

INFORMACIÓN Y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

revista.iaa.es

OCTUBRE DE 2017, NÚMERO 53



Misión Rosetta:

el cometa 67P con total nitidez

Jansky y el nacimiento de la radioastronomía

Cuando el CERN se estremeció con el “shosholoza”

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

Misión Rosetta: el cometa 67P visto con total nitidez...3

Jansky y el nacimiento de la radioastronomía...10

El día que el CERN se estremeció con el "shosholoza"...14

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Agujeros negros supermasivos ...12

EL "MOBY DICK" DE... Rosa González Delgado (IAA) ...16

CIENCIA EN HISTORIAS...Depuración ... 18

ACTUALIDAD ...19

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. La evolución de las galaxias ...23

Adiós, Cassini

Después de dos décadas en el espacio, la nave espacial Cassini (NASA) ha terminado su extraordinario viaje de exploración. Los científicos de la misión decidieron, ante el agotamiento de su combustible, sumergir la misión en la densa atmósfera del planeta para asegurar que las lunas de Saturno permanecieran prístinas para una exploración futura -en particular, la luna oceánica EnceladO, cubierta por hielo, y Titán, con su intrigante química prebiótica-.

La misión, lanzada en 1997, fue un esfuerzo conjunto de NASA y ESA, que desarrollaron respectivamente el orbitador Cassini y el módulo de descenso Huygens, en el que participaron investigadores del Instituto de Astrofísica de Andalucía.



Misión Rosetta: el cometa 67P visto con total nitidez

LA MISIÓN ROSETTA NOS HA PERMITIDO CONOCER UN COMETA CON UN DETALLE ÚNICO. REPASAMOS ALGUNOS DE SUS RESULTADOS

Por Silbia López de Lacalle
(Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC)

“LOS COMETAS PUEDEN SER PORTADORES DE INFORMACIÓN SOBRE EL ORIGEN DE NUESTRO SISTEMA SOLAR”. Esta frase, habitual en los textos de divulgación, da un poco de vértigo. Porque, si ya resulta maravilloso que un fósil nos descubra cómo era un dinosaurio que vivió hace cien millones de años, la arqueología cometaria rebobina mucho más: estamos intentando atisbar cómo era la nebulosa solar en sus orígenes, hace 4.6

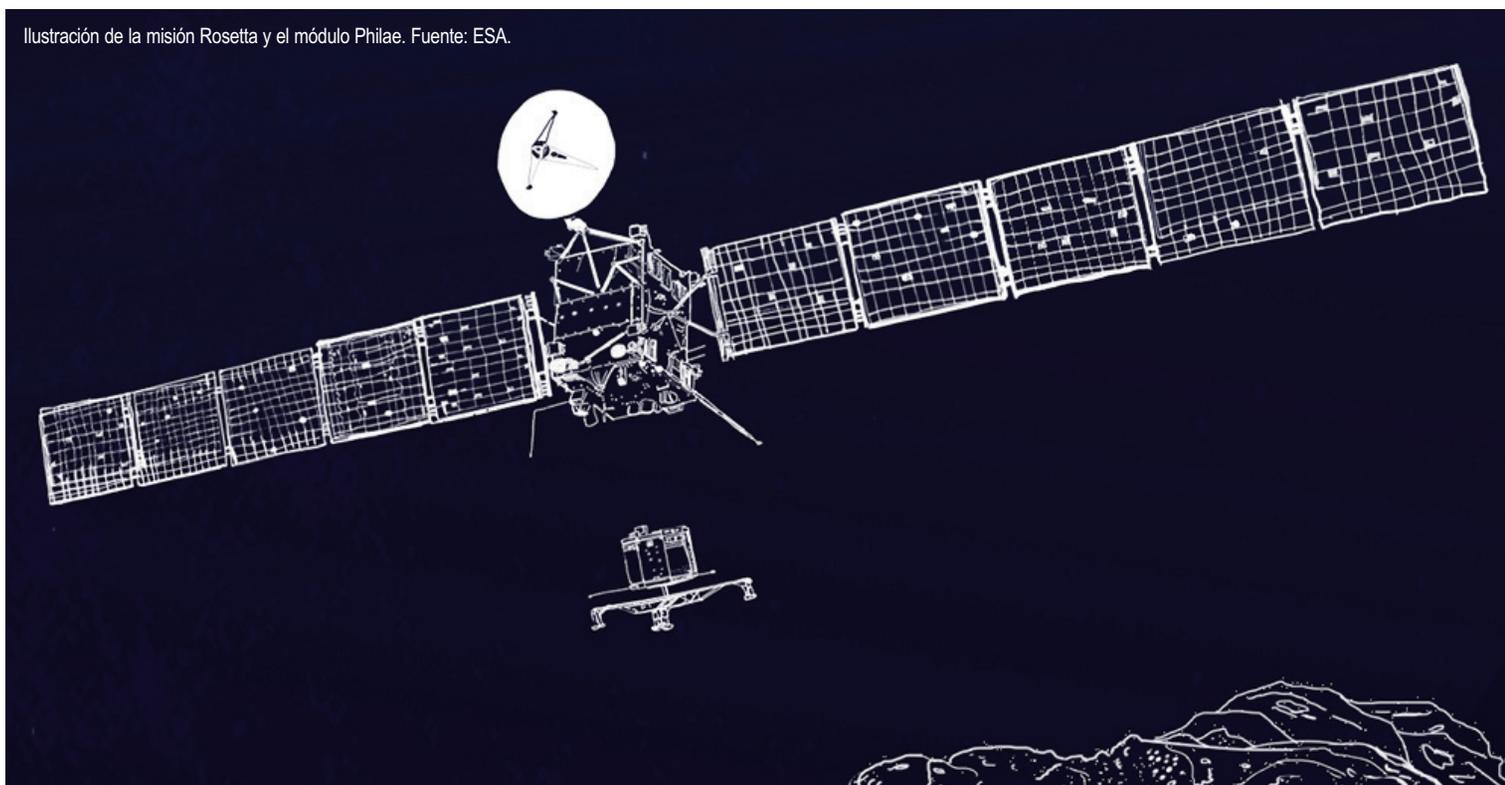
miles de millones de años, antes de que se formaran el Sol y los planetas. Y esto da lugar a situaciones casi poéticas, porque podría resultar (y hay indicios de que sí) que los compuestos prebióticos que dieron lugar a las primeras formas de vida en la Tierra procedieran de los cometas. Recopilamos aquí algunos de los resultados producidos por Rosetta, la misión de la Agencia Espacial Europea que nos ha brindado la imagen más precisa de un núcleo cometario. Los cometas son pequeños cuerpos sólidos helados que proceden de las regiones externas del Sistema Solar, bien del cinturón de Kuiper, más allá de Neptuno, o de la nube de Oort, una nube esférica mucho más distante aún no observada directamente (las estimaciones apuntan a que podría extenderse desde los 0,8 hasta los 3,2 años luz de distancia y contener miles de millones de cometas). Los núcleos cometarios se describen como bolas de polvo heladas -o bolas de nieve sucias- y se cree que, tras su formación en los orígenes del Sistema Solar, han permanecido alejados de la radiación solar y a muy bajas temperaturas, de modo que el material que los compone apenas ha sufrido modificaciones desde su formación. Así, serían los restos intactos de la nebulosa solar

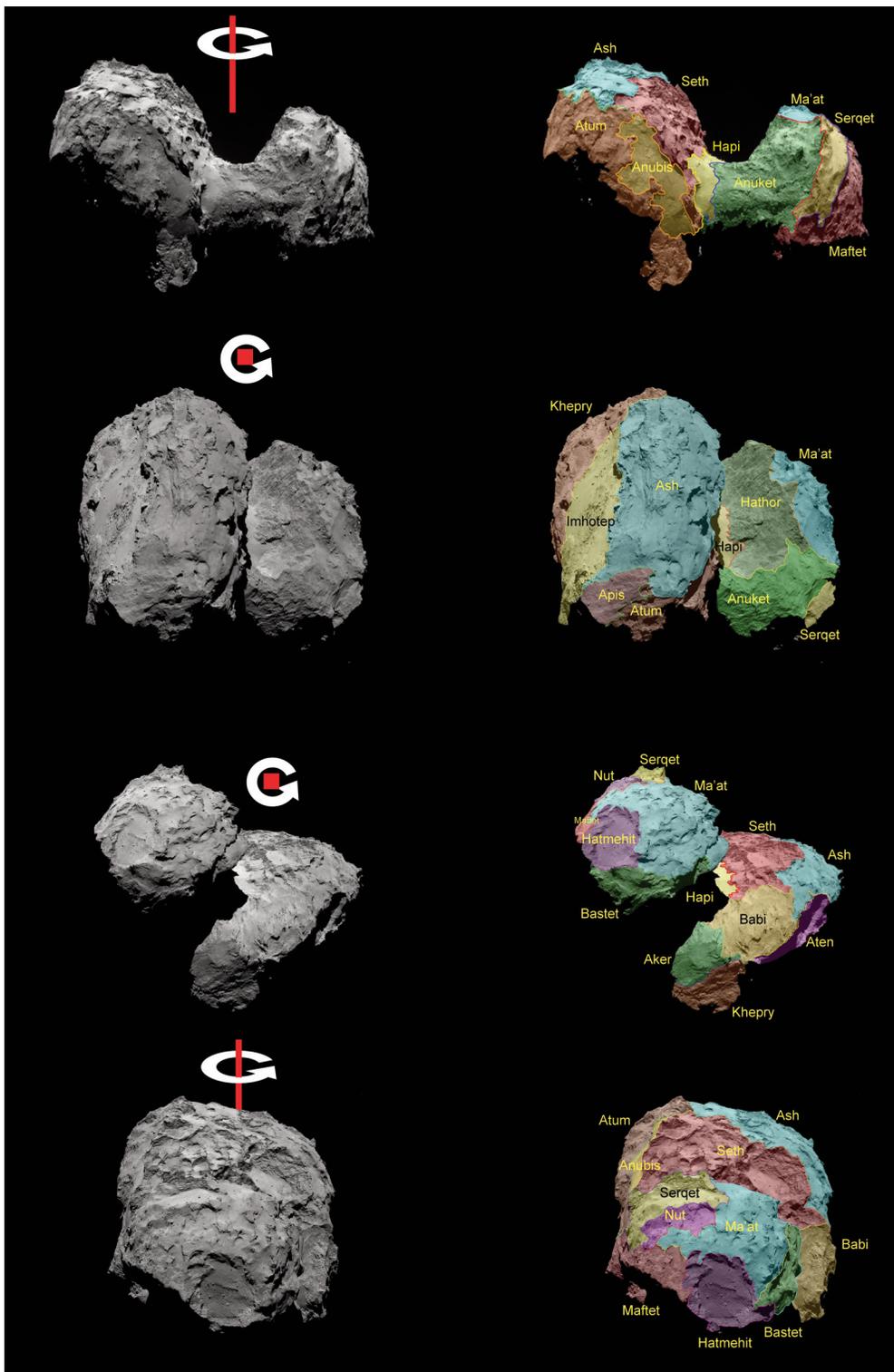
que pueden no solo contarnos cómo se fraguó el Sistema Solar, sino también aportar información sobre la procedencia del agua y de los compuestos orgánicos presentes en nuestro planeta.

La misión Rosetta, gestada en los años ochenta del siglo pasado y aprobada por la Agencia Espacial Europea (ESA) en 1993, supuso un importante desafío tanto científico como tecnológico. El viaje de Rosetta comenzó el 2 de marzo de 2004, cuando despegó desde el Puerto Espacial Europeo en Kourou, en la Guayana Francesa. La sonda dio cinco vueltas en torno al Sol y realizó tres maniobras de asistencia gravitatoria con la Tierra y una con Marte para ganar velocidad y alcanzar una órbita similar a la del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko.

Tras recorrer casi seis mil cuatrocientos millones de kilómetros a través del Sistema Solar, la sonda Rosetta completó con éxito una de sus maniobras clave y se situó en órbita en torno a su objetivo, el cometa 67P, en agosto de 2014. La operación permitió, por primera vez, observar in situ cómo un núcleo cometario despliega su actividad y desarrolla la coma -la mancha difusa central- y las colas, que aportan a los cometas su aspecto característico.

Ilustración de la misión Rosetta y el módulo Philae. Fuente: ESA.





Imágenes del cometa y las distintas regiones diferenciadas por el equipo científico de la misión. Fuente: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

horas. Su lóbulo menor mide 2.6 x 2.3 x 1.8 kilómetros, y el mayor 4.1 x 3.3 x 1.8. El volumen total asciende a 21.4 kilómetros y su masa a unos diez millones de toneladas. Gran parte del cometa se halla cubierto de polvo, que viaja de una región a otra arrastrado por el gas y que en algunas regiones forma una cubierta de varios metros de grosor (se cree que el polvo podría actuar como aislante y preservar los hielos del interior). El hielo parece escaso en una superficie homogénea dominada por el polvo y los compuestos de carbono, pero el aumento de la actividad y la expulsión de polvo puso de manifiesto la existencia de regiones brillantes, que señalan a una presencia ubicua de hielo bajo la superficie del cometa. De hecho, se vio cómo todo el cometa viró hacia el color azul al acercarse al Sol, levantarse el polvo y dejar al descubierto áreas heladas. Incluso se halló hielo de dióxido de carbono, nunca detectado en un cometa.

