas las longitudes de onda que necesitamos cubrir). Sin embargo, para las tres horas de observación en las que se basa la imagen, se necesita aproximadamente una semana de trabajo y tiempo de computación en un servidor de última generación.

Los datos de nuestro sondeo nos llegan desde el verano del año pasado (solo se puede observar el centro galáctico en el verano del hemisferio norte). Complementamos nuestro sondeo con datos de archivo y observaciones puntuales tanto del Hubble como de otros instrumentos de los telescopios VLT de ESO. Con nuestro grupo establecido, fondos seguros y los datos entrando en grandes cantidades estamos a punto de revelar una visión nueva del centro de nuestra Vía Láctea. Según algunas estimaciones conocemos menos de un 10% de todos los cúmulos jóvenes de estrellas que deberían existir en esta región. Esto se debe a que, por las fuerzas de marea extremas, estos últimos se disuelven rápidamente en el centro galáctico de tal manera que no destacan sobre la alta densidad ambiental de estrellas. Sin embargo, con nuestros datos vamos a poder identificar los remanentes de estos cúmulos y revelar la historia reciente y la tasa de formación estelar cerca del agujero negro central de la Vía Láctea. Otra cuestión fundamental que podremos estudiar es la relación e interacción mutua del agujero negro con el disco y el cúmulo nucleares. Finalmente, tenemos la esperanza de detectar lo inesperado, lo que casi siempre ocurre cuando el ser humano se asoma a lo desconocido.

Un extraterrestre en mi ventana

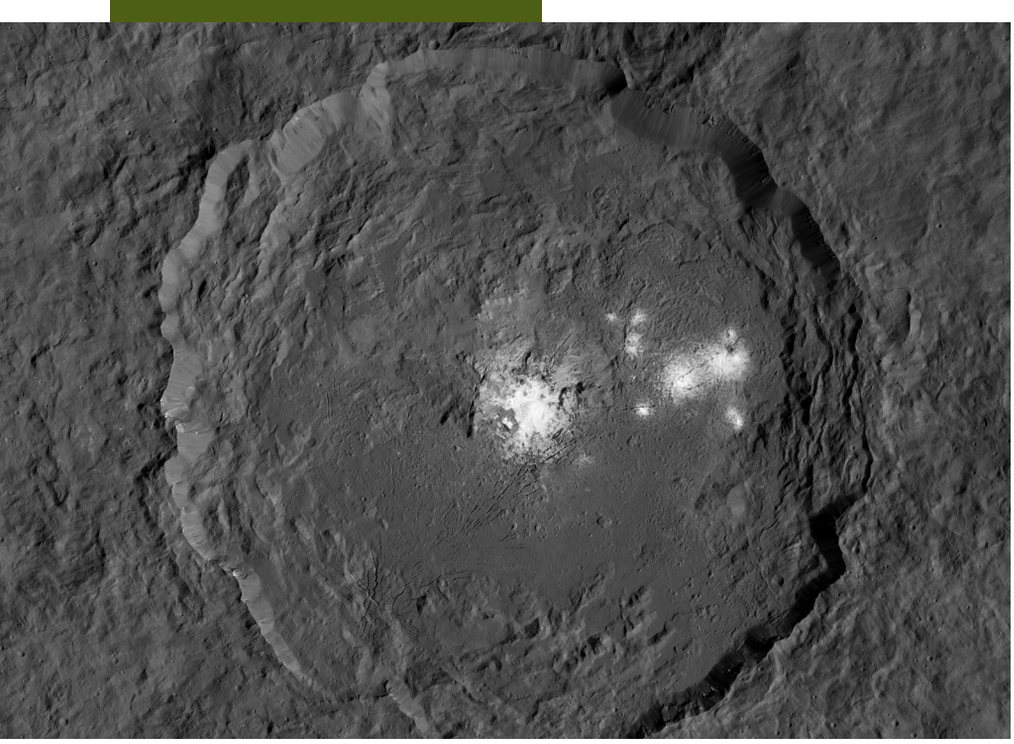
LA BÚSQUEDA DE VIDA EN OTROS PLANETAS CONSTITUYE UN DESAFÍO Y, EN OCASIONES, UNA FUENTE DE SUPUESTOS HALLAZGOS QUE NO PROCEDEN DEL ENTORNO CIENTÍFICO Y NUNCA SE CONFIRMAN

Por Enrique Pérez Montero *(IAA–CSIC)*

LA BÚSQUEDA DE VIDA FUERA DEL PLANETA TIERRA constituye hoy en día una de las líneas de investigación de mayor impacto mediático y que más atención suscita entre los propios investigadores. Su descubrimiento implicaría el derribo del último gran pedestal sobre el que el orgullo del ser humano se sustenta, ya que el planeta que lo alberga pasaría de ser algo especial, el único conocido que es capaz de albergar formas de vida, a ser uno entre muchos otros.

La mayoría de los científicos, aunque sea por una mera cuestión de estadística dada la vastedad del cosmos, está convencida desde hace tiempo de que hay vida en muchos otros lugares del universo, pero este convencimiento no puede alcanzar la categoría de conocimiento seguro en tanto no se encuentren las evidencias que lo demuestren de manera inequívoca y excluyendo los meros indicios.

Es probable que el siglo XXI suponga el momento de la historia en que la ciencia pueda dar ese paso tan crucial y eso a veces provoca que haya, en la comunidad científica y en la sociedad en general, una cierta ansiedad y un revuelo algo exagerado cuando aparece alguna noticia en la dirección de que se han encontrado indicios de algo inexplicable apelando solo a fenómenos naturales. No es que se pueda decir que esa tendencia a ver extraterrestres donde no los hay sea algo solo propio de nuestra época, como muestra la búsqueda a últimos del siglo XIX y principios del XX de una civilización extraterrestre en Marte que fuera responsable de la construcción de los canales que el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli creyó observar con su telescopio. A pesar de todo esas búsquedas no son vanas, como demuestra el que el planeta enano (antes planeta) Plutón fuera descubierto con un telescopio financiado por el magnate americano Percival Lowell para buscar esos mismos marcianos. La equiparación entre extraterrestre y marciano que a veces se produce en el lenguaje viene precisamente de aquellos años.

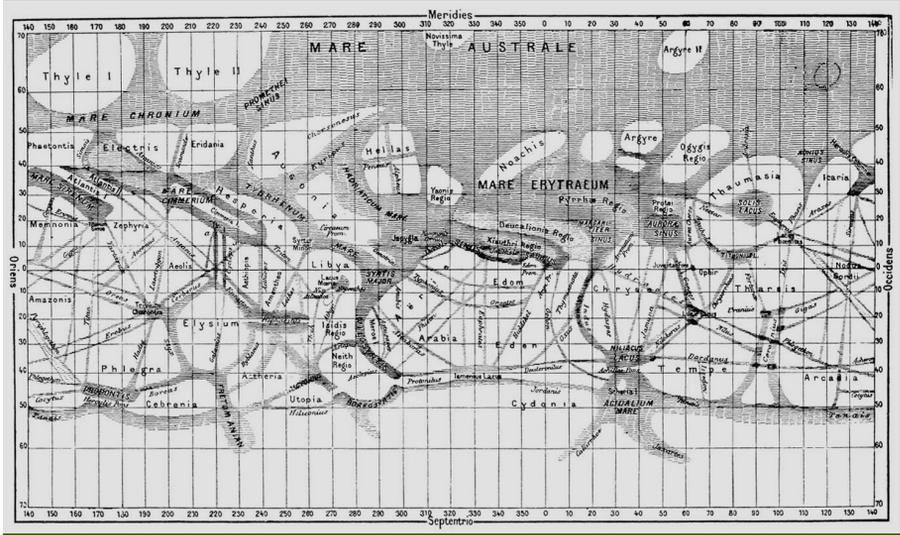


Regiones brillantes en uno de los cráteres del planeta enano Ceres. Fuente: NASA/JPL-Caltech /UCLA/ MPS/DLR/IDA/PSI

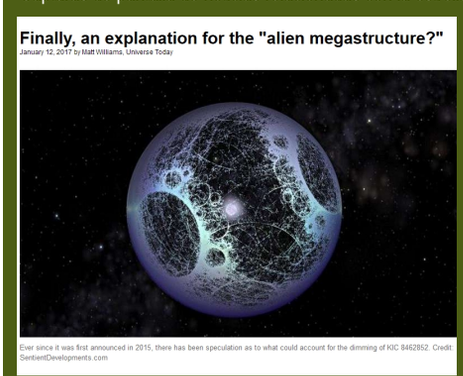
No obstante, hoy en día sabemos que estamos realmente cerca de cruzar ese umbral lo que, unido a la inmediatez y a la proliferación de las noticias y a su rápida difusión por las redes sociales, conduzca a algunos chascos. En los últimos meses, por ejemplo, se ha especulado con todo tipo de teorías sobre civilizaciones extraterrestres en la superficie del cercano planeta enano (antes catalogado como asteroide) Ceres, el mayor cuerpo del cinturón de asteroides, más allá de la órbita de Marte. Este cuerpo ha recibido la visita de la sonda *Dawn* (NASA), que ha enviado innumerables imágenes de su superficie. Cuando se vieron extrañas luces en el interior de algunos de sus cráteres, algunos se lanzaron a especular sobre ciudades y bases de lanzamiento. La explicación más plausible, sin embargo, es la existencia de sales de magnesio y de neblinas de vapor de agua que surgen cuando la luz solar incide directamente sobre el fondo de estos cráteres.

Otro ejemplo reciente notable de polémica sobre el hallazgo de evidencias que muestren la existencia de civilizaciones extraterrestres lo ha proporcionado el estudio de la estrella KIC 8462852. El cambio en el brillo de esta estrella situada a unos 1500 años luz de la Tierra fue seguido por el satélite Kepler, que es responsable del descubrimiento de la mayoría de planetas extrasolares. Los cambios en el flujo de luz de esta estrella son de hasta un 20%, lo que sobrepasa holgadamente las variaciones de luz ocasionadas por el tránsito de un planeta. Enseguida se especuló con que lo que hacía variar el brillo de este astro era

Ilustración de los canales que el astrónomo Giovanni Schiaparelli creyó observar con su telescopio.



Capturas de pantalla de noticias relacionadas con la estrella KIC 8462852.



la existencia de una llamada esfera de Dyson, una megaestructura artificial construida por una civilización avanzada en torno a la estrella con el fin de recoger de manera eficiente su luz. Otras explicaciones han sido sugeridas, como la presencia de nubes de polvo o de cometas que oscurecen la estrella, pero eso no ha impedido un seguimiento especial de este objeto por parte del proyecto SETI de la NASA. Este se encarga de la búsqueda de vida inteligente extraterrestre mediante señales de radio. Por el momento, no parecen haberse encontrado indicios de señales de radio específicas que pudieran ser emitidas por una civilización alienígena, aunque aún no ha sido descubierta la causa de los cambios de brillo tan bruscos de esta estrella.

Precisamente en el ámbito de las señales de radio de origen no natural es donde se ha producido la más reciente polémica relacionada con el hallazgo de evidencias de vida extraterrestre inteligente. Un equipo de radioastrónomos rusos hizo pública la recepción de una señal procedente de la estrella HD164595, muy parecida a nuestro Sol y situada a unos noventa y cinco años luz de la Tierra y cuyo origen no podía ser atribuido a causas naturales. En torno a dicha estrella se había descubierto ya un planeta del tamaño de Neptuno y no se descarta la presencia de otros cuerpos. No obstante, el mismo equipo de científicos no logró repetir la observación del mismo pulso u otros similares. Tampoco fueron capaces de lograrlo los radiotelescopios del proyecto SETI una vez hechos públicos los datos del equipo ruso. Finalmente, ha trascendido que el origen más probable de la señal detectada es el de una interferencia de un satélite militar, ya que la banda en que se produjo la detección suele ser usada para estos fines sin el conocimiento de la sociedad civil. En todo caso aún es necesaria una confirmación definitiva del origen de la señal.

No cabe duda de que en muchas ocasiones los periodos de tiempo que los científicos necesitan para aceptar como ciertas las explicaciones de ciertos fenómenos insólitos observados rebasan con mucho los de la especulación y difusión de otras explicaciones más impactantes, como suele ser el de la existencia de vida extraterrestre. En todo caso, también están trascendiendo otros resultados más sólidos que apuntan a que la vida puede ser algo habitual en el universo sin llegar a ser por eso evidencias directas. Entre ellos, el descubrimiento de un planeta de un tamaño similar a la Tierra en la zona habitable de la estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri, a solo cuatro años luz. Aunque en la última década el avance considerable en la cantidad de planetas extrasolares descubiertos nos hace sospechar que la mayoría de los miles de millones de estrellas de nuestra galaxia poseen planetas, este nuevo hecho apunta a que una gran cantidad poseen también planetas de tipo rocoso en la zona habitable. Esto supone que en ellos podría encontrarse agua líquida, uno de los componentes principales de la vida, tal como la concebimos en nuestro planeta.

También muy recientemente se han encontrado vestigios fósiles merced al progresivo deshielo en Groenlandia, que adelantan el comienzo de la vida en la Tierra a hace tres mil setecientos millones de años, doscientos millones antes que los considerados hasta ahora como más antiguos. Este descubrimiento tiene una implicación interesante, ya que apuntaría a que la vida se desarrolló en la Tierra en un lapso mucho más breve de lo pensado, teniendo en cuenta que hasta hace unos cuatro mil millones de años la Tierra no dejó de sufrir un incesante bombardeo de meteoritos y planetesimales que la convertían en un mar de magma. Si la vida fue capaz de desarrollarse en un relativamente breve periodo tras la formación de la Tierra, esto podría indicar que no es tan raro que también se desarrolle en otros lugares.

Así pues, las evidencias científicas apuntan cada vez más de manera abrumadora a que la vida es algo frecuente y, sobre todo, difícil de aniquilar una vez comenzada, pero aún nos queda ese último peldaño por subir que sirva de confirmación definitiva de la presencia de formas de vida en otros planetas. Entre tanto, conviene siempre no dejarse llevar por la mera especulación ante indicios de fenómenos naturales no explicables de manera sencilla, aunque sea algo inevitable encontrar algunos que afirmen haber visto por la noche algún extraterrestre en su ventana.

LOS RELÁMPAGOS

SE ESTIMA QUE, CADA SEGUNDO, SE PRODUCEN UNOS CINCUENTA RELÁMPAGOS EN LA ATMÓSFERA TERRESTRE. EN SU DESCENSO, LOS RAYOS AVANZAN EN UNA SERIE DE SALTOS DISCONTINUOS CUYO ORIGEN SE IGNORA. TAMPOCO SE COMPRENDE POR QUÉ, AL PROPAGARSE, LOS RAYOS EMITEN PULSOS DE MUY ALTA ENERGÍA, O QUÉ ES LO QUE PRODUCE UN FENÓMENO CONOCIDO COMO "DESTELLOS TERRESTRES DE RAYOS GAMMA" RELACIONADOS CON LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS.
LA INSTRUMENTACIÓN ACTUAL NO NOS PERMITE RESOLVER LAS ESCALAS ESPACIALES NECESARIAS PARA INVESTIGAR ESTOS PROCESOS. POR ESO MI PROPUESTA SE BASA EN USAR TÉCNICAS COMPUTACIONALES AVANZADAS, ES DECIR, EN USAR UN ORDENADOR A MODO DE MICROSCOPIO QUE NOS DESVELE LOS PROCESOS FÍSICOS INVOLUCRADOS EN EL AVANCE DE UN RAYO

1 LA PRIMERA EXPLICACIÓN

En 1752 Benjamin Franklin realizó el famoso experimento en el que voló una cometa bajo una tormenta y observó la aparición de pequeñas chispas eléctricas en una llave atada al cordel. Desde entonces sabemos con toda seguridad que los rayos de una tormenta son fenómenos eléctricos. La descripción que encontramos en los libros de texto es sencilla: en la vigorosa convección de una nube tormentosa los granos de hielo y nieve colisionan y adquieren cargas eléctricas opuestas. Debido a su diferente peso los granos más ligeros, cargados positivamente, ascienden en la corriente convectiva mientras los más pesados, con carga negativa, quedan en la partes bajas de la nube. La separación de cargas crea un campo eléctrico que, cuando es suficientemente intenso, inicia una descarga bien dentro de la nube o bien entre la nube y el suelo.
Esta explicación es bastante satisfactoria y, de hecho, contentó a los estudiosos de la electricidad atmosférica desde los tiempos de Franklin hasta bien entrado el siglo XX. Sin embargo, como en otros campos de la ciencia, también en el estudio de la electricidad la introducción de mejores instrumentos de medida condujo a observaciones inesperadas y mostró que la descarga de un rayo es un fenómeno extremadamente complejo en cuyos procesos físicos apenas hemos penetrado. El estudio de un rayo nos lleva desde el electromagnetismo clásico a la física de altas energías y de sistemas complejos. Por otro lado, las investigaciones sobre electricidad atmosférica no se detienen en las descargas provenientes de una nube tormentosa sino que viajan también a capas altas de la atmósfera terrestre e incluso a otros planetas de nuestro Sistema Solar.

Ilustración del experimento de Franklin. Fuente: Pennsylvania State University.

2 INCÓGNITAS

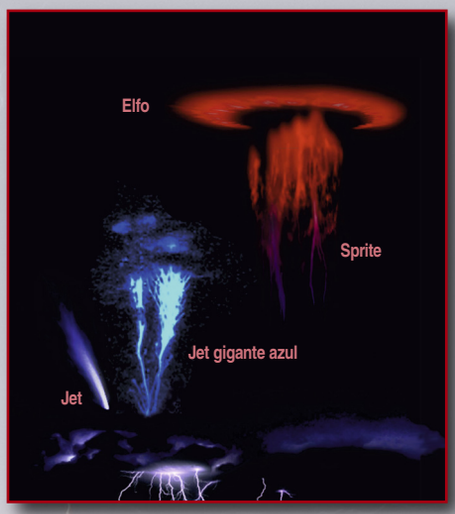
Comencemos por la forma en la que un rayo avanza desde la nube hacia el suelo. En los años 30 del siglo XX, gracias a la introducción de cámaras de barrido, cuyo negativo gira a gran velocidad, se descubrió que la mayoría de los rayos no se propagan de forma continua sino que alternan saltos y pausas de algunas millonésimas de segundo.
Actualmente no existe ninguna explicación clara para este fenómeno. Además, ya en nuestro siglo XXI, una nueva observación añadió misterio a este comportamiento: junto a cada uno de estos saltos un rayo emite pulsos de rayos X. Y aquí va otro misterio: en ciertas ocasiones, una tormenta emite pulsos aún más energéticos que los rayos X, en el rango de la radiación gamma. Y estas radiaciones son tan intensas que se detectan de forma rutinaria con satélites que orbitan nuestro planeta a cientos de kilómetros de altura y que fueron diseñados para buscar emisiones gamma originadas fuera de nuestra galaxia. Los pulsos de rayos gamma convierten a las tormentas eléctricas en los más potentes aceleradores de partículas naturales existentes en nuestro planeta.

por Alejandro Luque (IAA-CSIC)

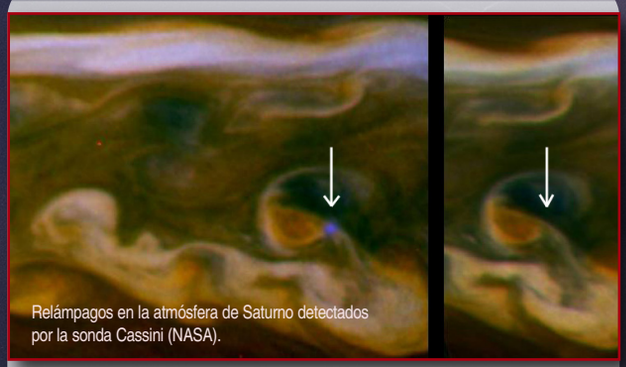
3 RAYOS EN LAS ALTURAS

Pero las sorpresas que nos han dado los rayos no se limitan a su propagación. También hemos descubierto que los rayos son los progenitores de una familia numerosa en capas altas de nuestra atmósfera. En la noche del 5 al 6 de julio de 1989, un grupo de investigadores de la Universidad de Minnesota, dirigidos por John R. Winckler, probaba una cámara que iba a ser instalada en un cohete para investigar la atmósfera. Por azar apuntaron la cámara hacia un fragmento claro del cielo sin dar importancia a que, bajo él, en el horizonte, se vislumbraban nubes de una tormenta cientos de kilómetros al norte. Al observar su grabación descubrieron que dos de sus fotogramas mostraban intensas emisiones luminosas a gran altura. Ahora sabemos que Winckler y su equipo cazaron imágenes de lo que hoy llamamos un duende, una enorme descarga situada entre cincuenta y noventa kilómetros de altura que dura unas milésimas de segundo.

Los duendes se deben al campo eléctrico producido por la carga que permanece en una nube tras un rayo. Puesto que es más fácil iniciar una descarga eléctrica en la atmósfera enrarecida a gran altura, este campo, aunque pequeño, es suficiente para iniciar un duende. Y los duendes no son los únicos "descendientes" de un rayo: en las últimas décadas también se han observado otros seres igualmente enigmáticos: los elfos son emisiones ópticas con forma de rosquilla creadas a unos cien kilómetros de altura por el pulso electromagnético de un rayo, los chorros azules son descargas que ascienden desde la parte superior de una nube hasta unos cuarenta kilómetros y los hermanos mayores de la familia, llamados "gigantes", combinan un chorro azul y un duende con lo que conectan las nubes y la ionosfera, abarcando casi noventa kilómetros de altura.



4 EN EL SISTEMA SOLAR



Relámpagos en la atmósfera de Saturno detectados por la sonda Cassini (NASA).

Pero, como dijimos antes, el estudio de la electricidad atmosférica también nos lleva a otros planetas del Sistema Solar. Las primeras evidencias de rayos fuera de la Tierra las enviaron las sondas Voyager, que fueron lanzadas a finales de los años 70 para explorar los confines del Sistema Solar. A su paso por Júpiter estas sondas tomaron fotografías de su lado oscuro en las que los rayos se destacaban como puntos luminosos. También en Saturno los rayos se dejaron retratar, en este caso por la sonda Cassini, que así confirmó indicios obtenidos a partir de señales de radio. El caso de Venus es algo más controvertido, ya que aunque algunos investigadores identifican cierto ruido electromagnético con la presencia de descargas eléctricas, aún no han podido obtenerse señales ópticas claras. La sonda japonesa Akatsuki, que desde hace unos meses orbita este planeta, cuenta con una cámara de alta velocidad con la que esperamos que resuelva esta controversia.