Y se estudiaron sus estaciones. La combinación de la forma irregular de 67P con su órbita elíptica en torno al Sol y su eje de giro inclinado hace que los dos lóbulos muestren distintas (e irregulares) estaciones: mientras que el hemisferio norte experimenta un verano larguísimo, de 5.6 años, cuando el cometa se halla lejos del Sol, el hemisferio sur vive una corta pero intensa época cálida que dura unos diez meses. Esto produce diferencias esenciales en la actividad y, por lo tanto, en la evolución de cada hemisferio. De hecho, se ha confirmado que 67P tiene ciclos de hielo de agua y de hielo de dióxido de carbono que dependen de sus cambios de temperatura: se estudió una región en la que el hielo aparecía y desaparecía con la rotación del cometa, y otra que mostró una gran extensión de hielo de dióxido de carbono que a los pocos días había desaparecido.

El cometa 67P también mostró otra peculiaridad inesperada, al revelar una enorme región desprovista de campo magnético en torno suyo. Todo el Sistema Solar se halla cubierto de lo que se conoce como viento solar, un flujo de partículas eléctricamente cargadas procedentes del Sol que extienden su campo magnético. Pero los cometas expulsan grandes cantidades de gas y polvo, que bloquean el viento solar: así, se genera en torno al cometa una especie de cavidad sin magnetismo (o cavidad diamagnética) que, en el caso del cometa Halley, se extendía más de cuatro mil kilómetros desde el núcleo. Como 67P es menos activo que el Halley, los investigadores predijeron que la cavidad solo alcanzaría una región de entre

Esta maniobra supuso un hito en la exploración espacial, pero no fue el único que ofreció Rosetta: además de mantenerse en órbita en torno a 67P y acompañarlo en su viaje hacia las regiones internas del Sistema Solar, la nave liberó un módulo robótico que se posó sobre el núcleo del cometa. Su aterrizaje fue accidentado y no pudo anclarse, pero sí tuvo tiempo de recoger muestras y enviar los datos antes de entrar en hibernación.

I. Un objeto complicado

La misión Rosetta supuso una fuente inagotable de sorpresas, y suscitó en más de un comunicado de prensa la frase “un cometa más complicado de lo que habíamos imaginado”: muchos imaginábamos que llegarían

imágenes de una roca irregular y esférica, pero en cambio mostraron un cometa bilobulado que parecía un patito de goma; el cometa despertó (o mostró actividad) antes de tiempo; el módulo Philae comprobó que su superficie era más dura de lo esperado (cuando se temía que hasta pudiera hundirse en el polvo suelto); se observaron sus estaciones (¡verano en un cometa!), sus ciclos de hielo de agua y de dióxido de carbono, una diversidad de terrenos sorprendente y hasta una cavidad diamagnética mayor de lo que se había esperado.

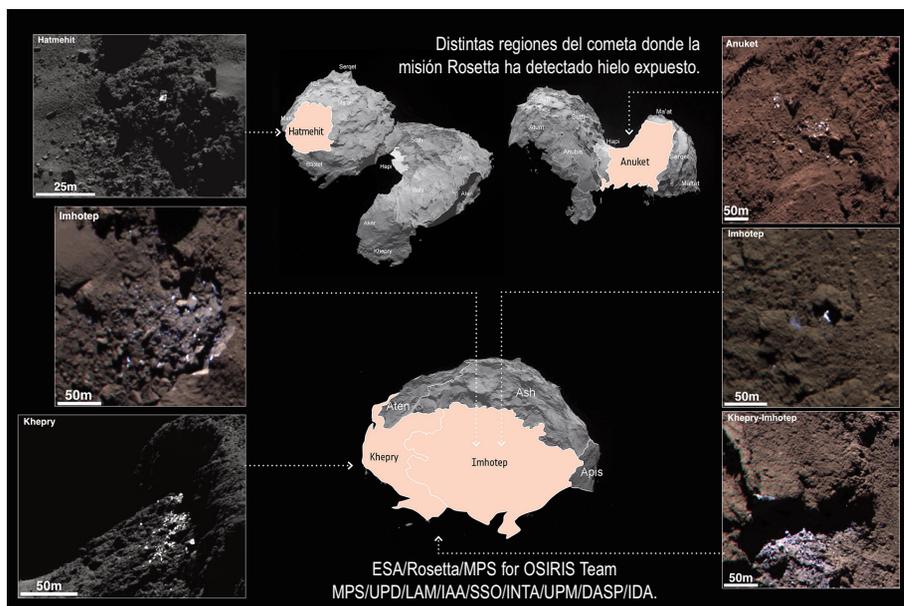
Hoy conocemos muchos de los rasgos de 67P, un cometa con forma extraña. El cometa gira en torno al Sol cada 6.5 años en una órbita elíptica y su día, o el tiempo que tarda en girar sobre sí mismo, dura 12.4

cincuenta y cien kilómetros desde el núcleo y que solo podría detectarse pocos meses antes del máximo acercamiento al Sol. Sin embargo, los investigadores hallaron una cavidad mucho mayor y dinámica de lo que esperaban. Al buscar posibles aumentos locales de actividad que explicaran esta mayor amplitud concluyeron que se debía a la interacción del viento solar con la región libre de magnetismo en la cara del cometa iluminada por el Sol: esta interacción produciría oscilaciones que se propagan y amplifican a lo largo de la cavidad en dirección opuesta al Sol, lo que produce un aumento de tamaño de la cavidad.

II. Los elementos encontrados

El cometa 67P, en su trayectoria en torno al Sol, ha liberado grandes cantidades de vapor de agua, monóxido y dióxido de carbono, pero también otros compuestos que, aunque minoritarios, resultan de gran importancia, porque limitan las condiciones de formación y revelan hasta qué punto los cometas han estado relacionados con la historia de nuestro planeta.

La misión Rosetta ha detectado por primera vez oxígeno molecular. El oxígeno es un elemento muy común en el universo, pero muy difícil de localizar en su forma más simple (oxígeno molecular, u O_2), ya que se trata de un elemento muy reactivo: los átomos de oxígeno tienden a combinarse con átomos de hidrógeno para formar moléculas de agua (H_2O), o se unen para formar moléculas de ozono (O_3). De hecho, el oxígeno molecular nunca se había hallado en un cometa y su detección en 67P ha constituido una sorpresa. El análisis de más de tres mil muestras recogidas entre septiembre de 2014 y marzo de 2015 no solo mostró una abundancia inesperada (de entre un 1% y un 10% con respecto al agua), sino que además reveló una clara y continua relación entre ambos elementos, lo que sugiere que sus mecanismos de liberación y el modo en el que llegaron a formar parte del núcleo del cometa se hallan encadenados: así, parece probable que el oxígeno molecular se incorporara al hielo de agua durante la formación del cometa y que esté liberándose con el vapor de agua. Sin embargo, no se comprende del todo cómo se enlazaron ambos elementos: podría haber tenido lugar bien en las primeras etapas de la nebulosa protosolar (para lo que se requerirían unas temperaturas muy específicas), o bien en etapas posteriores, con la incorporación de granos de polvo helados antes del final de la etapa de acumulación de material en el núcleo del cometa. Ambos mecanismos requieren un proceso de formación muy suave, o de lo contrario el oxígeno molecular se habría perdido.



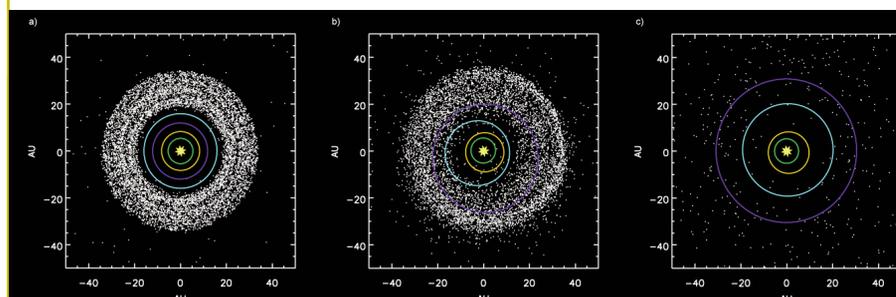
Otro hallazgo inédito tiene relación con el nitrógeno molecular, un elemento muy buscado en los cometas (el nitrógeno siempre se había hallado enlazado a otros elementos). Se cree que el nitrógeno molecular era la forma más común en la que existía este elemento durante la formación del Sistema Solar, y se ha hallado en abundancia en Titán y Tritón, satélites de Saturno y

Neptuno respectivamente, así como en la atmósfera y superficie de Plutón. Su detección en 67P implica una temperatura de formación muy baja, necesaria para que quede atrapado en el hielo, y ha resuelto una de las incógnitas relacionadas con el origen de los compuestos hallados en la Tierra. El nitrógeno constituye un elemento mayoritario en la atmósfera terrestre y un elemento esencial

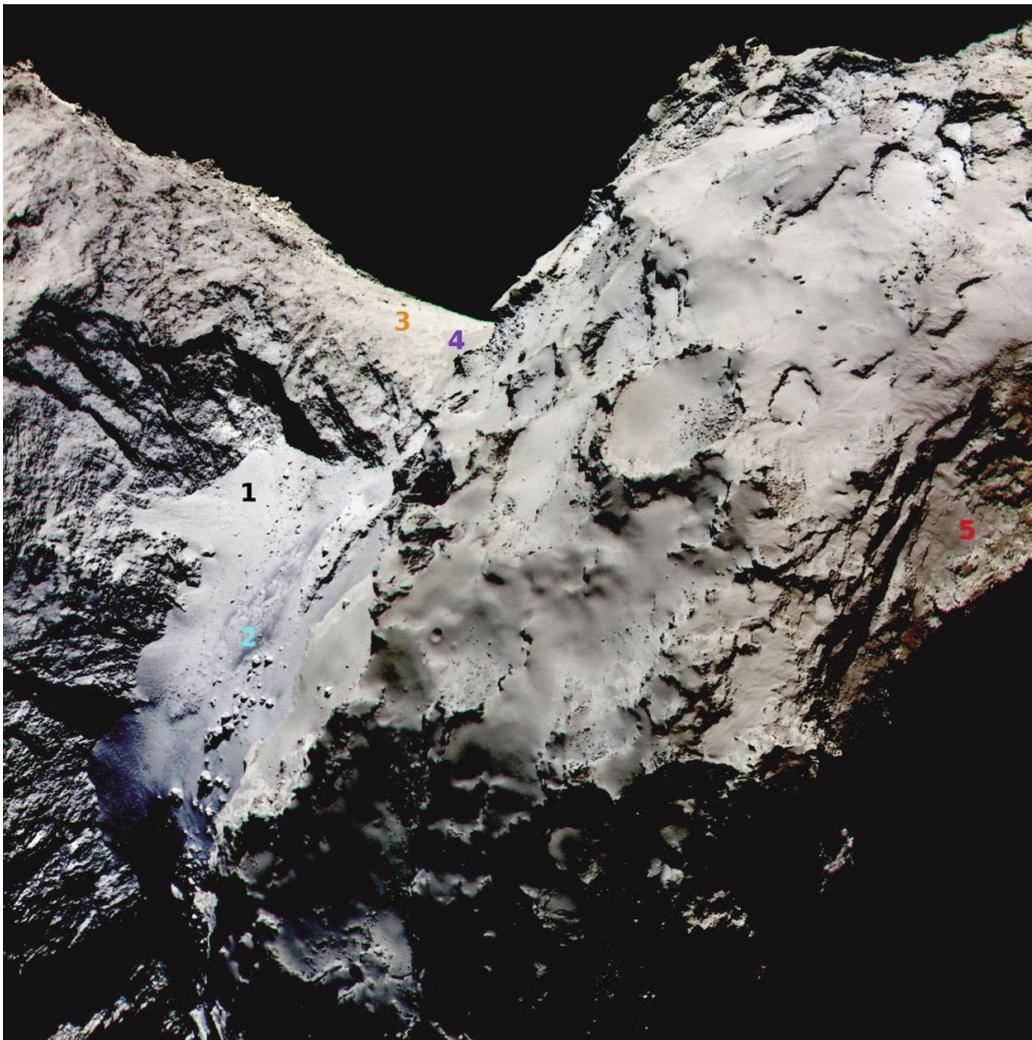
Baile de planetas en el pasado del Sistema Solar

Los lugares que ocupan los cuerpos del Sistema Solar son distintos que los que ocuparon durante su formación. Según el modelo más ampliamente extendido (el modelo de Niza), los planetas gigantes gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), se formaron más cerca del Sol y en una distribución más compacta que la actual: al poco de disiparse el gas y el polvo del disco protoplanetario, los gigantes gaseosos se hallaban agrupados a una distancia del Sol de entre 5,5 y 17 Unidades Astronómicas, o UAs (una UA es equivalente a la distancia de la Tierra al Sol, o 150 millones de kilómetros), en tanto que a día de hoy esa distancia se sitúa entre las 5 UAs a las que se encuentra Júpiter y las 30 UAs de Neptuno. Más allá de los gigantes gaseosos, entre las 15 y las 30 UAs, existía un enjambre de pequeños objetos rocosos y helados con una masa total equivalente a unas treinta y cinco veces el planeta Tierra,

cuya interacción con el más distante de los planetas gigantes produjo una serie de movimientos encadenados. En un momento dado, las órbitas de Júpiter y Saturno entraron en resonancia, lo que desestabilizó todo el sistema, provocando que Urano y Neptuno intercambiaron posiciones y se desplazaran a distancias mayores del Sol, y que los pequeños cuerpos helados alcanzaran distancias aún mayores (esta evolución dinámica implicó también que algunos se desviaran hacia las regiones internas del Sistema Solar, lo que sería el origen del Gran Bombardeo Tardío). Así, por una serie de carambolas, los cometas de largo periodo (los procedentes de la nube de Oort) se formaron en realidad mucho más cerca del Sol, en la región que hoy ocupan Urano y Neptuno, en tanto que los de corto periodo muy posiblemente se originaron más allá de Neptuno.