COMO HEMOS VISTO, A PESAR DE QUE HAN TRANSCURRIDO CASI TRES SIGLOS DESDE QUE FRANKLIN ESTABLECIERA SU NATURALEZA ELÉCTRICA, ES AÚN MUCHO LO QUE IGNORAMOS SOBRE LOS RAYOS. RECIENTEMENTE EL CONSEJO EUROPEO DE INVESTIGACIÓN (ERC) HA SUBVENCIONADO UN PROYECTO QUE SE DESARROLLARÁ EN EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA DEL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC) Y QUE BUSCA RESOLVER ALGUNOS DE LOS MISTERIOS QUE HEMOS MENCIONADO. LA HERRAMIENTA SERÁ LA COMPUTACIÓN NUMÉRICA: ESPERAMOS QUE LA SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS ELEMENTALES QUE YA ENTENDEMOS NOS PERMITA ELUCIDAR PROCESOS MÁS COMPLEJOS, COMO LA PROPAGACIÓN A SALTOS DEL RAYO Y LAS EMISIONES DE ALTAS ENERGÍAS. CURIOSAMENTE, HOY DISPONEMOS DE POTENTES ORDENADORES GRACIAS A LAS INVESTIGACIONES SOBRE ELECTRICIDAD QUE INICIARON FRANKLIN Y OTROS. RESULTA INSPIRADOR QUE AHORA USEMOS UN ORDENADOR PARA PROSEGUIR EL ESTUDIO DE LOS RAYOS DEL QUE ÉL FUE PIONERO.

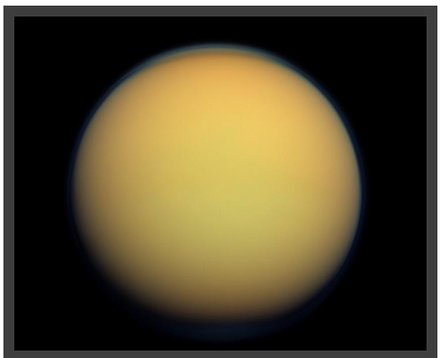
...José Juan López Moreno (IAA)

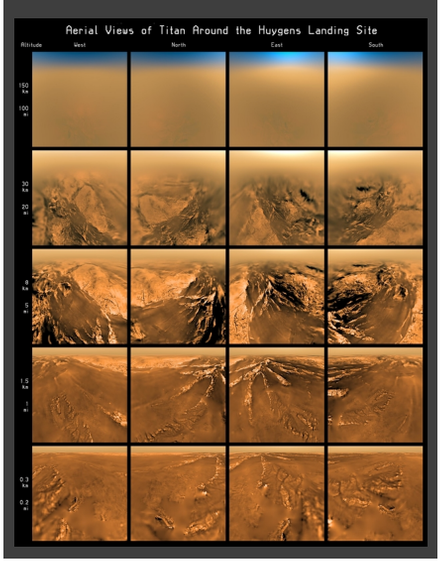
Titán

Natural de Jaén, pertenece a la primera promoción de Astrofísica de la Universidad Complutense. Doctorado en Granada, es Profesor de Investigación en el IAA. Ha participado en varias misiones espaciales entre las que destacan *Mars Express*, *Cassini-Huygens*, *Rosetta* y *Exomars*.

Han sido varios los Moby Dick que he vislumbrado en el horizonte a lo largo de mi ya larga travesía por el mar de la investigación. Unos más cercanos y pequeños y otros muy grandes y en apariencia tan lejanos que daba hasta miedo pensar que un día llegaría hasta ellos. Uno de estos gigantes es Titán, el satélite más grande del sistema de Saturno y el que más misterios esconde tras su infranqueable cobertura de nubes y nieblas.

En efecto, Titán, un poco más pequeño que Ganímedes pero mayor que Mercurio y mucho mayor que nuestra Luna, desde hacía muchísimos años había atraído la atención de los científicos. Un astrónomo catalán, Josep Comas i Solà, lo observó en 1907 y creyó detectar un obscurecimiento de su brillo en el limbo, lo que le hizo pensar que estaba rodeado de una atmósfera. Era, por tanto, el primer satélite conocido con atmósfera. Más adelante, en 1944, con el desarrollo de la espectroscopía, Gerard Kuiper detectó la presencia de metano en su atmósfera en una gran proporción (superior el 1%); se trata de una atmósfera muy densa y formada, al igual que la de la Tierra, mayoritariamente por nitrógeno molecular. Estos dos hechos, unidos al desarrollo de modelos termodinámicos, indicaban que la atmósfera de Titán era, con mucho, la más parecida a la de la Tierra y que, debido a su situación en el Sistema Solar, nueve veces más lejos del Sol que la Tierra, sus condiciones podían reflejar la situación de la atmósfera de la Tierra en los inicios de su formación.





Arriba: el satélite Titán y su densa capa de nubes *(NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute)*. Debajo: vistas de Titán desde la misión Cassini-Huygens (ESA/NASA/JPL/University of Arizona).

El estado líquido

Los modelos termodinámicos indicaban que, en las condiciones de presión y temperatura en su superficie (1,5 atmósferas y 178 grados bajo cero), el etano y el metano podrían encontrarse en forma líquida en su superficie. Este hecho, insólito en el Sistema Solar, indicaba que Titán era, junto a la Tierra, el único lugar del Sistema Solar en el que se podría encontrar algún compuesto en estado líquido. El estado líquido es un raro estado de la materia, tan raro que en la superficie de la Tierra solamente el agua y el mercurio son estables, y el agua debido a que las reservas en forma de océanos son enormes y a que la atmósfera permite el desarrollo de una meteorología que hace que la casi totalidad de agua evaporada vuelva a su superficie. Pero el estado líquido de la materia, aparte de su rareza, presenta unas condiciones de reactividad química muy superiores a las de cualquiera de los otros estados (sólido y gaseoso). Esa reactividad, en el caso del agua líquida, ha permitido el desarrollo en la superficie de la Tierra de una química tan compleja que derivó en la aparición de la vida.

El hecho de que en la superficie de Titán se den las condiciones que permiten la presencia de metano y etano en estado líquido nos permite especular con la posibilidad de que en su superficie se puedan estar produciendo reacciones químicas que generen compuestos cada vez más complejos en lo que se ha llamado una química prebiótica. Sus condiciones de presión y temperatura también permiten la presencia en su atmósfera de una meteorología similar a la que ocurre en la atmósfera terrestre, pero siendo el metano el que juega el papel del agua. El metano se evapora, se condensa y vuelve en forma de lluvia a la superficie. Otra fascinante analogía con nuestro planeta.

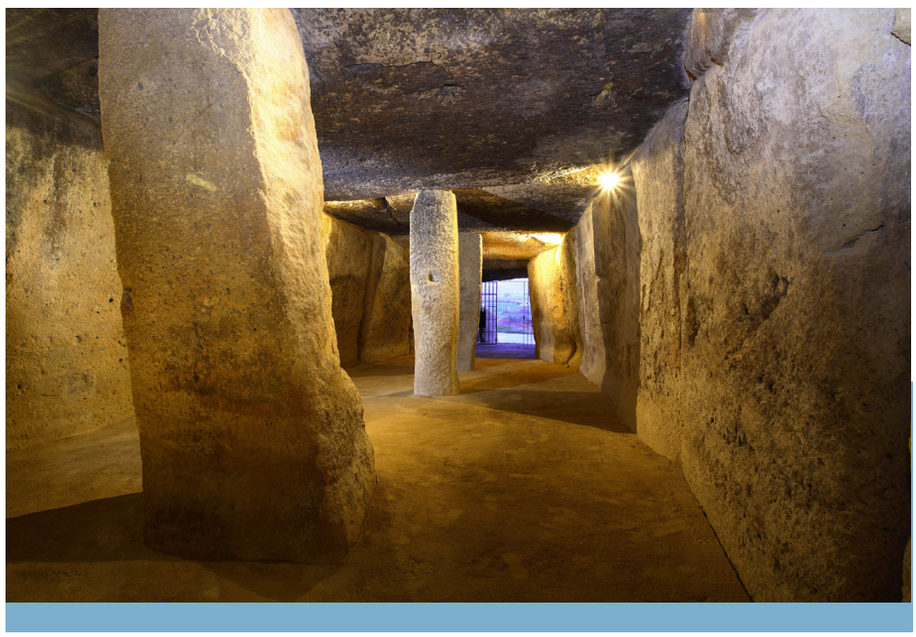
La fascinación que ofrece Titán, su densa atmósfera y su escondida e interesante superficie, llevó a la NASA y a la ESA al diseño de una misión, Cassini-Huygens, que incluía el envío de una sonda equipada con instrumental que atravesara la atmósfera de Titán y aterrizara en su superficie.

Tuve la gran suerte de participar en el consorcio que, liderado por Marcello Fulchignoni, propuso a NASA y ESA la inclusión del instrumento HASI (*Huygens Atmosphere Structure Instrument*) en la sonda Huygens. El Instituto de Astrofísica de Andalucía se responsabilizó del desarrollo de los subsistemas de HASI destinados al estudio de las propiedades eléctricas de la atmósfera de Titán. El instrumento, además de medir la conductividad y permitividad de la atmósfera desde la entrada hasta la superficie, incluía detectores de actividad eléctrica e incluso un micrófono que registraría los ecos (truenos) derivados de una posible actividad tormentosa en Titán durante el descenso.

El desarrollo en los laboratorios y talleres del IAA del instrumento, a lo largo de varios años de un trabajo estresante y maravilloso nos permitió ver a HASI salir hacia Titán el 15 de octubre de 1997. Casi siete años después, el 14 de enero de 2004, Huygens descendía, atravesando la densa atmósfera de Titán hasta su superficie. Nuestro instrumento funcionó a la perfección durante todo el descenso y siguió midiendo durante las dos horas siguientes al aterrizaje. Un final feliz y la realización de un sueño. Quizá mi Moby Dick más glorioso.

Tres viajeros y un dolmen

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA)



El rey

El 15 de enero de 1885, el rey Alfonso XII llega a la ciudad malagueña de Antequera. Él y su séquito llevan cerca de una semana visitando las zonas damnificadas por el terrible terremoto que el día de navidad había afectado a las provincias de Granada, Jaén y Málaga con más de un millar de fallecidos y numerosos pueblos derruidos.

Allí se aloja en la residencia de campo propiedad del político antequerano Romero Robledo, por entonces ministro de gobernación. Quizás no de manera casual, este invita al monarca a visitar una cueva situada en uno de los olivares del noble local Manuel Ramón Zarco. La cueva se usa de aprisco de cabras y ante la llegada del rey deben limpiarla del estiércol acumulado pero, a pesar de esto, el rey queda fascinado por la colosal arquitectura de piedra que conforma la pared y techo de la cueva: ¿qué gentes fueron capaces de trasladar y mover esas gigantes moles de piedra? ¿con qué fin?

A partir de este momento, el monarca impulsa la compra del monumento por la cantidad veinticinco mil pesetas, así como la declaración de este como Monumento Nacional, consiguiéndose ambas cosas en 1886.

La cueva es un dolmen, el dolmen de Menga, un yacimiento neolítico de más de seis mil años y uno de los más grandes y mejor conservados de toda Europa.

La viajera

Más de treinta años antes, otra visitante ya había quedado fascinada por la cueva de Menga.

Mary Louise Tenison, perteneciente a la nobleza británica, escritora y viajera empedernida, con apenas treinta y tres años recorre las exóticas tierras castellanas y andaluzas con su marido, el fotógrafo Edward King Tenison. Resultado de este viaje será el libro *Castilla y Andalucía*, que tuvo cierto éxito entre la élite cultural inglesa.

En junio de 1852 llegan a Antequera en busca de un templo druida del que han oído hablar, el "más antiguo monumento de los que hubieran visitado, más allá en la oscuridad de los tiempos".

Ni el alcalde de Antequera por entonces sabe a qué templo se refiere. En realidad, en aquella época, Menga es una gran desconocida incluso para los antequeranos. Solo hay un estudio del arquitecto Rafael Mitjana de 1847, que atribuye su origen a los celtíberos que poblaron la península ibérica dos mil años antes de Cristo.

Tras preguntar a los aldeanos, Tennison y sus acompañantes logran dar con esta "galería simétrica perfecta formada por toscas piedras gigantescas", que a Tenison le recuerda con un sorprendente parecido en dimensiones y en forma a los montículos cubiertos que existen en Irlanda. La viajera hace una de las primeras descripciones documentadas del dolmen y manda realizar un grabado desde el interior de la cueva en el que se aprecia al fondo la Peña de los Enamorados, un peñón de roca caliza con forma de perfil humano, que caracteriza la fisonomía del municipio antequerano, y que es protagonista de multitud de leyendas entre los habitantes de la zona. "Nada sorprendente -escribe Tenison mientras descansan a los pies de esta peña antes de abandonar la ciudad malagueña-; al fin y al cabo, cualquier lugar montañoso en cualquier país tiene una Peña de los Enamorados y una Cueva del Diablo".

El arqueoastrónomo

En 2008 otro inglés visita el dolmen de Menga. No es la primera vez que lo hace, pero esta vez van a situar una placa en su honor muy cerca de ella, bajo la sombra de un ciprés, ofreciendo el mismo perfil que brinda a los visitantes la Peña de los Enamorados, en un espacio que pasará a tener su nombre: Centro Solar Michael Hoskin.

Este astrónomo y catedrático de la Universidad de Cambridge conoce no solo Menga sino buena parte de todos los dólmenes repartidos por el Mediterráneo. De hecho, es el autor de *Tumbas, templos y sus orientaciones: una nueva perspectiva sobre la Prehistoria del Mediterráneo*, un volumen donde compila cerca de una década de análisis y estudio de las orientaciones de más de tres mil construcciones megalíticas de este tipo. Este arqueoastrónomo demuestra, sin género de duda, que la mayoría de los dólmenes están orientados al nacimiento o puesta del Sol en el horizonte, ya sea en los equinoccios o en los solsticios, lo que demuestra la conexión mística de estos monumentos, generalmente lugares de enterramiento para sus pobladores.

Todos, excepto Menga (y otro de los dólmenes del conjunto de Antequera: El Romeral). Menga no está orientado al astro rey sino a un elemento del paisaje, como ya indicaba el grabado de Tenison: a la Peña de los Enamorados. Hoskin demuestra que la peña debía ser un elemento simbólico fundamental para los constructores del dolmen de Menga, lo que se corrobora con los yacimientos arqueológicos encontrados a los pies de dicha peña.

Esta rareza en su orientación fue el fundamento que permitió que finalmente Menga y el resto de dólmenes que conforman el Conjunto Arqueológico Dólmenes de Antequera ingresara en la lista de Patrimonio Mundial de la Unesco en 2016, justo ciento treinta años después de la visita de un rey a causa de un terremoto.

Stardust: de las estrellas al polvo

Una de las cuestiones candentes en astroquímica es saber cómo nacen los granos de polvo cuando una estrella muere, y a eso se dedica la máquina *Stardust* (en inglés, polvo de estrellas), una de las herramientas desarrolladas por el proyecto NANOCOSMOS

La máquina Stardust, del proyecto NANOCOSMOS.

▶ Para pensar, construir y utilizar la Stardust trabajan juntos astrofísicos, astroquímicos, ingenieros, físicos moleculares, expertos en ciencia de superficies, en vacío, en espectroscopía, en química cuántica, en física del plasma… Todos juntos esperan, mientras se construye esta máquina en los laboratorios del ICMM, poder acercarse un poco más a las respuestas de cómo se forman las nanopartículas que constituyen los granos de polvo interestelar y cuáles son los procesos básicos que generan la complejidad química que observamos en nuestro planeta y en el espacio.

Stardust, la máquina estrella de NANOCOSMOS, está en su fase final de montaje y se está empezando a crear nanopartículas de polvo gemelas a las que nacen en las envolturas de las estrellas moribundas.

Estrella muere: polvo nace

El medio interestelar. Una zona cualquiera del espacio en la que la existencia de moléculas parecería imposible si no fuera porque ahí es donde empieza todo. Al principio, las nubes moleculares del medio interestelar son muy tenues. Tienen muy poca materia (una cantidad ínfima de moléculas y de polvo). Pero estas nubes empiezan a compactarse y la materia acaba colapsando, formando condensaciones que pueden acabar generando estrellas cuando la densidad y la temperatura del gas permiten activar las reacciones nucleares. Algunas estrellas tendrán poca masa y otras mucha, y es precisamente eso, su masa, lo que determinará la duración de su vida y la forma en que mueren. Las más masivas (con más de ocho masas solares) tras quemar todo el hidrógeno de su núcleo, acabarán estallando como supernovas, esparciendo al medio interestelar la mayor parte de su masa. Las estrellas más parecidas a nuestro Sol (con una masa de entre una y ocho masas solares) tendrán una vida mucho más larga, de miles de millones de años. Al final de su vida, la estrella atravesará una serie de fases que irán haciendo que aumente su tamaño en cientos de veces, para acabar "diluyéndose" en el medio interestelar, dejando en el centro una estrella enana blanca rodeada de gas y polvo.

Stardust, la revelación

A pesar de que existe la tecnología para producir pequeños agregados de átomos individuales, la máquina es única por su capacidad para analizar la interacción de esos minúsculos granos de polvo con la otra componente del material eyectado, que es el gas molecular.

En el interior de esta máquina se recrean algunos de los procesos químicos que dan lugar a la formación de granos de polvo en una de las últimas fases de evolución de estrellas de tipo solar (aunque, mediante la variación de la composición química inicial, los investigadores del programa también pretenden explorar la formación de polvo en condiciones de supernova).

Dentro de la Stardust se aplican temperaturas similares a las que se dan en la zona de formación de polvo de estas estrellas evolucionadas, se emula la presión de radiación emitida por la propia estrella y se enfría para imitar la llegada al medio interestelar.

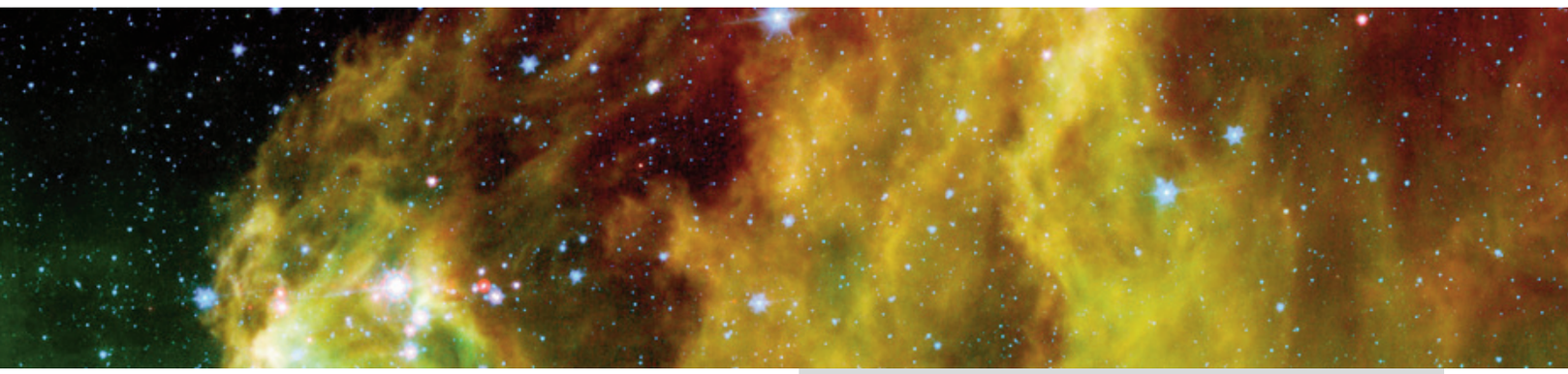
La primera pieza de la máquina, que es modular, da lugar al "nacimiento" de un análogo de grano de polvo. Una vez "fabricada", la nanopartícula, que puede variar en tamaño y composición, inicia un viaje por el interior de la máquina y pasa por todos los episodios que vive un grano de polvo estelar.

Los ingredientes para crear el análogo de polvo son, esencialmente, hierro, titanio, silicio, carbono y oxígeno. Además, mediante el uso de medidores de flujo adecuados, pueden introducirse moléculas en fase de gas en la proporción deseada (hidrógeno, carbono, nitrógeno, azufre y otros elementos en forma de moléculas como H_2, CO, C_2H_2, CH_4, H_2O), ya sea en la zona de formación de polvo o después, para ver cómo reacciona dicho gas con las nanopartículas.

Las nanopartículas también pueden exponerse a radiación UV para simular el procesado del polvo en regiones de fotodisociación, estudiando los efectos de dichas interacciones.

La máquina obtiene datos espectroscópicos de estas especies moleculares para estudiar las propiedades de estos diminutos granos sin que tengan que extraerse de la máquina, evitando así su contaminación por la atmósfera.

Finalmente, las moléculas se recogen y se caracterizan in situ mediante técnicas de ciencia de superficies para determinar su reactividad antes de exponerse al aire. En algunos casos, las nanopartículas recogidas en las cámaras de simulación se inyectarán de nuevo en fase gaseosa para llevar a cabo estudios cinéticos, de proce-



samiento y espectroscópicos.
Las nanopartículas resultantes también pueden transportarse, moviéndose entre los diferentes equipos y servicios de análisis, ya que hay una gran variedad de técnicas, disponibles en las diferentes instituciones y universidades implicadas en el proyecto, que se aplicarán a las nanopartículas para poder estudiarlas. Entre otras instituciones, se llevarán hasta Toulouse, donde otro grupo participante en el proyecto realizará estudios complementarios.

Gracias a Stardust podremos profundizar en nuestro conocimiento sobre los procesos químicos de crecimiento de los granos de polvo y observar los cambios de la composición del gas en escalas de tiempo del orden de segundos/minutos trabajando a baja presión. El proyecto espera así obtener información sobre los procesos que llevan a la complejidad química del Universo.