Simulación que muestra el cinturón de planetesimales y los planetas externos. a) una primera configuración, antes de la entrada en resonancia de Júpiter y Saturno; b) cambio de órbitas entre Neptuno (morado) y Urano (azul) y dispersión de los planetesimales; y c) tras la expulsión de los planetesimales.



Detalle de la superficie de 67P. ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

para la vida y, aunque se cree que el nitrógeno atmosférico provino de las rocas del manto y se liberó a través de erupciones volcánicas, aún se desconocía hasta qué punto los cometas pudieron contribuir en el aprovisionamiento de nitrógeno. El análisis de los tipos de nitrógeno hallados en 67P y su comparación con los terrestres ha mostrado que, en principio, los cometas de la familia de Júpiter como 67P no surtieron de nitrógeno a la Tierra primigenia.

Un resultado similar se ha obtenido con el estudio y comparación del agua, uno de los elementos clave en el estudio de los cometas. La región en la que se formó la Tierra era demasiado cálida para albergar hielos, y se cree que la gran cantidad de agua existente en los océanos terrestres debió proceder del impacto de objetos procedentes de las regiones externas del Sistema Solar cuando nuestro planeta ya se había enfriado. Se sabe, gracias sobre todo al estudio de los cráteres de la Luna y Mercurio, que la Tierra (y todo el Sistema Solar interno) sufrió un bombardeo muy intenso de objetos hace entre 3.800 y 4.100 millones de años - el Gran Bombardeo Tardío-, y los cometas, con un alto contenido en agua, eran uno de

¿Influyeron los cometas en la evolución de nuestro planeta? Rosetta ha permitido determinar que sí afectaron a la composición de la atmósfera terrestre pero no (o no mayormente) a los océanos

los posibles proveedores del agua terrestre. La clave para establecer una relación definitiva entre el agua terrestre y cometaria se halla en la relación entre el hidrógeno y el deuterio -un isótopo del hidrógeno cuyo núcleo está formado por un protón y un neutrón, a diferencia del hidrógeno que carece de neutrón-. Esta relación es importante porque, según los modelos de formación y evolución temprana del Sistema Solar, debería cambiar con la distancia al Sol y con el tiempo a lo largo de los primeros millones de años. Así, comparando la relación hidrógeno/deuterio del agua terrestre con la de distintos cuerpos celestes puede determinarse hasta qué punto cada tipo de objeto ha contribuido a la formación de los océanos.

Y, en tanto que el agua estudiada en los asteroides sí que resulta compatible con la de los océanos terrestres, de los once cometas en los que ha podido estudiarse la relación hidrógeno/deuterio solo uno, el 103P/Hartley 2, apuntaba a una posible contribución de los cometas al agua terrestre. En ese sentido era muy interesante una medición de este parámetro por Rosetta, que ha mostrado que el agua del cometa 67P no solo muestra una relación hidrógeno/deuterio tres veces mayor que el agua de nuestros océanos (y que Hartley 2, un cometa de su misma familia), sino que además es superior a la medida en los cometas de largo periodo, procedentes de la nube de Oort. Este resultado no solo favorece la hipótesis que afirma que fueron los asteroides quienes más contribuyeron al agua terrestre y que la contribución (al menos la de los cometas de corto periodo) fue mínima, sino que también apunta a que los cometas de la familia de Júpiter quizá se formaron en un rango de distancias mucho más amplio de lo que se pensaba hasta ahora (ver recuadro en la página anterior).

Donde sí se ha hallado una relación entre los cometas y nuestro planeta es en el contenido de gases nobles, más específicamente xenón. De hecho, el hallazgo de xenón establece un enlace claro entre los cometas y nuestra atmósfera: el tipo de xenón hallado en el cometa 67P se asemeja a lo que se conoce como U-xenón, la mezcla primordial que los científicos piensan que llegó a la Tierra durante las primeras etapas del Sistema Solar.

El xenón es un gas incoloro e inodoro que se produce en diversos procesos estelares, como las explosiones de supernova o la fusión de estrellas de neutrones, que dan lugar a distintos isótopos. Como el resto de gases nobles, el xenón no interacciona con otros compuestos químicos, de modo que constituye un buen trazador del origen del material que compone el Sistema Solar y se ha medido su abundancia en entornos como la atmósfera de Marte, los meteoritos, el viento solar o la propia atmósfera terrestre. La mezcla de xenón que existe en nuestra atmósfera a día de hoy muestra una mayor abundancia de isótopos pesados que ligeros, lo que se debe a que estos segundos escapan al espacio con mayor facilidad. Corrigiendo este efecto de escape se calculó cómo debía ser la mezcla primigenia de xenón presente en la Tierra, que se conoce como U-xenón y que contenía una mezcla de isótopos ligeros parecida a la del viento solar o de los asteroides pero con bastantes menos isótopos pesados. Una posible explicación a esta diferencia reside en que el U-xenón terrestre no procede directamente de la nebulosa solar, sino que fue modificado en etapas

posteriores por impactos de cometas. La búsqueda de xenón en 67P era, en este contexto, un objetivo prioritario, aunque arriesgado: el estudio de los distintos isótopos requería que Rosetta se acercara, durante un periodo de tres semanas, a una distancia de entre cinco y ocho kilómetros del núcleo cometario. Esto pudo lograrse en mayo de 2016, nueve meses después del perihelio del cometa (y pasado el pico de actividad), y el análisis mostró que la mezcla de isótopos de xenón en 67P era diferente a la del viento solar y a la de la atmósfera terrestre, pero que sin embargo estaba cercana a la mezcla de la Tierra primigenia. De hecho, el estudio de los datos de Rosetta ha permitido establecer la primera relación cuantitativa entre los cometas y la atmósfera de la Tierra: se estima que el 22% del xenón presente en la Tierra primitiva procedía de los cometas, mientras que el resto proveniría de los asteroides. Además, la diferente mezcla de xenón hallada en los cometas y en otras regiones del Sistema Solar apunta a que la nube protosolar que dio lugar al Sol, los planetas y los cuerpos menores presentaba una composición química poco homogénea (un resultado que confirmarían otros datos de Rosetta, como el de la relación deuterio/hidrógeno del agua o las abundancias de silicio, también distintas a las medidas en otras regiones del Sistema Solar).

Con los compuestos analizados hasta ahora llevamos un empate en lo que se refiere a la posible influencia de los cometas en la evolución de nuestro planeta: sí afectaron a la atmósfera pero no (o no mayormente) a los océanos. Y el desempate llega con otra de las razones primordiales por la se estudian estos cuerpos helados, y que planteó un bioquímico español, Juan Oró, en 1961: se conocía que los cometas son ricos en agua y carbono, y podrían haber constituido la fuente de moléculas basadas en la química del carbono, como los aminoácidos. Así, las moléculas precursoras de la vida en nuestro planeta podrían proceder de las regiones externas del Sistema Solar.

Y Rosetta ha aportado valiosa información al respecto. La misión ha realizado la primera detección inequívoca de glicina en un cometa (la misión Stardust mostró indicios de la existencia de glicina en el cometa Wild 2, pero las muestras pudieron haberse contaminado). La glicina es el único aminoácido que no requiere un medio acuoso para su formación, y su detección resulta difícil porque pasa a estado gaseoso a altas temperaturas (unos 150 grados), algo poco habitual en los cometas. Rosetta no solo ha realizado varias detecciones, sino que ha puesto en evidencia una relación entre la glicina y el polvo, que sugiere que posiblemente se libera cuando el manto helado de los granos

de polvo se calienta en la coma del cometa. Rosetta también ha hallado, en el cometa 67P, multitud de moléculas orgánicas así como fósforo, uno de los elementos clave en los organismos vivos (se halla en las membranas de las células y también en los ácidos nucleicos, ADN y ARN), lo que apoya la teoría de que, en efecto, los cometas surtieron a la Tierra primigenia de moléculas clave para la química prebiótica.

III. La actividad cometaria

Los cometas adquieren su apariencia característica cuando se aproximan al Sol, los hielos subliman y emergen la coma y la cola. Esto es lo que se conoce como actividad cometaria, que muestra una evolución creciente según disminuye la distancia al Sol, y también episodios aislados y más violentos de actividad, en los que el brillo del cometa se intensifica súbitamente.

La misión Rosetta proporcionó datos sobre la actividad de 67P antes de lo previsto, ya que detectó indicios de actividad cuando el cometa se hallaba a más de seiscientos millones de kilómetros del Sol (más de cuatro veces la distancia entre la Tierra y el Sol), una distancia mucho mayor de lo esperado. Su posición, en órbita en torno al cometa, hizo realidad un deseo de los expertos en cometas, ya que cuando comienza la actividad el núcleo suele quedar oculto tras la coma y solo gracias a Rosetta hemos podido vislumbrar qué le ocurre cuando aumenta la temperatura en su acercamiento al Sol.

Las semanas anteriores o posteriores al peri-

helio, o región de la órbita más cercana al Sol, constituyen un momento culminante de actividad, y el análisis de los cambios que la superficie del cometa 67P Churyumov-Gerasimenko ha sufrido en esta fase apunta a un pasado más activo. La cámara OSIRIS, a bordo de la misión Rosetta, pudo fotografiar todo el proceso de actividad de 67P desde su despertar, en mayo de 2014, hasta el máximo acercamiento al Sol, que tuvo lugar en agosto de 2015, y en su progresivo distanciamiento del mismo.

Y la comparación de las imágenes obtenidas a lo largo de dos años, que cubren escalas de metros o incluso menos, ha permitido analizar qué cambios se han producido en la superficie del cometa en su viaje alrededor del Sol.

Entre los cambios destacan el derrumbamiento de paredes de roca en varias regiones, la prolongación unos treinta metros de la fractura de más de medio kilómetro de largo que atraviesa el cuello del cometa y la formación de otras más pequeñas paralelas a esta, o el desplazamiento de grandes masas rocosas: en la región de Khonsu, una roca de más de veinte metros de lado y con un peso equivalente en la Tierra de doscientos cincuenta kilos se movió unos ciento cuarenta metros, posiblemente debido a eventos explosivos ocurridos en el entorno.

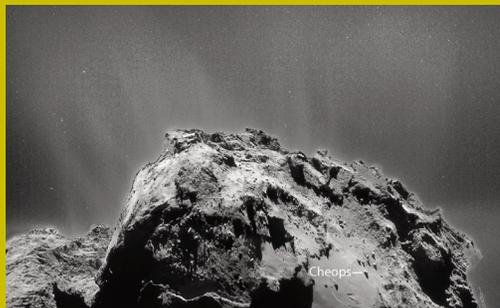
Además, se ha observado el transporte de material no consolidado en la superficie del cometa, que ha dejado al descubierto terrenos antes ocultos: por ejemplo, en la región de Imhotep se desvelaron unas estructuras circulares que en las imágenes de 2014 apa-

Compilación de los episodios de actividad más intensos fotografiados por la misión Rosetta entre julio y septiembre de 2015. Fuente: OSIRIS: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA; NavCam: ESA/Rosetta/NavCam – CC BY-SA IGO 3.0





Pozo en 67P.