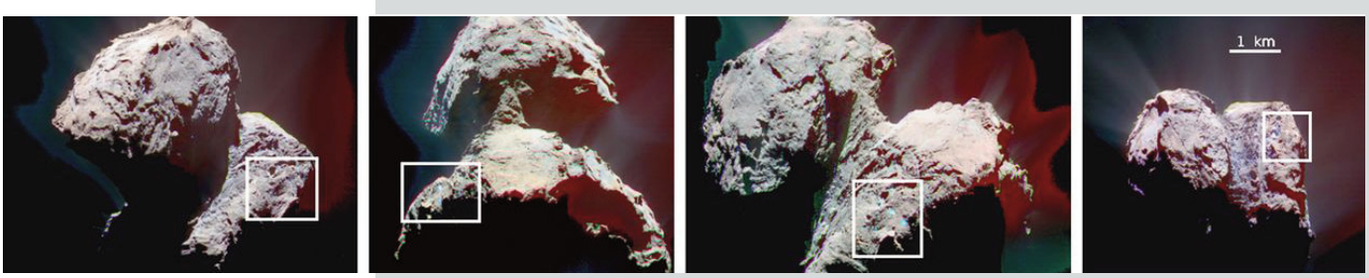
Natalia Ruiz Zelmanovitch (ICMM-CSIC)

"Gas y polvo, de las estrellas al laboratorio: explorando el NANOCOSMOS" es un proyecto financiado por el Consejo Europeo de Investigación. Está formado por tres equipos de expertos, dirigidos por José Cernicharo Quintanilla, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC), Christine Joblin, del Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP-OMP-U.Paul Sabatier), y José Ángel Martín Gago, del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC).

Además, están implicados en NANOCOSMOS el Centro Astronómico de Yebes (CAY) y el Observatorio Astronómico Nacional (OAN), ambos del CNIG-IGN, con Juan Daniel Gallego como responsable ; la Universidad de Valladolid, con José Luis Alonso a la cabeza del grupo; y la Universidad de Castilla-La Mancha, con Elena Jiménez como responsable del equipo, y otros grupos del CSIC.

Más información:
http://www.icmm.csic.es/nanocosmos/

El hielo, motor de la actividad del cometa 67P



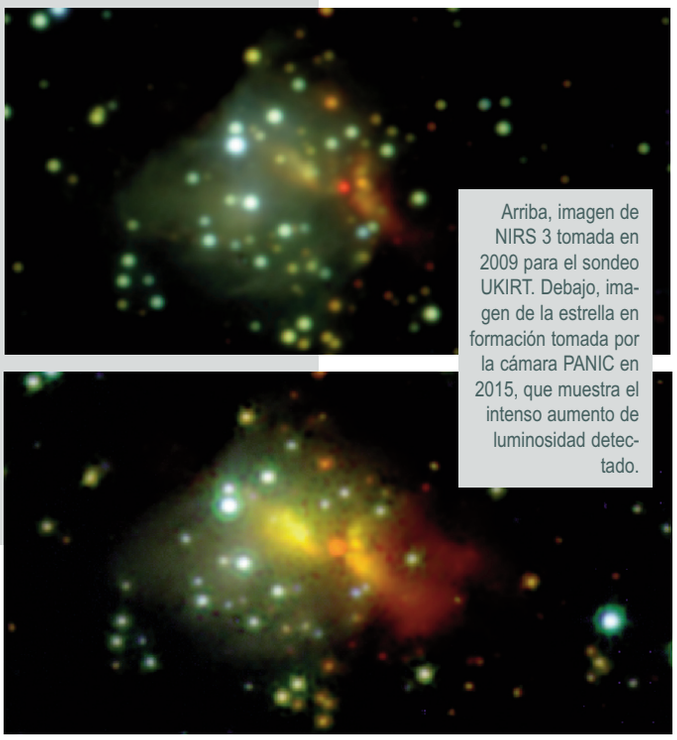
ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

Variaciones de brillo en la superficie del 67P muestran la complejidad de la actividad cometaria

▶ Un equipo internacional, con participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), ha observado con la cámara OSIRIS de la misión Rosetta cambios en la luz que se refleja en la superficie del cometa 67P/Churyumov con distintas escalas de tiempo, desde minutos a varios días. Dichos cambios de brillo se deben, principalmente, a la cantidad de hielo presente en el área de observación. Este hallazgo, publicado en la revista *Science*, ayuda a construir modelos con los que simular la actividad cometaria y, por tanto, avanzar en la comprensión de la formación del Sistema Solar.
Las variaciones de brillo en la superficie de 67P/Churyumov se deben, por un lado, a la heterogeneidad de la composición del cometa, que deja al descubierto extensiones de hielo cuando el polvo que lo cubre es expulsado desde el núcleo y, por otro, a la existencia del llamado ciclo del agua, recondensación de moléculas de agua en zonas frías de la superficie (zonas en noche o en sombra). Estas observaciones se han llevado a cabo midiendo el brillo relativo de la superficie del cometa utilizando distintos filtros del instrumento OSIRIS con gran resolución espacial y temporal.
"La actividad cometaria, es decir, cómo se produce el gas y el polvo que se libera desde el núcleo del cometa, era uno de los procesos menos conocidos en su naturaleza. Nuestro estudio proporciona esa información clave para crear los modelos para interpretar la producción de gas y polvo de los cometas", explica Pedro J. Gutiérrez, investigador del IAA-CSIC que participa en el estudio.
Uno de los principales objetivos de la misión Rosetta era proporcionar datos de calidad que sirvieran de referencia para estudiar y analizar la gran cantidad de datos que se toman desde Tierra. "Este trabajo lo ha conseguido. Y la información que nos ofrece es clave no solo para conocer el desarrollo de la actividad cometaria sino para comprender cómo se formó nuestro Sistema Solar desde el colapso de una nube interestelar de gas y polvo", concluye Gutiérrez.

Un estallido estelar revela el mecanismo de formación de las estrellas masivas

Se ha detectado, por primera vez en una estrella masiva en formación, un estallido producido por la ingesta de material procedente de su disco de acrecimiento
Este hallazgo sugiere que las estrellas de alta masa se forman a través de un proceso similar al que da origen a las de baja masa



Arriba, imagen de NIRS 3 tomada en 2009 para el sondeo UKIRT. Debajo, imagen de la estrella en formación tomada por la cámara PANIC en 2015, que muestra el intenso aumento de luminosidad detectado.

▶ Las estrellas de baja masa, como el Sol, se forman a partir de fragmentos de grandes nubes de gas y polvo, que se condensan hasta que se forma un objeto central, o protoestrella, que crece absorbiendo gas de un disco a su alrededor y expulsa el material sobrante a través de dos chorros situados en los polos. Se desconocía, sin embargo, si las estrellas más masivas, que pueden alcanzar decenas de veces la masa del Sol, se forman a través de este mismo mecanismo. El estudio de un estallido detectado en la estrella masiva en formación NIRS 3, y publicado hoy en la revista Nature, ha aportado la prueba más sólida de que, en efecto, todas las estrellas se forman igual.

NIRS 3, con unas veinte veces la masa del Sol y una estructura formada por un objeto central (la protoestrella), un disco y dos chorros bipolares, experimentó en otoño de 2015 un súbito aumento de luminosidad que puso en marcha una campaña de observación internacional desde telescopios en tierra y desde el aire (Gemini, ESO/VLT, ESO/MPG, NASA/SOFIA, CAHA).
Los primeros datos de la campaña se obtuvieron con PANIC, una cámara panorámica infrarroja instalada en el telescopio de 2.2 metros del Observatorio de Calar Alto (Almería) y co-desarrollada por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), que permitió comprobar que ese súbito estallido procedía de NIRS 3 y no de otras estrellas próximas. “Se trata de uno de los primeros resultados obtenidos con la cámara PANIC, y constituye un excelente ejemplo de las posibilidades de este nuevo instrumento”, apunta José Miguel Ibáñez (IAA-CSIC), responsable de software de PANIC y coautor del trabajo.
Posteriores observaciones con PANIC, realizadas desde noviembre de 2015 hasta febrero de 2016, permitieron detectar lo que se conoce como eco de luz, y que mostró cómo el destello se desplazaba desde su origen hacia los chorros de la estrella, y permitió estimar la fecha en la que se produjo el estallido, que tuvo lugar a mediados de 2015.
El equipo investigador, tras analizar todos los datos, concluyó que se trataba de un estallido de acrecimiento, un fenómeno habitual en la formación de las estrellas de baja masa pero nunca visto en las estrellas masivas, y que se debe al carácter grumoso del disco que alimenta la estrella en formación: en ocasiones, la estrella absorbe fragmentos del disco que producen un aumento repentino de su luminosidad.
“La detección de un estallido de acrecimiento en NIRS 3 constituye el indicio más sólido que tenemos hasta la fecha de que, en efecto, las estrellas de alta masa se forman a través de un proceso similar que el que da origen a las de baja masa. Se trata, sin embargo, de estallidos mucho más intensos, que pueden liberar tanta energía como la producida por el Sol a lo largo de cien mil años”, señala Alessio Caratti o Garatti, investigador del Instituto de Estudios Avanzados de Dublín que encabeza el trabajo.

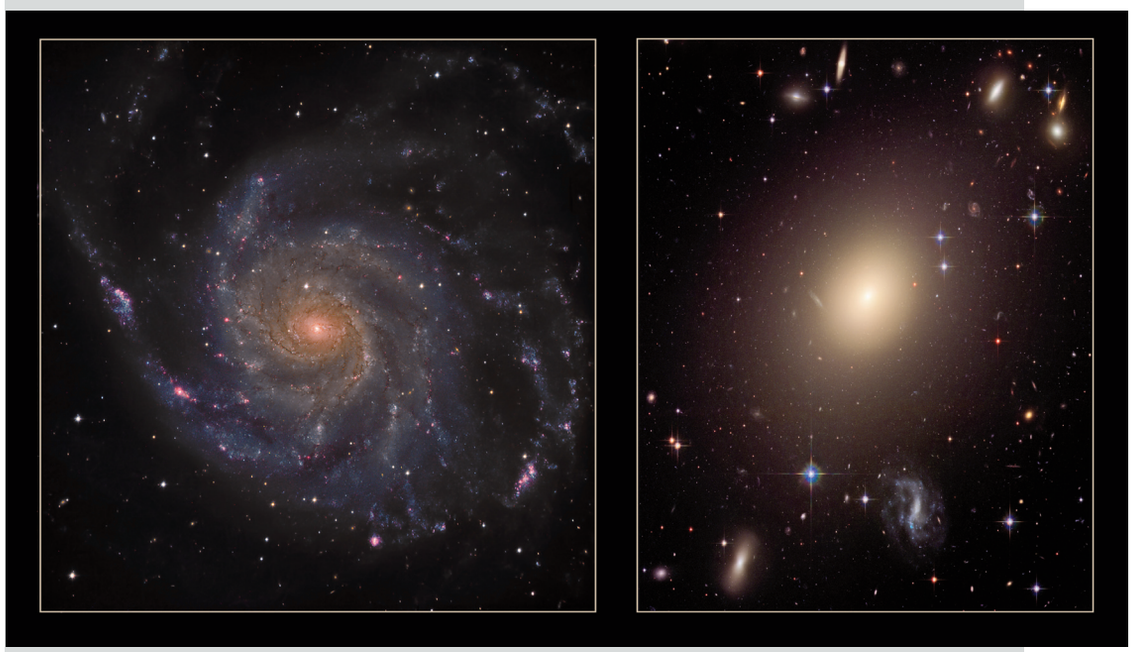
Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