Chieops

67P rodeado de una nube de polvo

¿Qué nos dicen los granos de polvo que la misión Rosetta ha estudiado en los alrededores y en la misma superficie del cometa? Lo que conocíamos del polvo cometario procedía del estudio desde Tierra de la interacción de los granos de polvo con la luz solar, así como de muestras halladas en la alta atmósfera terrestre y en el cometa Wild 2 recogidas por la misión Stardust, que mostraban que no se trata de partículas compactas, sino de agregados de granos diminutos (con tamaños inferiores a la micra). Pero, ¿son esos granos material prístino, o inalterado? No había manera de saberlo, porque las muestras estaban dañadas: las halladas en la atmósfera llevaban tiempo sometidas a la radiación solar, y las del cometa Wild 2 se recogieron a cientos de kilómetros de la superficie del cometa a una velocidad de más de seis kilómetros por segundo, y el impacto con la célula colectora las dañó (no obstante, la misión Stardust sí pudo recoger y estudiar partículas compactas y halló glicina en Wild 2). Rosetta recogió muestras a pocas decenas de kilómetros de distancia del núcleo de 67P y, aunque un primer análisis apuntaba a agregados de granos con un tamaño de varias micras, un segundo análisis mostró que esos granos estaban a su vez formados por partículas más pequeñas, lo que supuso la primera evidencia de una estructura jerárquica del polvo cometario.

recían cubiertas, y que resultan similares a otras que aparecieron y desaparecieron en la región de Hapi y que parecen un indicio de la erosión de materiales -de hecho, el retorno a las condiciones iniciales ha sido frecuente en varios de los cambios observados-. Incluso, se ha documentado por primera vez una relación inequívoca entre un estallido y el derrumbamiento masivo de un acantilado.

Sin embargo, todos los cambios resultan locales y no han afectado a los grandes accidentes geográficos de 67P, lo que indica que la orografía del cometa se fraguó en una etapa anterior en su historia. Se sabe que la interacción gravitatoria de Júpiter ha modificado al menos dos veces la órbita de 67P, en 1940 y en 1959, en las que la distancia mínima al Sol pasó de ser 600 millones de kilómetros (insuficiente para activar el cometa) a 410 y 186 millones de kilómetros respectivamente.

Los investigadores creen que los grandes relieves de 67P pudieron formarse bien en órbitas anteriores en esta misma configuración orbital, o bien en épocas aún más preteritas, pero sin duda el cometa vivió en su pasado un periodo de actividad mucho más intenso del que ha podido documentar la misión Rosetta.

Los "pozos" de 67P

En 1988 se hallaron, en el núcleo del cometa Halley, unas cavidades circulares y profundas similares a pozos naturales. El origen de estas estructuras, habituales en los cometas, se ha discutido durante décadas. Las observaciones del cometa 67P permitieron detectar actividad en los pozos cometarios por primera vez y sugerir el mecanismo que los produce.

Se hallaron dieciocho pozos solo en el hemisferio norte del cometa 67P, con medidas de entre decenas y cientos de metros de diámetro y varios cientos de metros de profundidad. Su análisis permitió descartar tanto procesos de sublimación normales como eventos explosivos, y se planteó un nuevo mecanismo, denominado "colapso de sumidero" (*sinkhole collapse*), que sugiere la existencia de cavidades situadas entre cien y doscientos metros bajo la superficie del cometa y cuyo techo termina por derrumbarse. Así se crea un pozo profundo y circular, en cuyas paredes queda expuesto material no procesado que comienza a sublimar y produce los chorros observados.

Aunque el colapso es repentino, la cavidad puede datar de la formación del núcleo cometario o deberse a la sublimación de hielos más volátiles que el de agua, como el de monóxido o dióxido de carbono, o a la existencia de una fuente de energía interna que desencadene la sublimación.

¿Son las paredes fracturadas el origen de los chorros?

La misión Giotto mostró, en 1986, que la actividad del cometa Halley no se hallaba distribuida a lo largo de toda la superficie del núcleo cometario, sino que la mayor parte de este se mostraba oscuro e inactivo en tanto que, en diversas regiones, se observaban intensas y localizadas eyecciones de

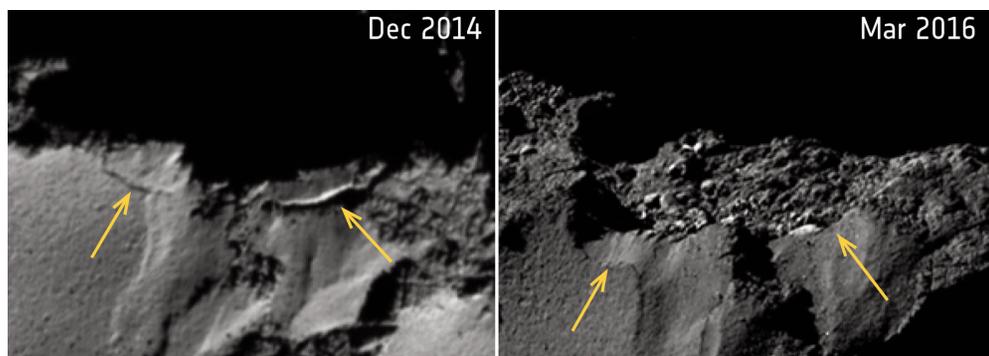
gas y polvo. Estos chorros han sido estudiados desde entonces pero aún no se había determinado el mecanismo que los produce. Meticulosas observaciones de los chorros del hemisferio norte en el cometa 67P asocian estos fenómenos con "acantilados" o paredes fracturadas (entre ellos los de los pozos anteriormente descritos), y se ha descrito un posible escenario para el desencadenamiento de los chorros.

En un primer momento, y debido a procesos mecánicos o térmicos, aparecen fracturas, que se propagan hacia el interior y permiten que el calor penetre en regiones protegidas, hasta alcanzar los compuestos volátiles antes aislados. El hielo comienza a sublimar y escapa a través de las fracturas, que concentran el escape y aumentan la presión del gas hasta que este comienza a arrastrar partículas de polvo a su paso, lo que genera los chorros. Todo este proceso debilita la pared, que termina por derrumbarse, lo que se ajusta a las observaciones ya que las regiones activas muestran bloques o restos de los posibles derrumbamientos.

IV. 67P por dentro: ¿es de verdad prístino?

La misión Rosetta ha producido los mejores datos jamás obtenidos sobre un núcleo cometario, unos datos que han permitido determinar por primera vez de forma directa su densidad, caracterizar en detalle las diferentes regiones de su superficie o estudiar cómo se desencadena la actividad que genera la envoltura (o coma) y las colas de los cometas.

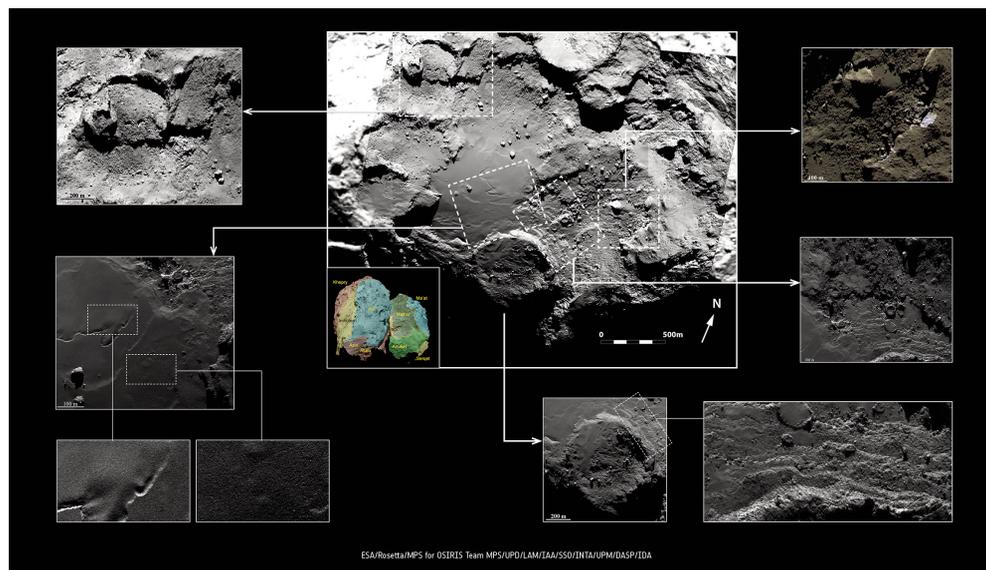
Una de esas cuestiones fundamentales es la estructura interna de los núcleos cometarios, que requiere conocer su densidad, una magnitud que hasta ahora solo se conocía por estimaciones indirectas. La misión Rosetta ha logrado determinar de forma directa la densidad de 67P, un cuerpo la mitad de denso que el agua y que, dado su tamaño, debe de estar vacío en un 80%. Ahora, ¿cómo es 67P por dentro? Era muy importante determinar si esa porosidad es producto de grandes huecos o puede acotarse a escalas pequeñas, lo que enlaza con la cuestión fundamental de si verdaderamente los cometas son cuerpos primigenios.



Fotografías que muestran el derrumbamiento de una pared de roca.

La propia forma del cometa, cuya estructura bilobulada recuerda a un patito de goma, aportó una importante pista. Si bien al principio se barajó la opción de que la región entre los lóbulos (también conocida como “cuello” del cometa) fuera producto de la erosión, finalmente se concluyó que el cometa surgió por la fusión de dos objetos independientes durante la formación del Sistema Solar. Y una fusión podría suponer altas temperaturas y procesamiento de material, pero las evidencias apuntan a una fusión lenta (de hecho, se trata de la primera firma de una interacción no violenta entre dos cuerpos de nuestro sistema planetario). Cada uno de los lóbulos muestra estratos de material muy uniformes, lo que apunta a que se formaron por acumulación de material en la misma región antes de fusionarse. Un trabajo realizado con datos de la misión ha ahondado aún más en ese proceso de formación y plantea que los fragmentos de hasta un kilómetro se formaron durante los primeros cuatro millones de años mediante un acrecimiento de cometesimales a una velocidad inferior a dos metros por segundo, un crecimiento que permite la acumulación de material sin pérdida de compuestos volátiles. En una segunda fase estos fragmentos se apilarían también lentamente (a una velocidad máxima de cincuenta metros por segundo) y formarían capas mediante compresión suave. Aunque la superficie del cometa mostró una dureza superior a la esperada y se comprobó que había sufrido modificaciones por el calor (lo que descarta que se trate de material prístino), los pozos fotografiados por Rosetta -de hasta cien metros de profundidad y anchura- permitieron observar las regiones internas y hallar lo que se denominó “carne de gallina”, y que se refiere a un tipo de terreno cubierto de abombamientos esféricos de unos tres metros de diámetro cuyo tamaño coincide con lo que, se cree, serían los cometesimales más resistentes de la primera fase de acrecimiento (es decir, los primeros ladrillos del núcleo cometario).

La propia densidad del cometa, excepcionalmente baja, sugiere que el núcleo creció de forma tranquila y sin impactos, o de otro modo un material tan frágil se hubiera compactado más. De hecho, las observaciones de Rosetta apuntan a que 67P se formó en condiciones muy frías y a que su procesado ha sido mínimo, al contrario de lo que ocurre con los objetos transneptunianos (o TNOs), también cuerpos menores del Sistema Solar situados en una región más allá de Neptuno que sí parecen haber sufrido modificaciones debido al calor. Esta diferencia impuso una revisión de los modelos existentes sobre la formación de objetos en las fases iniciales de la forma-



La resolución de OSIRIS, que alcanza detalles de pocas decenas de centímetros, ha desvelado una variedad morfológica inesperada a lo largo de la superficie de 67P. Se han clasificado numerosas regiones distintas en el núcleo del cometa, que se agrupan en cinco categorías básicas: terrenos cubiertos de polvo, material frágil con fosas y estructuras circulares, grandes depresiones, superficies lisas y zonas de material consolidado.

ción del Sistema Solar y se ha propuesto una hipótesis que plantea que los grandes objetos transneptunianos se formaron rápidamente durante el primer millón de años de la nebulosa solar, durante los que existían corrientes de gas que aceleraron el crecimiento hasta tamaños de cuatrocientos kilómetros. Una vez agotado el gas (dos millones de años después), y a lo largo de un periodo mucho mayor (unos cuatrocientos millones de años), estos objetos siguieron creciendo agregando material sólido mientras su interior se compactaba, y algunos alcanzaron tamaños como el de Plutón. En cambio, los cometas siguieron una senda evolutiva diferente y, en cierto sentido, crecieron a la sombra de los TNOs. Una vez concluida la primera fase rápida de acrecimiento, los restos helados y pequeños fragmentos que quedaron en las regiones externas de la nebulosa solar fueron agregándose despacio, formando cometesimales de hasta unos cinco kilómetros de tamaño en el tiempo que tardó en agotarse el gas. Los grandes TNOs ejercieron, además, su influencia gravitatoria en los cuerpos y el material sobrante de su entorno, lo que permitió que los cometas acumularan materia más rápidamente a lo largo de los siguientes veinticinco millones de años (formando sus capas más externas) y que se produjera la fusión de algunos objetos mayores, como la que dieron lugar al cometa 67P.

Otra evidencia que apunta a que el material que formó 67P no sufrió grandes modificaciones son unos granos de polvo detectados por Rosetta. Se trata de agregados de partículas submilimétricas con una densidad parecida a la del aire, un tamaño máximo de pocos milímetros y una distribución homogénea a lo largo de todo el cometa.

Este tipo de agregados, muy ligeros y frágiles, se relacionan con el polvo interestelar y podrían constituir el componente verdaderamente primigenio, existente en la nebulosa solar incluso antes del nacimiento del Sol, que permaneció alejado de cualquier procesamiento antes de comenzar a aglomerarse para formar el cometa 67P. Así que parece que sí: el interior de 67P es prístino.

V. El fin

En septiembre de 2016, algo más de un año después del perihelio, la nave Rosetta ya apenas recibía energía solar para seguir operando (su única fuente de alimentación eran los paneles solares), de modo que se llevó a cabo una maniobra de descenso controlado sobre el cometa. Pero este gran final tuvo lugar con la mayoría de instrumentos en activo, de modo que esos últimos momentos permitieron estudiar el cometa desde una proximidad única. Así nos despedimos de una misión verdaderamente histórica, cuyos datos aún siguen produciendo resultados y que, además, estuvo acompañada de un excelente programa de difusión de resultados que sigue disponible en el blog de la misión (blogs.esa.int/rosetta). Y de una serie de dibujos animados que convirtieron a Rosetta y al módulo Philae en dos criaturas tiernísimas de quienes nos costó despedirnos.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía participó en dos de los once instrumentos a bordo de la nave, la cámara OSIRIS y el instrumento para el análisis de polvo GIADA, y está participando activamente en la obtención de resultados científicos de la misión.

Jansky y el nacimiento de la radioastronomía

LA RADIOASTRONOMÍA ABRIÓ UNA PUERTA DE ESTUDIO AL UNIVERSO NUEVA Y SORPRENDENTE. NACIÓ GRACIAS A LA PERSEVERANCIA DE UN JOVEN FÍSICO QUE TRABAJABA EN LA MEJORA DE LAS COMUNICACIONES TRANSOCEÁNICAS

Por Miguel Pérez-Torres
(IAA-CSIC)

LOS RADIOASTRÓNOMOS MIDEN LA INTENSIDAD DE LAS SEÑALES (O DENSIDAD DE FLUJO) DE LAS RADIOFUENTES EN “JANSKYS” (JY). Un jansky es una unidad muy, muy pequeña*. Las radiofuentes más potentes, aparte del Sol, tienen entre cinco y mil Jy, y son típicamente remanentes galácticos de supernovas. Fuera de nuestra galaxia, las radiofuentes más potentes corresponden a cuásares, y suelen tener del orden del Jy a longitudes de onda centimétricas.

El nombre de esta unidad de medida rinde homenaje al padre de la radioastronomía, Karl G. Jansky, de quien el pasado 22 de octubre de 2017 se cumplió el 111 aniversario de su nacimiento.

Influencia temprana

El padre de Jansky, Cyril, había nacido en Wisconsin en una familia de inmigrantes checos, y allí se licenció y doctoró en física e ingeniería eléctrica por la universidad de Michigan. Fue también allí donde el padre de Karl Jansky trabajó bajo la dirección de Karl Guthe, un físico germano-americano del que Cyril aprendió muchísimo y por quien



Karl G. Jansky apuntando a la región del plano galáctico de donde provenía la señal radio (crédito NRAO).

profesaba verdadera admiración. En 1904, Cyril Jansky y Karl Guthe pasaron a formar parte de la plantilla del Comité de estándares de los EE.UU., en Washington. En 1905, los Jansky, que tenían entonces dos hijos, se mudaron a la universidad de Oklahoma en Norman. Cuando el tercer hijo nació poco después de llegar a Oklahoma, los Jansky le pusieron el nombre de Karl Guthe en recuerdo del científico y profesor cuya guía había sido tan importante para Cyril Jansky. Tres años más tarde, los Jansky se mudaron a Madison, Wisconsin, donde el padre de Karl había conseguido un puesto como profesor en

la universidad. En 1927, tras haber cursado todos sus estudios de primaria, secundaria y universidad, Karl Jansky se licenció en ciencias, en la especialidad de físicas. Nueve años más tarde, en 1936, obtuvo el grado de máster en físicas por la misma universidad.

El destino desempeñó, como en tantas ocasiones, un papel no menos fundamental que la preparación académica o el carácter de Karl G. Jansky en lo que sería el descubrimiento de una nueva ciencia. En efecto, en 1928, Jansky se presentó a una oferta de trabajo de los laboratorios Bell. Inicialmente se rechazó su solicitud por razones físicas.



Karl G. Jansky junto a la antena con la que detectó la señal de origen extraterrestre en 1932.

“La continua toma de datos y el reanálisis de los mismos le permitió concluir que el ruido estático tenía origen más allá del Sistema Solar. Acababa de nacer una nueva ciencia: la radioastronomía”

receptora. Jansky inició la construcción de la antena en agosto de ese mismo año, pero los laboratorios Bell decidieron mudar la estación de Cliffwood a Holmdel (el mismo sitio donde Penzias y Wilson descubrieron casualmente, treinta y cinco años más tarde, el fondo cósmico de microondas). Esto retrasó la toma de medidas hasta el otoño de 1930. Entonces comenzó un largo periodo de tiempo dedicado a la rutinaria y tediosa toma de datos para caracterizar la señal recibida por la antena en función del tiempo y la dirección. En 1932, Jansky había tomado suficientes datos como para concluir que había tres grupos de ruido estático: dos de ellos se explicaban por la existencia de tormentas, mientras que el tercero “era de un tipo desconocido, pero cuya dirección y repetición temporal indicaban que el ruido estaba de alguna manera asociada al Sol” (1). En este artículo, Jansky presentaba de modo conciso todo el trabajo realizado: descripción del diseño de la antena y del equipo receptor, presentación de la cuidadosa toma de datos y su interpretación, que de modo modesto presentó en abril de 1933 en una conferencia titulada “Ruido eléctrico de origen aparentemente extraterrestre”. Ese mismo año, en un artículo publicado en la revista *Nature* (2), Karl Jansky presentó nuevos datos que confirmaban el origen “extraterrestre” de la señal. Más aún, la continua toma de datos y un reanálisis de los mismos le permitió concluir que el ruido estático tenía su origen más allá del Sistema Solar. Acababa de nacer una nueva ciencia: la radioastronomía.

La perseverancia con la que Karl Jansky acumuló datos científicos, así como la objetividad y el ingenio creativo que mostró al realizar el descubrimiento crucial que dio origen a la radioastronomía, no fueron mera casualidad. El ambiente familiar y su preparación académica contribuyeron muchísimo. Pero también el destino, y el aprovechamiento de esa oportunidad que te pasa por delante, y que unas veces se deja escapar y otras no. Karl Jansky no la dejó escapar.

REFERENCIAS

(1) Karl G. Jansky, “Directional Studies of Atmospherics at High Frequencies”. *Proceedings of the IRE*, Vol. 20, p. 1920 (1932)

(2) Karl G. Jansky, “Radio Waves from Outside the Solar System”, *Nature* 132, 66 (1933)

Pero Karl tuvo la fortuna de que su hermano mayor, Cyril, había sido trabajador de la plantilla de los laboratorios Bell diez años antes y todavía conocía a algunos miembros del departamento de personal (ahora “recursos humanos”). Cyril les aseguró que el riesgo de contratar a Karl Jansky merecía la pena. Aunque estas palabras debieron de influir en la contratación de Jansky, ciertamente los laboratorios Bell nunca tuvieron una razón para lamentar esta decisión.

El elemento fortuna volvió a jugar a favor de Karl Jansky: el proyecto que los laboratorios Bell le encargaron en 1928 tenía que ver con el estudio de la propagación de determinados fenómenos en radio, con Jansky a cargo de la estación de Cliffwood, en New Jersey. Jansky debía caracterizar ciertos factores, desconocidos entonces, que afectaban al funcionamiento de los circuitos radiotelefónicos transoceánicos de la compañía Bell. El proyecto científico era pues de carácter esencialmente aplicado y con un objetivo muy claro: la mejora del servicio radiotelefónico transoceánico.

La tecnología de principios del siglo XX había avanzado mucho en el campo de

los circuitos de radio, de modo que tanto la instalación emisora como la receptora (cada una a un lado del océano) podían caracterizarse muy bien. Sin embargo, no hay nada que se pueda hacer por modificar el medio de transmisión, que es el que la naturaleza permite. Afortunadamente, a través del estudio de la señal y un análisis científico de los resultados se puede obtener una información extremadamente valiosa sobre cómo afecta el medio de transmisión a la señal de radio. Jansky tenía claro que debía caracterizar el ruido estático y de interferencia para minimizar este impacto en las transmisiones transoceánicas. Aunque algo de trabajo ya se había realizado a longitudes de onda muy largas, de unos cuatro mil metros, las comunicaciones en radio se querían desarrollar a longitudes mucho más cortas, del orden de quince metros, correspondiente a una frecuencia de 20 MHz. A estas longitudes, la instrumentación necesaria para estudiar las comunicaciones y los problemas derivados eran un territorio inexplorado en la época de Jansky.

En marzo de 1929, Karl Jansky inició el diseño de una antena rotatoria de 14.6 metros, así como de la instrumentación

AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS

DOS ESTUDIOS DE VANGUARDIA PARA 2017

Los agujeros negros son uno de los objetos más fascinantes del cosmos: concentraciones de materia con una fuerza gravitatoria tan intensa que ni la luz puede escapar. El Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT) busca observar directamente su entorno inmediato, una región denominada horizonte de sucesos a partir de la que la luz sí escapa (y a partir de la que podemos obtener información), empresa a la que se ha sumado el observatorio ALMA y en cuyo marco se han seleccionado cinco proyectos para 2018, dos de ellos encabezados por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

El Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT, de su nombre en inglés) es en realidad un telescopio virtual: se trata de un conjunto de antenas distribuidas por todo el mundo cuya señal se combina, de modo que funcionan como un telescopio con un diámetro equivalente a la distancia máxima entre antenas. En 2017 el observatorio ALMA sumaba sus sesenta y seis antenas al EHT, lo que aportaba al proyecto su enorme superficie colectora, de más de siete mil metros cuadrados.

Los agujeros negros que estudiarán EHT y ALMA generan los entornos más extremos que se conocen en el

universo, lo que se conoce como núcleos activos de galaxias. Se trata de agujeros negros supermasivos, con hasta varios miles de millones de veces la masa del Sol, que se hallan rodeados de un disco de material que los alimenta (el disco de acrecimiento) y pueden liberar de forma continua más de cien veces la energía de todas las estrellas de una galaxia como la nuestra. Además, suelen mostrar chorros de partículas perpendiculares al disco que viajan a velocidades cercanas a la de la luz y se extienden más allá de la propia galaxia.

Los agujeros negros supermasivos

OJ287. EL MEJOR CANDIDATO A AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO BINARIO

En septiembre de 2007 se cumplía una predicción emocionante. OJ287, un agujero negro supermasivo con unos dieciocho mil millones de masas solares (uno de los mayores conocidos), experimentaba un esperado destello, que seguía una tendencia registrada desde 1890 y que se halla salpicada de estallidos dobles cada doce años, aproximadamente.

La predicción se realizó considerando un modelo que propone que OJ287 es en realidad un agujero negro supermasivo binario. Según este modelo, otro agujero negro -unas cien veces menor- gira en torno a OJ287 y regularmente atraviesa su disco de acrecimiento, calentándolo y liberando burbujas de material que generan los destellos. El acierto en la predicción, que contempla la pérdida de energía del sistema a través de ondas gravitatorias, afianzó el modelo de agujero negro binario (en el que, además, el menor iría cayendo sobre OJ287 hasta fusionarse con él en un intervalo de unos diez mil años), pero hace falta observar la región más interna del objeto para comprobarlo.

Uno de los cinco proyectos aceptados para la observación con el Telescopio del Horizonte de Sucesos y ALMA en 2018 busca, precisamente, comprobar si OJ287 es en efecto un agujero negro doble. “Esperamos que estas observaciones nos permitan poner a prueba la teoría de la relatividad de Einstein en uno de los escenarios más

extremos que nos podemos encontrar en el universo: un sistema binario de agujeros negros supermasivos destinados a fusionarse en uno solo. De confirmarse este escenario estaríamos ante un sistema capaz de emitir las ondas gravitacionales más intensas del universo”, apunta José Luis Gómez, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que encabeza el proyecto.

En primavera de 2018 gran parte de las grandes instalaciones de observación del mundo apuntarán a este objeto. Las grandes redes de antenas internacionales, tanto en tierra como en el espacio, tienen observaciones programadas y se espera obtener una imagen con una resolución de unos diez microsegundos de arco (visto desde la Tierra, estos diez microsegundos de arco corresponderían al tamaño de una moneda de un euro en la superficie de la Luna).

“Estas observaciones nos permitirán entender mejor cómo se forman los chorros relativistas, o poner a prueba el denominado teorema de *no pelo* de los agujeros negros, que afirma que toda la información sobre la materia que forma el agujero negro o que cae sobre él desaparece tras el horizonte de sucesos y permanece inaccesible; así, los agujeros negros se caracterizarían únicamente por su carga, masa, y momento angular”, señala Gómez (IAA-CSIC).

desempeñan un papel fundamental en la formación y evolución de las galaxias (la mayoría de ellas, incluida la Vía Láctea, alberga uno), y constituyen un entorno único para el estudio de la gravedad en ambientes extremos. Así, el Telescopio del Horizonte de Sucesos espera, por ejemplo, poner a prueba la Teoría General de la Relatividad de Einstein, que predice la existencia de una "sombra" más o menos circular en torno al agujero negro, entender el fenómeno de la absorción de material alrededor de los agujeros negros o el mecanismo de formación de los chorros.