NOMAD y el fin del misterio del metano en Marte

▶ La misión ExoMars (ESA) se halla desde el 19 de octubre en órbita en torno a Marte. En noviembre se realizaron las primeras observaciones de prueba de los instrumentos, entre los que se encuentra NOMAD, en cuyo diseño ha participado el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y que busca resolver el problema del metano en Marte. Los primeros datos de NOMAD confirman el excelente funcionamiento del instrumento.
Estas primeras medidas corresponden a espectros del Sol adquiridos por los tres espectrógrafos de los que consta NOMAD y demuestran la buena salud del instrumento. Además, servirán para calibrar NOMAD en sus condiciones nominales de operación, así como de referencia para medir las posibles, aunque no deseables, perturbaciones que pueda causar la siguiente fase de *aerobreaking*, en la que el orbitador usará la atmósfera marciana para frenar y cambiar su órbita. Más info: **http://exploration.esa.int/mars/**

Se observan brotes de formación estelar en un tipo de galaxias donde, en teoría, ya no nacen estrellas

El proyecto CALIFA ha permitido detectar, en tres galaxias elípticas, unos brazos muy tenues donde se están formando estrellas. Los datos, obtenidos con el telescopio de 3,5 metros del Observatorio de Calar Alto, contradicen la creencia generalizada de que en las galaxias viejas no nacen estrellas



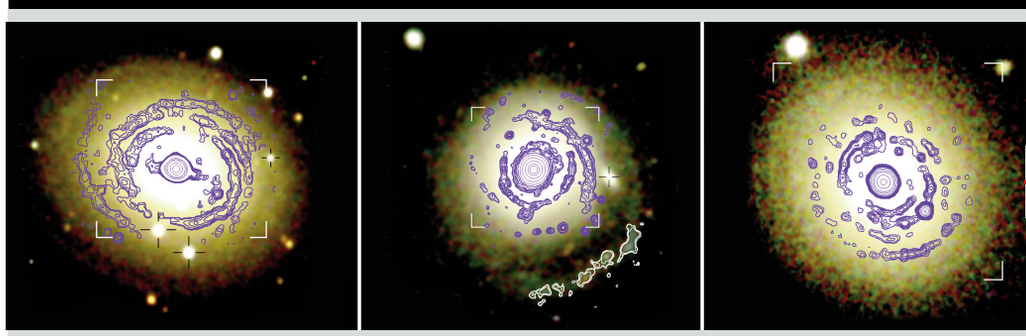


Imagen superior. Comparación entre una galaxia espiral y una elíptica (la relación de tamaños no corresponde a la realidad). A la izquierda, M101, una galaxia de disco con una estructura de brazos espirales que alberga brotes de formación estelar. La imagen, tomada por César Blanco con el telescopio de 1,23 del Observatorio de Calar Alto, fue la ganadora del concurso de astrofotografía de 2016. A la derecha, imagen de ESO 325-G004, una galaxia elíptica gigante que no muestra rasgos definidos. Fuente: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team, J. Blakeslee.
Imagen inferior. Composición de las tres galaxias elípticas estudiadas, con la estructura en forma de brazos espirales delineada en contornos. Fuente: sondeos SDSS y CALIFA.

Las galaxias elípticas se caracterizan por su forma esferoidal, carente de rasgos destacables, y por un color rojizo que procede de una población estelar muy envejecida. Se trata de galaxias muy masivas donde la formación de estrellas se detuvo hace miles de millones de años. Sin embargo, un equipo internacional de astrónomos ha hallado, en tres galaxias elípticas del universo cercano, una estructura muy tenue similar a los brazos de las galaxias espirales que alberga estrellas en formación.

"Según nuestra visión actual, los diseños en forma de grandes espirales se asocian con las galaxias con forma de disco, como la Vía Láctea o M101. Estas son, generalmente, regiones donde la formación estelar se dispara. De ahí que nos sorprendiera descubrir rasgos similares en galaxias elípticas donde, en principio, no se forman estrellas", apunta Jean Michel Gomes, investigador del Instituto de Astrofísica y Ciencias del Espacio (IA) de Oporto (Portugal) que encabeza el estudio.

El hallazgo de estos brazos espirales, extremadamente tenues, ha sido posible gracias a CALIFA, un proyecto desarrollado en el Observatorio de Calar Alto que emplea la técnica conocida como espectroscopía 3D, que permite cartografiar galaxias enteras y generar mapas de sus distintas propiedades, como la edad de sus estrellas, su velocidad o su composición química. Los datos de CALIFA han sido combinados con las imágenes del sondeo SDSS.

"Nunca hubiéramos podido detectar rasgos tan débiles sin CALIFA - señala José Manuel Vílchez, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que participa en el trabajo-. Con las técnicas tradicionales estructuras así quedaban diluidas por la luz de fondo de las estrellas, pero la sensibilidad espectral de CALIFA ha abierto un nuevo escenario en el estudio de las galaxias elípticas".

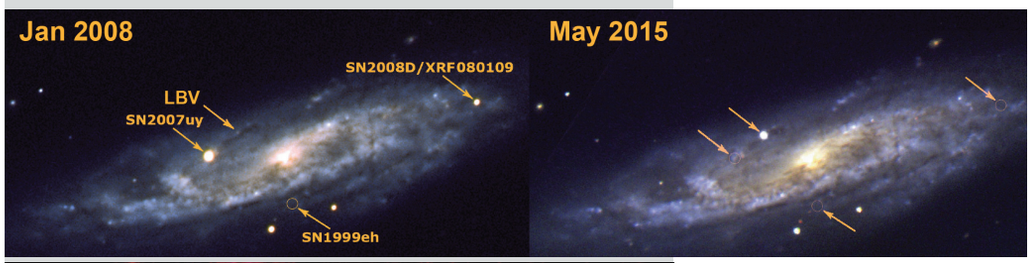
Estas estructuras espirales, donde se están formando estrellas masivas, constituyen una prueba de que las galaxias elípticas, en apariencia mortecinas, aún mantienen un leve crecimiento en sus regiones externas. Sin embargo, aún se desconoce si estos brotes de formación estelar son sus últimos vestigios de actividad o si se trata más bien de un rejuvenecimiento debido a la interacción con galaxias menores.

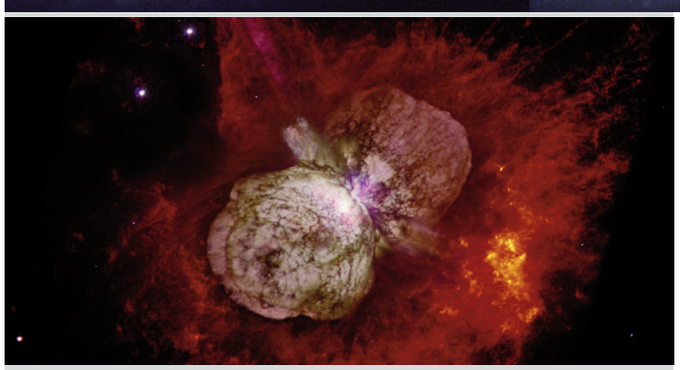
La búsqueda y el estudio de este tipo de estructuras resulta fundamental para comprender la historia de las galaxias elípticas que, se cree, se forman mediante procesos de fusión de galaxias y contienen en torno a la mitad de las estrellas que el universo ha producido a lo largo de su historia.

Silbia López de Lacalle (IAA)

SN2015bh:¿ el fin de una estrella o una supernova "impostora"?

Se ha detectado una intensa explosión en una estrella cuyo análisis no permite distinguir si se trata de una supernova, un evento explosivo que pone fin a la vida de la estrella, o de una erupción gigantesca que anticipa un cambio evolutivo





Arriba, imágenes de la galaxia NGC2770. A la izquierda vemos señalada la posición de la estrella variable luminosa azul (LBV) que en mayo de 2015 sufrió la explosión detectada.
Debajo, imagen de la estrella masiva Eta Carinae, rodeada de una nebulosa producto de explosiones pasadas. Fuente: HST, U. California y NASA.

Las estrellas masivas terminan sus vidas en explosiones de supernova, eventos muy energéticos que compiten en luminosidad con la galaxia que las alberga. Sin embargo, algunas se comportan como "supernovas impostoras", al mostrar explosiones muy intensas que, sin embargo, no suponen el fin de la estrella. Este podría ser el caso de SN2015bh, un estrella que lleva veintiún años sufriendo erupciones y que, junto con otros objetos similares, podría requerir una nueva clasificación.

"Las estrellas variables luminosas azules, como la que nos ocupa, muestran dos tipos de variabilidad: erupciones regulares, tras las que la estrella regresa a su estado anterior, y erupciones gigantescas, que hacen que la estrella sufra transformaciones. Un caso paradigmático es el de Eta Carina, una estrella que ha perdido más de cuarenta veces la masa del Sol a través de erupciones y viento solar", señala Christina Thöne, investigadora del grupo HETH (*High energy astrophysics and their hosts*) del IAA-CSIC que encabeza la investigación. Algunas estrellas sufren erupciones aún mayores, cuya huella es similar a la de una explosión de supernova. La línea que separa estas supernovas "impostoras" y las verdaderas resulta muy fina y es aún objeto de debate, y el caso de SN2015bh constituye un ejemplo de las dificultades que entraña conocer si, en efecto, una explosión ha puesto fin a la vida de una estrella.

La tumultuosa cronología de SN2015bh

Los registros muestran que esta estrella llevaba sufriendo continuas erupciones menores desde, por lo menos, 1994, alternadas con periodos tranquilos. Sin embargo, el 10 de febrero de 2015 se documentó un estallido que se clasificó como supernova impostora y que produjo un renovado interés en esta estrella.

En abril de 2015, el grupo liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) comenzó un seguimiento semanal desde distintos observatorios, que permitió observar un nuevo estallido, más intenso que el de febrero y cuya intensidad fue decayendo con los días. Denominado "evento precursor", este estallido fue seguido el 15 de mayo por otro mucho más intenso que, en lugar de disminuir, siguió aumentando en intensidad hasta el 24 de mayo. Denominado "evento principal", el cálculo de la energía liberada sí lo hace compatible con una explosión de supernova real.

"La gran mayoría de los datos se obtuvo desde telescopios en suelo español, en particular desde los observatorios de Calar Alto (Almería) y de Sierra Nevada (Granada). De hecho, la explosión principal pudo detectarse gracias a este segundo", apunta Thöne (IAA-CSIC).

Sin embargo, las observaciones posteriores, que abarcan hasta doscientos días después del evento principal, muestran que la estrella ha perdido luminosidad y es más azulada con respecto a las fases previas al estallido, pero no confirman que la estrella haya explotado. Además, todo el proceso resulta muy similar al de otros casos estudiados en los que tampoco se ha podido confirmar la muerte de la estrella.