4C+01.28. CLAVE PARA ENTENDER CÓMO SE FORMAN LOS CHORROS

Cuando comenzaron a estudiarse las galaxias activas, en los años sesenta del siglo pasado, se acuñó el término cuáasar, abreviatura de *quasi-stellar radio sources* (fuentes de radio cuasi estelares) para aludir a estos objetos puntuales, extremadamente lejanos y brillantes que, según sabemos hoy, responden a la existencia de un agujero negro supermasivo en un núcleo galáctico.

Sin embargo, años después hubo que acuñar un término para algunos que eran aún más brillantes. Se trata de los blázares (del inglés *blazing quasi-stellar object*, u objeto cuasi estelar resplandeciente), que muestran un brillo muy superior debido a que vemos el disco de frente y el chorro de partículas apunta en nuestra dirección.

4C+01.28, uno de los objetivos de la campaña de observación con el Telescopio del Horizonte de Sucesos para 2018, es un blázar que presenta una peculiaridad. "El chorro de 4C+01.28 muestra una doble estructura: una región interna, con el campo magnético alineado en una dirección, y otra externa -una especie de vaina-, con el campo alineado en la dirección perpendicular a la anterior, alineada con la dirección del chorro relativista", señala Antxon Alberdi, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que coordina el proyecto.

El estudio en detalle de este blázar permitirá discriminar entre los dos modelos que intentan explicar cómo se forman los chorros en las galaxias activas. Uno plantea que el chorro emerge del disco de acrecimiento que rodea el agujero negro; debido a la rotación del disco, las líneas de campo se "enrollan" formando una estructura helicoidal que confina y acelera las partículas que forman el chorro. Una estructura helicoidal, pero vista de frente como ocurre en 4C+01.28, explicaría las diferentes orientaciones del campo magnético que vemos en este blázar. El segundo modelo, por su parte, sostiene que los chorros se forman en el propio agujero negro, y que la distinta orientación del campo magnético de la región más externa de 4C+01.28 puede explicarse por la interacción del material del chorro con el medio externo.

Para comprobar qué escenario es el correcto son necesarias observaciones muy precisas de la base del chorro y de cómo la luz está polarizada. La luz que recibimos del universo es el resultado de la superposición desordenada de muchas ondas electromagnéticas que vibran aleatoriamente, es decir, luz no polarizada. Bajo algunas circunstancias, como en entornos con campos magnéticos intensos, la luz vibra preferentemente en un plano, dando lugar a luz polarizada.

"Si el chorro emerge del disco de acrecimiento veremos una estructura más abierta y luz muy polarizada, en tanto que si es impulsado por el propio agujero negro la señal será más compacta, con mayor nivel de opacidad y menor grado de polarización", apunta Alberdi (IAA-CSIC).

El día que el corazón del CERN se estremeció con el “Shosholoza”

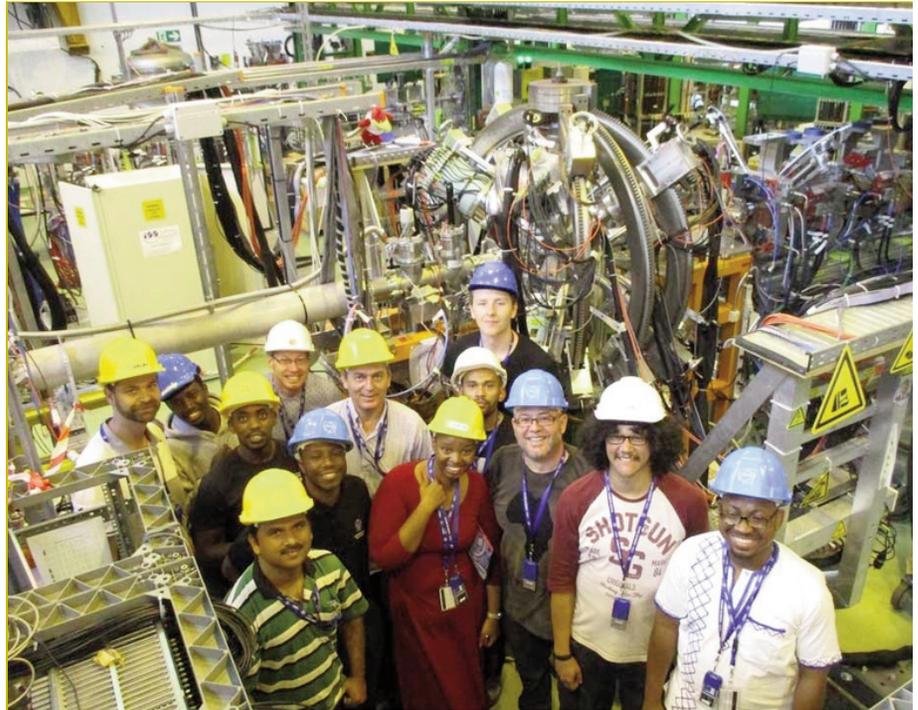
LA HISTORIA DE CÓMO UN SEXITANO HA LLEVADO HASTA EL CERN EL PRIMER EXPERIMENTO LIDERADO POR UN EQUIPO AFRICANO

Por Natalia R. Zelmanovitch (ICMM-CSIC)

CONOCÍ AL PROFESOR DE LA UNIVERSITY OF THE WESTERN CAPE (UWC, SUDÁFRICA) EN... BUENO, ESTA FRASE NO TIENE SENTIDO.

Nico, su pandilla y yo fuimos al mismo colegio, La Santa Cruz de Almuñécar (Granada). Así que no sé cuándo lo conocí exactamente porque no lo recuerdo. Lo que sí recuerdo es que yo era más pequeña que las demás niñas (me llamaban *huesitos*), jugaba más con los niños porque me gustaban las canicas y hacía carreras con Nico y Elías (en aquella época yo era veloz como un rayo y ellos ya eran amigos inseparables). Luego llegó el instituto (Antigua Sexi, se llama) y posteriormente nos fuimos dispersando. Pero los sexitanos han dado para mucho. Hoy me voy a centrar en Nico y en el grato descubrimiento y el orgullo que ha supuesto para mí reencontrarlo en los últimos años dedicándose al mundo de la ciencia.

Actualmente Nico es catedrático de Estructura y Astrofísica Nuclear de la Universidad del Cabo Occidental (UWC por sus siglas en inglés) y, como bien cuenta otro colega sexitano (madre mía, la red que hemos montado) Daniel Olivares, periodista del *Ideal* de Granada, cuando Nico le llevó a su profesor de la Universidad de Granada los documentos para solicitar hacer un curso de verano en el CERN, este le espetó: “¿Al CERN? Allí sólo va la *‘crème de la crème’*, estudiantes de Oxford, Cambridge, no de Granada”. Y no, el muy cegato no los firmó. No tantos años después, Nico ha liderado el



Estudiantes y miembros del personal trabajando en el primer experimento liderado por un equipo africano en el CERN. Fuente: Stephanie Hills.

primer experimento que se ha llevado a cabo por parte de un equipo del continente africano en el laboratorio de física de partículas más importante del mundo. Y eso tras una amplia trayectoria dentro de su campo: estudió Física Fundamental en la Universidad de Granada, se doctoró en Física Nuclear Experimental en la Universidad de Brighton (Reino Unido), pasó por EE.UU. y por el laboratorio TRIUMF de Canadá y, desde 2011, trabaja en la UWC.

Su currículum está plagado de trabajos interesantes, pero hoy nos vamos a centrar en los experimentos que acaban de desarrollar en el CERN con el instrumento Miniball.

El experimento: acelerar un isótopo exótico del Selenio

En la naturaleza, el isótopo 70 del selenio (^{70}Se) se produce solo en las explosiones de rayos X, que tienen lugar en la superficie de estrellas de neutrones sobre las que cae material. Una estrella de neutrones es el remanente que queda tras la explosión de una

estrella supergigante masiva que ha estallado como supernova. Formada principalmente por neutrones (al menos en sus capas superficiales) y extremadamente densa, si esta estrella forma parte de un sistema binario atrae el material de su estrella compañera. Si ese material (que tomará forma de disco) acaba cayendo sobre la estrella de neutrones, generará esas explosiones de rayos X que podemos detectar con nuestros instrumentos. Pero la atracción gravitatoria de la estrella de neutrones genera preguntas: estas especies exóticas generadas en la explosión, ¿son liberadas al medio o vuelven a caer a la estrella? Siempre decimos que somos “polvo de estrellas”. Pero, ¿qué pasa con las especies que no han participado en el enriquecimiento químico del medio porque, sencillamente, no duran lo suficiente? ¿Y si encima son tan exóticas que sus núcleos pueden tener, no una, sino dos formas?

Se sabe que el núcleo del ^{70}Se tiene dos posi-

bles formas, dependiendo de su estado de excitación. Haciendo que dos núcleos colisionen se excita el ^{70}Se y, midiendo la intensidad del decaimiento de rayos gamma, se puede ver qué forma se ha excitado.

Su corta vida (apenas unos minutos) hace necesario reproducir estas explosiones nucleares en el laboratorio para pillar *in fraganti* al ^{70}Se y el equipo de la UWC quería estudiar en detalle la relación entre forma y energía. Pero para ello se necesitan instrumentos de muchísima precisión.

Nico ha estado peleando, además de para conseguir financiación, para obtener tiempo de laboratorio en el instrumento Miniball, un conjunto de detectores de germanio de alta resolución que forma parte de la colaboración ISOLDE (*ISotope On Line DEtector*). Con once instituciones de ocho países implicadas, el experimento se denomina “*Solving the shape conundrum in ^{70}Se* ” (IS569) y se ha utilizado la técnica de excitación de Coulomb.

Aunque el experimento les deparaba sorpresas: se ha detectado el isótopo 66 del germanio (^{66}Ge).

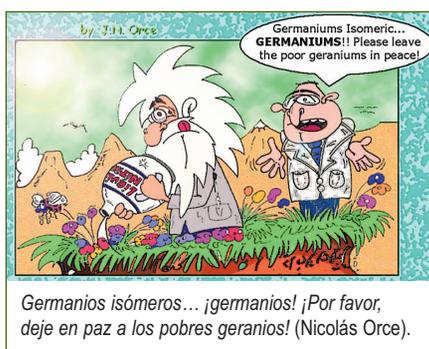
Tal y como afirma el propio Nicolás Orce, “Nosotros veníamos a estudiar el ^{70}Se , pero en otra desviación “mágica” de eventos, el CERN nos trajo el más difícil todavía, uno de los pocos elementos inestables que no se han podido acelerar en los laboratorios terrestres: el ^{66}Ge . Los resultados nos permitirán medir la forma elongada de este núcleo de unos pocos fermis (¡recuerda que 1 fermi = 0.000000000000001 metros!) que, por casualidad, también forma parte de la cadena termonuclear que se produce en las explosiones de rayos X, por lo que la física es muy parecida. La forma del núcleo nos llevará a comprender cómo se produjeron en un principio estos núcleos exóticos originados en explosiones estelares, unos núcleos exóticos que acaban decayendo en núcleos estables”.

Ubuntu*: “Yo soy porque nosotr@s somos” y el día que el corazón del CERN se estremeció con la “Shosholoza”

El grupo de la UWC es algo atípico en un experimento de Isolde. Once personas conforman el equipo que Nico se empeñó en llevar hasta esta zona de la frontera franco-suiza, sabedor de que una experiencia de este tipo supondría mucho más que un experimento de laboratorio.

Estudiantes de doctorado y de máster han acompañado a los investigadores principales de este experimento, el propio Nico y el profesor David Jenkins (Universidad de York), para visibilizar la labor investigadora de las universidades africanas y ser un modelo a seguir.

Como afirma Nico en un artículo publicado

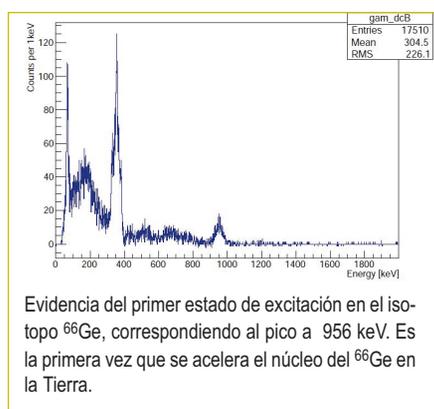


en la web sobre noticias del CERN del STFC (Reino Unido), “La UWC ha sido una universidad con claras desventajas frente a otras universidades sudafricanas. Tenemos miembros del equipo procedentes de zonas rurales de Cabo Oriental y otros que viven en zonas segregadas. Espero que este experimento tenga un efecto dominó y que estudiantes que estén en condiciones similares y otras universidades se animen a seguir nuestros pasos”.