"Ya conocemos varios casos de estrellas variables luminosas azules en las que se sigue un mismo patrón: erupciones menores y más o menos continuas a lo largo de dos décadas y un estallido previo entre cuarenta y ochenta días antes de la explosión principal. De hecho, la evolución de SN2015bh resulta prácticamente una copia de la de SN2009ip, un ejemplo paradigmático de posible supernova impostora que estalló en 2012 y sobre cuya destrucción aún no hay consenso", apunta Christina Thöne (IAA-CSIC).

Vía rápida a Wolf Rayet

En el escenario teórico actual, las estrellas variables luminosas azules son estrellas masivas en transición hacia la fase de Wolf Rayet, que sería la última fase de su vida. Pero antes deben desprenderse de su envoltura externa, y el mecanismo para hacerlo es aún desconocido: las estrellas podrían perder la envoltura a través de vientos muy fuertes, aunque se ignora si resultan eficaces para lograr esta transición a Wolf Rayet; y una única explosión gigante podría no ser suficiente tampoco, como indica el caso de Eta Carina, que ha sufrido dos erupciones de este tipo y continúa como variable luminosa azul.

En cambio, una erupción tan violenta como la de SN2015bh sí podría constituir una vía rápida para evolucionar hacia esta última fase, de modo si SN2015bh y las estrellas que se han observado con un patrón similar han sobrevivido a la explosión podrían ser ya estrellas Wolf Rayet.

"SN2015bh no es un caso aislado, y posiblemente hay muchos más objetos similares que han pasado desapercibidos, pero sí parece que nos hallamos ante un nuevo tipo de evento estelar. Ahora debemos describir el mecanismo que lo gobierna, y hallar la razón de que los casos documentados sean tan similares", concluye Thöne (IAA-CSIC).

Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

Entre BASTIDORES

Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)

DIVULGACIÓN INCLUSIVA DE LA ASTRONOMÍA, ¿ES POSIBLE?

A finales de 2016 se celebraron en Granada las II Jornadas de Divulgación Inclusiva de la Ciencia (http://cienciainclusiva.iaa.es), organizadas por el Instituto de Astrofísica de Andalucía en el marco de la asociación Ciencia sin Barreras y con la colaboración de la Estación Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC). El objetivo de las jornadas era reunir a investigadores, divulgadores y docentes para compartir estrategias y metodologías a la hora de llegar a todos los colectivos, incluidos aquellos más desfavorecidos y que, por sus limitaciones, no pueden acceder de manera satisfactoria a todos los contenidos. La universalización es aún difícil de alcanzar ya que la divulgación plena y la enseñanza de ciertas materias ha sido y aún sigue siendo algo marginal entre diversos tipos de discapacitados, los cuales suelen ser orientados a carreras dentro del ámbito de las humanidades o especialidades muy concretas, como es el caso de la fisioterapia, entre los discapacitados visuales. Un síntoma de esta carencia se aprecia en el reducido número de alumnos, profesores e investigadores discapacitados en muchas áreas de conocimiento científico, muy por debajo del 5% que, por ley, debería ser asignado a este colectivo. De ahí la importancia de las jornadas celebradas en el IAA, ya que han ayudado a dar un paso adelante en la sensibilización de los docentes e investigadores sobre la necesidad de ampliar el abanico de metodologías para llegar a ser más inclusivas.

Arriba, taller llevado a cabo con afiliados a la ONCE dentro del proyecto Astronomía accesible. Debajo, lámina en relieve de la Vía Láctea.

Uno de los principales inconvenientes que puede presentar un diseño de un plan docente o de una estrategia de divulgación es la especificidad en las necesidades de los distintos tipos de discapacitados que, tanto motores, sensoriales o intelectuales, pueden requerir de soluciones adaptadas a su manera de relacionarse con el entorno. No obstante, esa especificidad no se traduce necesariamente en programas de enseñanza o divulgación diferenciados de los demás, lo cual encarecería y haría más inaccesible lo que se quiere divulgar. En su lugar es mucho más apropiado el empleo de estrategias inclusivas que ayudan a divulgar a todos los colectivos. La aplicación de estrategias diseñadas para discapacitados resulta también muy satisfactoria con los no discapacitados, que refuerzan el aprendizaje usando otros medios de enseñanza y los implican de manera muy eficiente cuando los discapacitados están presentes. Estas metodologías inclusivas y no excluyentes se vienen aplicando en niveles educativos bajos y, en cierta medida, en algunos museos con bastante éxito, pero aún deben ser implementados en niveles educativos superiores y en casi todos los ámbitos de la divulgación científica.

En el caso concreto de la astronomía y la astrofísica puede dar la impresión de que su enseñanza y divulgación no puede ser universal por la especial preponderancia del uso de imágenes. Por este motivo, durante el año 2009, año internacional de la Astronomía, se hizo un especial esfuerzo desde el Observatori Astronòmic de la Universidad de Valencia en diseñar materiales adaptados que ayudaran a divulgar y mejorar la comprensión de conceptos astronómicos a través de materiales en relieve, en tres dimensiones y con la transcripción de contenidos al braille. Más recientemente, en 2014, nació el proyecto Astronomía accesible en el Instituto de Astrofísica de Andalucía con el objetivo de profundizar en la enseñanza de la astronomía entre los discapacitados visuales.

El proyecto Astronomía Accesible parte de una filosofía que puede ser considerada inclusiva. Por un lado se realizan descripciones completas y razonamientos detallados que no están basados en el empleo de imágenes o animaciones. Aunque muchas de las noticias y explicaciones suelen ser presentadas en los medios y artículos usando estas imágenes como un elemento de atracción para los lectores o alumnos, su uso debe ser siempre complementario y no imprescindible para una correcta comprensión de lo que se quiere explicar. En todo caso, el empleo de imágenes y animaciones es siempre conveniente aunque las actividades estén solo dirigidas a discapacitados visuales, ya que estos tampoco están completamente excluidos del empleo de información visual. El uso de imágenes de alto contraste y diversidad de tamaños siempre resultan un refuerzo para una aproximación multisensorial de la información ofrecida. Dado que hoy en día las nuevas tecnologías ofrecen soluciones muy sencillas y al alcance de todo el colectivo de discapacitados visuales para el acceso a la información escrita, este esfuerzo descriptivo no ha de ser necesariamente acompañado de una codificación destinada a los invidentes, como es el lenguaje braille.

La realización de las II Jornadas de Divulgación Inclusiva de la Ciencia en el Instituto de Astrofísica de Andalucía suponen un reconocimiento a la trayectoria de este centro en materia divulgativa y a su compromiso con la inclusión de los discapacitados en la difusión y enseñanza de la astronomía. En todo caso las experiencias docentes y divulgativas planeadas y llevadas a cabo en distintas áreas de la ciencia y en distintos tramos educativos y ámbitos de la divulgación científica son aún modestos y es imprescindible un mayor compromiso de los gabinetes de divulgación y los diseños de los planes docentes de universidades y centros de investigación si se aspira a cumplir con el objetivo de inclusión de los discapacitados en el ámbito científico. Asumir estrategias de enseñanza y divulgación inclusivas no solo ayudaría a cumplir con ese objetivo sino que potenciaría la eficiencia de los esfuerzos actuales de enseñanza y divulgación orientados exclusivamente a personas sin ningún tipo de limitación motora, sensorial o intelectual.

SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)

la respuesta:

¿De dónde viene la palabra robot?
1. Al revés (Tóbor) era el nombre del primer autómata que apareció en una novela.
2. Del checo. Significa "trabajo duro".
3. Del inglés "rub out": borrar o eliminar.
4. ROBOT es un acrónimo que significa una cosa muy rara.

Tóbor, llama al trabajo y di que estoy malo. O, mejor: Tóbor, ¡ve tú al trabajo por mí! Da el pego, ¿verdad? Sería un buen nombre para un robot, o para un hombretón que llevara a sus espaldas a un niño paralítico que ve cuervos de tres ojos. Sin embargo, el origen del nombre robot no es ese, sino el término checo *robota*, que quiere decir "trabajo duro". Se lo inventó un tal Karel Kapec en 1920, para nombrar a las máquinas humanoides que aparecían en su obra de teatro "R.U.R. (Robots Universales Rossum)". Aunque fue su hermano el que lo propuso, ya que él iba a bautizarlas con el nombre latino *labori* que, para qué nos vamos a engañar, suena mucho menos chulo. "Corea del Norte crea un ejército de labori asesinos…". No, Karel, no. Menos mal que están los hermanos mayores para enderezar nuestros caminos tambaleantes.

Pero, ¿qué es exactamente un robot? Pues, a pesar de la imagen tan clara que tiene la mayoría de la gente en su cabeza, el término es bastante difuso. Según una de las publicaciones referencia en esta y otras muchas áreas del conocimiento, la Wikipedia, un robot es "una entidad virtual o mecánica artificial", definición en la que tendría cabida casi cualquier cosa construida por el hombre desde que aprendió a apretar tornillos. La RAE lo define como una "máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas", lo cual reduce algo el alcance semántico, a pesar de lo cual sigue siendo bastante genérica. Incluso dejando aparte los drones, brazos robóticos y otros diseños un tanto especiales, existen configuraciones mucho más prácticas y estables que el bipedismo humanoide en el que casi todos pensamos cuando oímos la palabra robot. Así, uno de los primeros modelos comerciales fue un perro diseñado por Sony, AIBO. Los robots de rescate y de investigación en volcanes y entornos hostiles se desplazan mediante orugas o varios pares de patas en disposiciones tipo insecto. Una configuración muy exótica pero que a mí me gusta especialmente es la del modelo TARS, que sale en la película *Interstellar*. Para los que no la hayáis visto, al final muere ella. Ah, sí: aviso de spoiler (perdón, siempre me lío). En fin, ya que se me ha escapado esto, supongo que no os importa que os cuente la forma que tiene el robot, ¿no? Pues bien, la primera vez que aparece lo hace en la configuración *podíanhabérselocurradounpoquitomás*: es como una pieza de LEGO gigante. Sí, UNA pieza, cuadrada, de las de antes. Por no tener, no tiene ni los puntitos redondos para engancharle otros bloques. Sin embargo, unas escenas después descubrimos que para desplazarse adopta la configuración *quéingeniosooye*, para pasar, finalmente, al modo *cómomola* en la frenética escena del rescate en el planeta Nosecuantos. En definitiva, que si existen configuraciones mucho más prácticas, ¿por qué hay grupos especializados que se empeñan en crear diseños de tipo androide, que no hace sino aumentar los problemas técnicos? La respuesta probablemente haya que buscarla en nuestro subconsciente, más que en aspectos prácticos: un robot con apariencia humana da menos miedo, inspira más confianza y simpatía. Por eso la tendencia androide se orienta principalmente a robots que interactúan con seres humanos, ya sean de propósito general o con labores específicas como el cuidado de niños, enfermos o ancianos. Busca en Google, por ejemplo, Geminoid-F o Geminoid-HI, dos creaciones de Hiroshi Ishiguro, y prepárate para alucinar pepinillos. O Telenoid, si te atreves, que parece sacado de una película de terror japonesa. Después de ver un vídeo suyo he leído que en Japón los robots tienen tanta aceptación porque, según la religión shinto, hay un espíritu dentro de cada uno. Lo que me faltaba, esta noche no voy a pegar ojo.