Se me hincha el pecho de orgullo al leer las declaraciones de Senamile Masango, estudiante de máster, “Es la primera vez que salgo de Sudáfrica y es muy emocionante estar en el CERN, estar en instalaciones como esta es el sueño de cualquier científica. Es difícil encontrar a mujeres haciendo física en Sudáfrica, y es aún más difícil encontrar a personas negras haciendo física. Nico nos trata a todos como iguales y nos hace sentir ganas de romper barreras. ¡Estamos haciendo historia!”.

En el idioma xhosa, una de las once lenguas oficiales de Sudáfrica, hay una palabra que os sonará, *ubuntu*, que, más que una palabra, es toda una filosofía. Uno de sus significados resume el esfuerzo del trabajo en equipo de este grupo de la UWC: “Yo soy porque nosotr@s somos”. O, como diría un sextitano que ama tanto a su pueblo como al lugar que le acoge: “Va por todos los que nunca nos rendimos. Va por ustedes”.

Y otra cosa: al acabar el experimento, todo el CERN se estremeció con el canto del “Shosholoza”, una sola voz, un ubuntu.



UNA HISTORIA CONTADA POR FACEBOOK

Ha sido muy emocionante seguir el desarrollo casi en directo de esta investigación, ya que Nico lo ha estado contando en facebook.

Allí he podido saber que los primeros días hubo problemas, que por parada técnica “perdieron” los protones que necesitaban para su experimento. Lo cuenta él mismo con mucho arte:

5 de julio, 17:57- Compañeros, si os digo que España va bien estaría mintiendo. Ayer perdimos los protones del Large Hadron Collider por parada técnica, lo que nos ha impedido medir parámetros importantes para hacer los experimentos. Mañana vienen otra vez los protones a las 3 de la tarde. El operador resulta ser sevillano de Triana. Buena gente, pero más pesimista que una tortuga panza arriba. Dice que este es el experimento más difícil del año y que no lo ve nada bien. Yo ya le he dicho que si me trae los haces del experimento (el núcleo exótico del ^{70}Se) nos vamos de marcha, que pago yo. También ha influido el: “Miguel (se llama), ¡¡que esto va por Andalucía!!”. Se me ha motivao el sevillano y va a tope tirando del pelotón. La cosa puede que esté chungo, pero nos mueve un motto único, gobernado por los dioses del Olimpo, la Fuente de la Sabiduría de la Plaza de los Higueros (la antigua) y los chorizos y salchichones que vienen de camino, que seguro nos llevara a la victoria final. Muchos lo conocéis:

“Ser el mejor no lo es todo, ¡pero alguien tiene que serlo!”

La narración del periplo científico continúa:

6 de julio, 19:56 - La situación se va arreglando... Los protones parece que están por venir, pero no vienen. El mismísimo sevillano se ha ido a Triana a una boda. Era lo esperado, pero lo bueno es que ha venido a sustituirlo otro español. Un muchachón alto y fuerte del norte. “¡Yo soy de Donosti, ostias!”. Va de película de las buenas.

6 de julio, 23:04 - Señoras y caballeros. ¡¡¡Los protones han llegado!!! ¡¡De hecho tenemos todos los protones del CERN!! Pero eso sí, no antes de contarle al vasco que “¡llo mira, que mi primo Pepe Antia es también del norte - ¡y de la Real Sociedad!”. Me contestó en perfecto euskera: “Aupa Pachi, ¡habérmelo dicho antes ostias!” ¡Ahora sí!

Después del perance, más percances. Finalmente, leí este mensaje y no me podía quitar la sonrisa de la cara: 14 de julio, 01:51- Día D - Hora H. Después de un día agotador, donde el CERN nos ha hecho un vídeo apoteósico, hemos acelerado por primera vez en el planeta tierra - ¡con la ayuda inconmensurable del sevillano y el vasco! - un núcleo incluso más exótico e interesante que el que veníamos a investigar: el mismísimo e inconfundible ^{66}Ge ha salido de sorpresa, un núcleo fundamental en las explosiones de rayos X, ¡las más comunes en nuestro universo! Todavía queda un problemita por resolver que es la estructura del haz que nos viene, que también tiene ^{70}Se (el que queríamos investigar) pero con solo un 10% estimado crudamente. Tenemos que saber la composición exacta del haz acelerado al 10% la velocidad de la luz. Pero eso es una historia para más tarde... Nuestros estudiantes están investigando esta noche la composición. Pero por el momento, ¡estamos vivos y coleando! Me voy a dormir...

El resto de la historia, ya lo saben. Pero aún hay mucho más por venir.



el "Moby Dick" de...

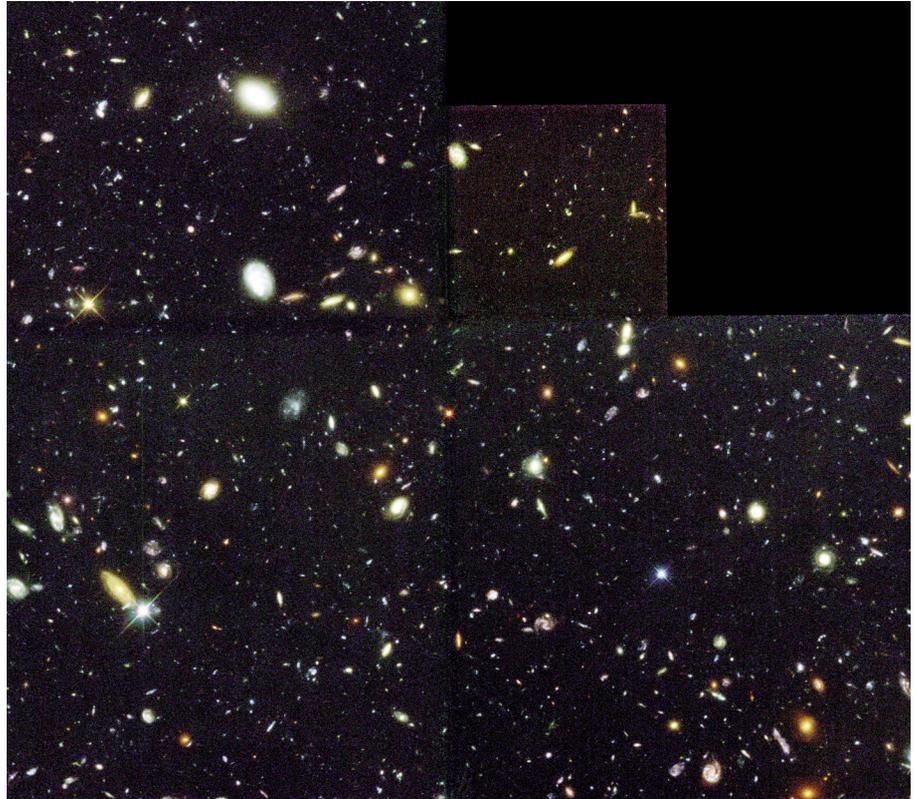
... Rosa González Delgado (IAA)

La formación y evolución de las galaxias



Investigadora senior del CSIC desde 2008 en el IAA. Su trabajo se ha centrado en la evolución de las galaxias, poblaciones estelares, formación estelar y actividad nuclear en galaxias. Durante los últimos cinco años, ha liderado el grupo de evolución de galaxias dedicado al análisis de datos de campo integral de la encuesta CALIFA.

Parece que fue ayer, pero hace ya más de veinte años llegaba como investigadora postdoctoral al Instituto del Telescopio Espacial (STScI) y tuve la oportunidad de participar, muy de cerca, de la excitación y entusiasmo con la que se vivió en esos días en el STScI uno de los descubrimientos más interesantes de la astrofísica actual. El Telescopio Espacial Hubble (HST), observando una zona muy pequeña y oscura del cielo, que a simple vista se mostraba vacía, encontró varios miles de galaxias de todos los tamaños, colores y formas. Pero, ¿por qué tanto entusiasmo con este descubrimiento, si ya se sabía que la Vía Láctea y las galaxias de su entorno no eran únicas en el universo? Porque el HST encontraba, además, que el universo en el pasado era mucho más activo formando estrellas, y que las galaxias tenían ritmos de formación estelar que eran entre diez y cien veces más altos que los ritmos que se observan hoy en las galaxias de nuestro entorno local (Madau et al. 1996). Este hallazgo abrió la puerta a una carrera observacional imparable, con la puesta en marcha de telescopios de gran tamaño dedicados a los cartografiados profundos del cielo. La meta: el descubrimiento de galaxias cada vez más lejanas, que nos dieran información de cuándo y cómo comienzan a formarse estas primeras estructuras en el universo. Durante estas dos últimas décadas, los modelos teóricos han mostrado que las primeras galaxias comenzaron a formarse en el pasado por fusión de grumos de materia poco masivos, que surgieron poco después del Big Bang. Estos grumos fueron atrayéndose gravitatoriamente, y en su colapso, la materia de cada uno de ellos se enfrió y formó estrellas, dando así lugar a la materia luminosa que, al ligarse gravitatoriamente, formó las galaxias primigenias. Estas primeras estructuras, sin embargo, no eran inmutables: con el tiempo, crecieron en masa y en tamaño, y cambiaron sus colores y formas. Sin embargo, aún no tenemos certeza de cuáles son los procesos físicos responsables de que esas galaxias primigenias hayan evolucionado para transformarse en las



El campo profundo de Hubble, que desveló en 1996 la existencia de numerosas galaxias en una región del cielo aparentemente vacía. Fuente: R. Williams (STScI), the Hubble Deep Field Team and NASA/ESA.

galaxias espirales y elípticas que observamos hoy en el universo más cercano. Preguntarnos cómo se forman y evolucionan las galaxias es, por tanto, una cuestión fundamental que ha sido y es el *leitmotiv* de mi investigación. Un tema tan amplio y variado que la pregunta se repite continuamente, adquiriendo formas y condiciones diferentes que se desarrollan y exploran a través de caminos diversos a lo largo de mis más de veinticinco años dedicados a la investigación. En contraste con los estudios enfocados a los cartografiados de galaxias lejanas, mi objetivo ha sido obtener información de los procesos de formación y evolución del universo a través de la determinación de las historias de formación estelar de galaxias del universo local. ¿Cómo puede ser que las galaxias cercanas nos den información de su pasado, de cómo se

formaron y fueron cambiando con el tiempo? Podemos decir que las galaxias son registros fósiles de la historia de la formación estelar y evolución química del universo, que han dejado sus huellas en las propiedades de las estrellas que las forman. Veamos cómo:

Gracias a los estudios de evolución estelar, sabemos que las estrellas siguen un ciclo vital que depende de su masa inicial: así, las estrellas menos masivas que el Sol pueden vivir casi eternamente, mientras que las estrellas masivas consumen rápidamente el hidrógeno y el helio de su interior produciendo, a través de procesos de fusión, elementos cada vez más pesados hasta llegar al hierro. Estas estrellas acaban sus días explotando como supernovas y retornando al medio interestelar material químicamente enriquecido, que formará nuevas estrellas. Por otra parte, las estrellas nacen en tiempos y ambientes diferentes, y por tanto la población estelar de una galaxia refleja los diferentes estados evolutivos y de formación por los que transcurrió. Por

ejemplo, las estrellas jóvenes de los discos de las galaxias espirales se han formado a partir del gas que fue enriquecido en metales (o elementos más pesados que el helio) por las generaciones estelares previas, y cuyas estrellas de baja masa aún sobreviven en los discos de estas galaxias. En cambio, podríamos decir que las estrellas más viejas, que habitan las galaxias elípticas, son las reliquias vivientes de un pasado más glorioso, en el que los ritmos de formación estelar eran muy altos y las estrellas masivas dominaban la acción.