Mención aparte merecen las aplicaciones militares de robots y, especialmente, los drones de espionaje y ataque. Los múltiples modelos existentes o en fase de diseño son fascinantes desde el punto de vista tecnológico, pero por encima de eso han despertado una fuerte polémica por los problemas morales que implican. Se supone que si vas a cargarte a alguien en una guerra, al menos deberías estar expuesto a un mínimo nivel de riesgo. Matar gente en Oriente Medio desde un despacho de Wisconsin en jornadas de ocho horas mientras en tu iPod Dolly Parton canta alegremente eso de *Workin' nine to five, what a way to make a livin'* no parece un combate demasiado justo. Sin embargo, en todos los conflictos a lo largo de la historia se ha intentado sacar ventaja sobre el rival a través del desarrollo tecnológico. Aunque no siempre esa ventaja ha sido sinónimo de victoria final (léase Vietnam), en la mayoría de los casos trajo consigo un desequilibrio real suficiente para hacer caer la balanza del lado más avanzado: los arcos largos ingleses en la batalla de Crécy, la bomba atómica en la segunda guerra mundial, el fuego valyrio en la batalla del Aguasnegras… Entonces, ¿cuál es la diferencia con la guerra moderna? Pues que en todos los conflictos los soldados del bando más preparado estaban allí, protegidos hasta cierto punto por su tecnología pero corriendo un riesgo real de pisar una mina o recibir un disparo o un misilazo tierra-aire. Los robots y los drones parecen otorgar demasiada ventaja. ¿O no? Igual es solo una alegoría brutal de un hecho incuestionable, que nuestros políticos sin embargo a menudo olvidan: el que invierte en investigación y ciencia, siempre gana.

la pregunta:

¿Apenas hemos rascado en la superficie. Nos hemos centrado en posibles configuraciones de los robots, y ni siquiera hemos nombrado maravillas tecnológicas como los nanorrobots, los exoesqueletos, los ciborgs o el polvo inteligente. Los drones también merecen un capítulo aparte. De momento, en el próximo número nos centraremos en otro aspecto asociado a los robots que tampoco hemos mencionado: la inteligencia artificial. Para ello, intentaremos responder a la pregunta que todos nos hacemos antes de apagar la luz cada noche: ¿tomarán las máquinas el control algún día y se rebelarán contra nosotros?

RESPUESTAS

1) SÍ.
2) NO.
3) DA IGUAL, PORQUE DE TODAS FORMAS LOS CAMINANTES BLANCOS VAN A TERMINAR CON TODOS NOSOTROS.

Por Antonio Ferriz Mas (Universidad de Vigo / IAA-CSIC)

Reconstrucción de la historia de la actividad magnética solar mediante los isótopos cosmogénicos berilio 10 y carbono 14

Pilares científicos

Las manchas solares son la manifestación más conocida de la actividad magnética del Sol, que también se manifiesta en forma de explosiones que liberan energía y de eyecciones de materia al espacio interplanetario. El Sol presenta un ciclo de once años, a lo largo del cual su actividad magnética varía entre un mínimo y un máximo. Sabemos que, superpuestos a este ciclo de once años, hay otros de períodos más largos cuyo origen es aún incierto.

El primer astrónomo que estudió con un telescopio las manchas solares fue Galileo Galilei. Entre 1645 (Galileo murió en 1642) y 1715 apenas se observaron unas cincuenta manchas en lugar de los miles de ellas que deberían haberse visto en este tiempo. Este periodo se conoce como "mínimo de Maunder" y coincidió con la parte más fría de la llamada pequeña Edad de Hielo de los siglos XV al XVII, durante la que Europa y América del Norte sufrieron inviernos especialmente rigurosos y los glaciares de los Alpes avanzaron. De manera natural surge la pregunta: ¿Ha habido a lo largo de la historia otros episodios similares al mínimo de Maunder? ¿Es posible saber cómo se comportaba el Sol magnéticamente antes del comienzo de las observaciones telescópicas del siglo XVII? La respuesta es sí, pero no a partir de documentos, ya que no había un seguimiento del número de manchas solares antes de la invención del telescopio. La clave reside en emplear métodos indirectos basados, por ejemplo, en los isótopos cosmogénicos carbono 14 (C^{14}) y berilio 10 (Be^{10}).

Los isótopos radiactivos C^{14} y Be^{10} se denominan isótopos cosmogénicos porque se originan en reacciones nucleares iniciadas por los rayos cósmicos al impactar contra átomos de la atmósfera (en este caso, contra núcleos de nitrógeno y oxígeno).

Los rayos cósmicos (partículas cargadas eléctricamente que se originan en eventos catastróficos como explosiones de supernovas) viajan por la galaxia con velocidades próximas a la de la luz y siguiendo las líneas de campo magnético. Antes de poder penetrar en la atmósfera terrestre para dar lugar a las reacciones que generan isótopos cosmogénicos han de atravesar dos barreras: la heliosfera (la región que se encuentra bajo la influencia del viento solar y su campo magnético y que se extiende más allá de la órbita de Plutón), y la magnetosfera terrestre (región formada por la interacción del campo magnético terrestre con el viento solar y que envuelve a la Tierra).

La magnetosfera es un escudo que rodea la Tierra y la protege de la entrada de partículas cargadas, como las del viento solar y los rayos cósmicos. Si no fuese por la magnetosfera es posible que la Tierra hubiese perdido sus océanos y gran parte de su atmósfera hace millones de años. La magnetosfera desvía las partículas cargadas hacia los polos magnéticos (donde el campo magnético dipolar terrestre es más débil) y algunas logran entrar, dando lugar a las auroras si se trata de partículas del viento solar y a la formación de isótopos cosmogénicos si se trata de rayos cósmicos. El C^{14} y el Be^{10} son especialmente interesantes para la reconstrucción de la actividad magnética solar en el pasado. Ambos núcleos se producen sobre todo a alturas de entre nueve y quince kilómetros y preferentemente a altas latitudes geomagnéticas, y tanto la manera de crearse como el ritmo de producción son similares. El ritmo de producción de C^{14} y Be^{10} en la atmósfera depende de cuán efectivo sea el apantallamiento que ejerce el campo magnético de la magnetosfera, ligado al campo magnético solar a través del viento solar, que arrastra consigo campo magnético desde la corona del Sol.

Analizando la concentración de C^{14} y Be^{10} en testigos de hielo de la Antártida y de Groenlandia y comparando con la concentración de C^{14} en anillos de árboles muy antiguos, el equipo dirigido por Jürg Beer en la ETH de Zurich (con participación del autor) ha reconstruido la actividad magnética del Sol hasta algo más de diez mil años hacia atrás. Hemos observado en la serie temporal obtenida muchos grandes mínimos en la actividad magnética, similares al mínimo de Maunder coincidente con la pequeña Edad de Hielo. Así pues, podemos concluir que la falta de manchas solares durante periodos prolongados ha sido algo habitual en la historia magnética del Sol, al menos en los últimos diez mil años.

Incertidumbres

En el análisis de la serie temporal reconstruida a partir de la abundancia de Be^{10} aparecen otros periodos. Además del conocido de once años, hay un periodo de unos dos mil doscientos años (Hallstatt), otro de novecientos ochenta años y otro de doscientos años (de Vries). No había ninguna teoría para explicar el origen de estas (y otras) periodicidades. Nuestro grupo propuso a finales de 2012 que una posible explicación podría hallarse en las (débiles) fuerza de marea ejercidas por los planetas sobre una región del interior del Sol llamada "tacoclina". Se trata de una región de transición (de no más de diez mil kilómetros de espesor) situada a unos doscientos mil kilómetros por debajo de la superficie visible. La tacoclina sería una capa límite en doble sentido: por un lado, establece la transición entre un régimen de rotación rígida (por debajo) y un régimen de rotación diferencial (por encima); por otro, sería la región de transición entre un régimen de transporte de energía por radiación (fotones) justo por debajo y un régimen de transporte de energía por convección turbulenta justo por encima. Desde la década de 1980 muchos físicos solares creen que podría ser la zona de almacenamiento del campo magnético toroidal que, como consecuencia de ciertas inestabilidades, es expulsado hacia la superficie para dar lugar a las manchas solares. Si bien las fuerzas de marea debidas a los planetas son muy débiles, para poder explicar la desaparición de las manchas solares (y la consiguiente aparición de un gran mínimo o mínimo de Maunder) sería suficiente producir una variación de la estratificación de la entropía en la tacoclina de una parte por cien mil. Este es un tema de discusión y se han publicado varios artículos al respecto, unos a favor y otros en contra de esta "hipótesis planetaria" para algunos de los periodos de más de once años.

AGENDA

http://www-divulgacion.iaa.es/ciclo-lucas-lara

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

23 feb	Lourdes Verdes-Montenegro (IAA)	**El Square Kilometre Array (SKA)**
30 mar	Isabel Márquez (IAA)	**Galaxias activas: unas tanto, y otras, tan poco**
27 abril	Álvaro Martínez (UGR)	**Simetrías**
25 mayo	Enrique Pérez (IAA)	**H_2O**
29 junio	Víctor Aldaya (IAA)	**El bosón de Higgs**

DESTACADOS

LET´S GO TO MARS

upwards.iaa.es/letsgomars

‘Let’s go to Mars’ es una app diseñada para el proyecto europeo UPWARDS, desarrollada en colaboración con las empresas Wild Sphere y Laniakea Management & Communication y cofinanciada con fondos FECYT (MINECO). A través de la exploración de diferentes zonas marcianas, la recolección de minerales y piezas de misiones anteriores, el jugador tendrá que construir la primera colonia humana en el planeta rojo y superar múltiples peligros.
Está disponible con descarga gratuita para teléfonos y tablets Android e IOS, y en su versión para PC.

EL ASTRÓNOMO INDIGNADO

"La astronomía como te la cuentan" es un proyecto coordinado con los Museos Científicos Coruñeses, el Planetario de Pamplona y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), que incluye varias iniciativas de divulgación en torno a cómo los medios de comunicación y las redes sociales tratan las noticias sobre astrofísica.
“El astrónomo indignado” es la contribución del IAA al proyecto. Se trata de una serie audiovisual protagonizada por un astrónomo en permanente estado de cólera por el estado de la ciencia a día de hoy.

www.youtube.com/iaaudc

EL OBSERVATORIO DE CALAR ALTO ABRE SUS PUERTAS AL PÚBLICO

El observatorio de Calar Alto (Almería), el mayor observatorio astronómico de Europa continental, mantiene un acuerdo con la empresa Azimuth para desarrollar un programa que permite a los ciudadanos visitar el observatorio y acceder a instalaciones e instrumentos que hasta hace poco solo habían estado a disposición de los profesionales. Las actividades comenzaron en 2016 y es posible reservarlas de manera individual o en grupo.

azimuthspain.com

EL RADIOSCOPIO

http://radioscopio.iaa.es

El Radioscopio es un programa de divulgación científica realizado y producido desde Canal Sur Radio en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Presentado y dirigido por Susana Escudero (RTVA) y Emilio J. García (IAA), este programa aborda la divulgación de la ciencia con humor y desde una perspectiva original y rigurosa.

CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

El IAA organiza mensualmente charlas de divulgación astronómica para estudiantes, a petición de los colegios interesados. Pueden rellenar la solicitud en http://divulgacion.iaa.es/visitas_iaa

CSIC

INSTITUTO de ASTROFÍSICA de ANDALUCÍA
CSIC
I·A·A