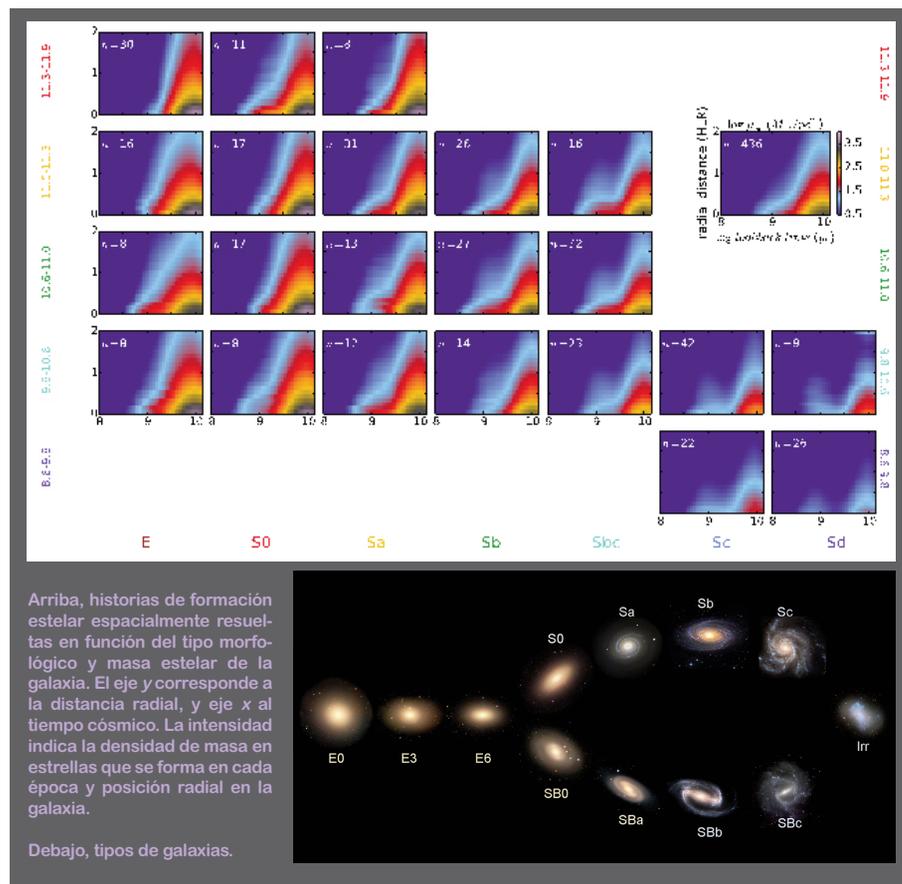
Un proyecto único

Dejadme que os explique finalmente cuál ha sido, en este *leitmotiv* sobre la formación y evolución de galaxias, mi Moby-Dick más reciente. Ha sido dilucidar cómo se forman y evolucionan los distintos componentes, discos, bulbos y halos, de las galaxias. Para ello, han sido esenciales los datos del proyecto CALIFA y la determinación de las historias de formación estelar espacialmente resueltas.

CALIFA es el acrónimo de *Calar Alto Legacy Integral Field spectroscopy Area survey*. Ha sido un proyecto pionero en la determinación de las propiedades espacialmente resueltas de las galaxias cercanas que se ha realizado desde el observatorio de Calar Alto (Sánchez et al. 2012). Hemos observado más de seiscientas galaxias mediante espectroscopía de campo integral (IFU) con el instrumento PMAS/PPaK en el telescopio de 3.5 metros. Este modo de observación permite separar la luz procedente de las diversas zonas de las galaxias, resolviendo espacialmente las componentes del disco y bulbo. Las galaxias fueron seleccionadas por su tamaño en el cielo y por su forma, siendo todas ellas elípticas, esferoidales y espirales de todos los tipos morfológicos. Gracias a la combinación del tamaño y distancia a la que se encuentran las galaxias de la muestra, todas ellas a *redshift* menor de 0.03 (unos 370 millones de años luz de distancia), así como la resolución espacial del instrumento, hemos podido obtener información de sus propiedades en función de la distancia radial, pudiendo distinguir las propiedades de zonas del disco y del bulbo, y a su vez obtener las propiedades globales de las galaxias.

Los resultados obtenidos por nuestro grupo a través de las historias de formación estelar de las galaxias de CALIFA han aportado interesantes conclusiones:

a) Que las galaxias se forman de dentro a fuera, y la masa de las regiones centrales



crece más rápidamente que las zonas externas. Las variaciones radiales de la edad de la población estelar confirman que los bulbos de las galaxias son más viejos que los discos.

b) Que las galaxias se forman muy rápido, independientemente de su masa estelar, con su pico de formación estelar en épocas muy tempranas, entre tres y cuatro miles de millones de años después del Big Bang.

c) En cualquier época pasada, el ritmo de formación estelar de cada galaxia era proporcional a la masa de esta, siendo las más masivas las de mayor actividad de formación estelar.

d) En la época actual, las galaxias de tipo espiral tardío y, en particular, las zonas situadas en los discos de estas galaxias, son las que dominan la densidad de formación estelar del universo. Sin embargo, hace unos diez mil millones de años, eran las zonas centrales de las galaxias que actualmente son de tipo esferoidal las que dominaban la densidad de formación estelar del universo.

e) Los ritmos de formación estelar y su intensidad (formación estelar por unidad de área) en las zonas externas de las galaxias elípticas indican que estas han crecido en dos fases, primero formándose el centro y después extendiendo su envoltura. Después siguieron creciendo en masa a través de procesos de fusión con otras galaxias, unos procesos que fueron muy activos hace entre unos cinco y siete

mil millones de años.

f) La evolución de la intensidad de formación estelar de las zonas centrales de las espirales con masa y morfología similar a la Vía Láctea indica que la formación de un disco grueso en épocas muy tempranas puede ser un fenómeno muy común en estas galaxias.

g) Los procesos de paro de la formación estelar no suelen ocurrir en épocas muy tempranas, como se observa en las galaxias masivas lejanas. Sin embargo, este proceso, al igual que en las galaxias lejanas, se extiende de dentro a fuera de la galaxia, y es más efectivo en las galaxias espirales de tipo temprano que en las de tipo tardío, donde la formación estelar se extiende hasta épocas recientes.

Sin embargo, aún no tenemos certeza de los mecanismos precisos que actuaron para que las galaxias primigenias evolucionaran dando la diversidad de galaxias que observamos en nuestro universo más cercano. Para seguir profundizando, será necesario determinar las propiedades de las galaxias con resoluciones espaciales mejores, ya que la formación estelar y los modos por los cuales esta se acopla al ambiente galáctico ocurre en escalas de unas pocas decenas de pársecs (un pársec equivale a unos 3,26 años luz). Obtener observaciones con estas resoluciones espaciales es, ahora, mi nuevo Moby Dick.

Depuración

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA)

Depurar:

1. tr. Limpiar, purificar. U. t. c. prnl.

4. tr. Eliminar de un cuerpo, organización, partido político, etc., a los miembros considerados disidentes.

La Edad de plata de la ciencia española

A comienzos del siglo XX, y tras la notoriedad alcanzada por Ramón y Cajal, en España se inicia un proceso de modernización de la frágil investigación científica española. El objetivo era superar el famoso “¡que inventen ellos!” de Unamuno, un lema que, salvo muy contadas y particulares excepciones, había marcado el interés por la ciencia en este país desde el final de la guerra de la Independencia con los franceses.

Una de las primeras acciones tomadas por el entonces presidente Segismundo Moret fue la creación, en 1907, de la Junta de Ampliación de Estudios Científicos (JAE) presidida por el propio Ramón y Cajal hasta su muerte en 1934.

Con la JAE arranca un sistema de pensiones que permitió a jóvenes investigadores formarse en universidades y centros de investigación extranjeros (algo inaudito para la España de la época). Además se crean institutos, laboratorios y centros de investigación, como el Centro de Estudios Históricos y el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales, con el fin de rentabilizar esta formación y lograr el despegue de algo que pudiera bautizarse como un “sistema científico español”.

En poco más de diez años, esta política comienza a dar sus frutos: se consolida toda una generación de prometedores investigadores, especialmente en el área de física y química; se logra una fuerte inversión de la Fundación Rockefeller para la construcción del potente Instituto Nacional de Física y Química (INFQ); se funda la Residencia de Estudiantes, emulando el ambiente de los *colleges* de Cambridge y Oxford; se crean los Instituto-Escuela para la renovación de la educación no universitaria en el ámbito de las ciencias; y se estimula una lenta pero continuada incorporación de la mujer al sistema científico y universitario. En los más de treinta años de vida de la JAE se consigue un tejido científico asentado y prometedor, con una incipiente y pujante proyección internacional (avalada con visitas

tan ilustres como las de Albert Einstein o Marie Curie) y con un claro espíritu liberal y de reforma. Es la Edad de plata de la ciencia española.

Pero estalla la Guerra Civil.

Tras la contienda, la JAE fue disuelta y reconvertida en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con un espíritu puramente conservador, y arranca la depuración: de quinientos ochenta catedráticos, veinte fueron asesinados, ciento cincuenta expulsados y ciento noventa y cinco se exiliaron.



Blas Cabrera: exilio

Blas Cabrera Felipe, el llamado padre de la física española, rector de la Universidad Central de Madrid, director del Laboratorio de Investigaciones Físicas y del INFQ, experto mundial en magnetismo, fue uno de nuestros investigadores con mayor peso internacional. Miembro del comité científico de las famosas conferencias Solvay, anfitrión de la visita de Albert Einstein a España e introductor de sus teorías en este país, fue nombrado miembro de la Academia de Ciencias de París en sustitución del legendario Arrhenius. Fue depurado, automáticamente y sin posible apelación, mediante orden ministerial en febrero de 1939: “por su pertinaz política antinacionalista y antiespañola en los tiempos precedentes al Glorioso Movimiento Nacional”. Se exilió en México, al igual que el más de medio millar de investigadores de diferentes ramas científicas. Allí murió en 1945.

Teresa Salazar: expulsión

El régimen supuso un abrupto final para la carrera investigadora de muchas de las mujeres que habían sido pensionadas y formadas en la JAE. Para los vencedores, no se necesitaba “formación científica para ser la reina de los hogares”. Algunas mujeres intentaron continuar con su carrera

investigadora, pero se vieron expulsadas por un sistema que no solo no perdonaba su posible pasado republicano, sino muy especialmente su condición femenina. Un ejemplo es Teresa Salazar, colaboradora de Enrique Moles en el INFQ, con el que publicó cinco artículos científicos sobre determinación de pesos atómicos, fue premio extraordinario de doctorado en 1931 y pensionada para investigar la estructura del núcleo atómico en el mismísimo Instituto Curie. A pesar de su extraordinario currículum –muy superior al de sus competidores– no logró nunca una plaza de catedrático y solo pudo obtener una de profesora adjunta en 1947. En una de las numerosas convocatorias a las que se presentó le exigieron la renuncia y le explicaron que la eliminaban no por razones científicas, sino “por causas que no se podían decir”.

Jesús Yoldi Berau: liquidación

El 28 de noviembre de 1936, el Rector de la Universidad de Granada, D. Antonio Marín Ocete, “comunica a la Junta Técnica que D. Jesús Yoldi Berau no se ha presentado a su destino, quedando así vacante su cátedra de química de la Universidad de Granada”. Jesús Yoldi, catedrático de Química General de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada desde 1924, miembro de la Junta de Gobierno de dicha universidad y alcalde de la capital granadina desde 1932, había sido fusilado apenas un mes antes frente a la tapia del cementerio de Víznar.

Son solo tres casos entre centenares de “depuraciones”, como la de José Castillejo, auténtico impulsor de la JAE; Odón de Buen, pionero de la oceanografía española; Luis Santaló, uno de los padres de la geometría integral; Enrique Moles, autoridad mundial en la determinación de pesos atómicos; Ignacio Bolívar, sucesor de Ramón y Cajal como presidente de la JAE; Arturo Duprier, candidato al premio Nobel por sus estudios en radiación cósmica, y así un largo etcétera de varias generaciones perdidas, aniquiladas, exiliadas... depuradas.

Referencias:

“La destrucción de la ciencia en España. Las consecuencias del triunfo militar de la España franquista”, Luis Enrique Otero.

“Sabias en la segunda república”, Adela Muñoz.

“La ciencia que desmanteló Franco”, Manuel Ansele.

La Vía Láctea podría albergar cien mil millones de enanas marrones

Las enanas marrones no contienen masa suficiente para comenzar la fusión de hidrógeno, lo que impide su evolución como estrellas. Un estudio ha acotado el número de enanas marrones que podría albergar la Vía Láctea.

► Las enanas marrones, en ocasiones conocidas como “estrellas fallidas” son el eslabón entre las estrellas de baja masa y los grandes planetas gaseosos. Se trata de objetos débiles y difíciles de estudiar, de modo que aún se desconocen muchas de sus características, e incluso el número de enanas marrones que existen. Un estudio, en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), apunta a que la Vía Láctea podría contener entre veinticinco y cien mil millones de enanas marrones.

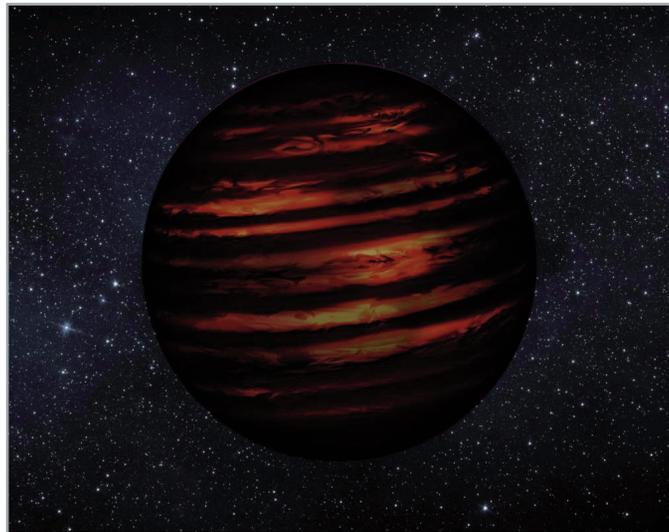
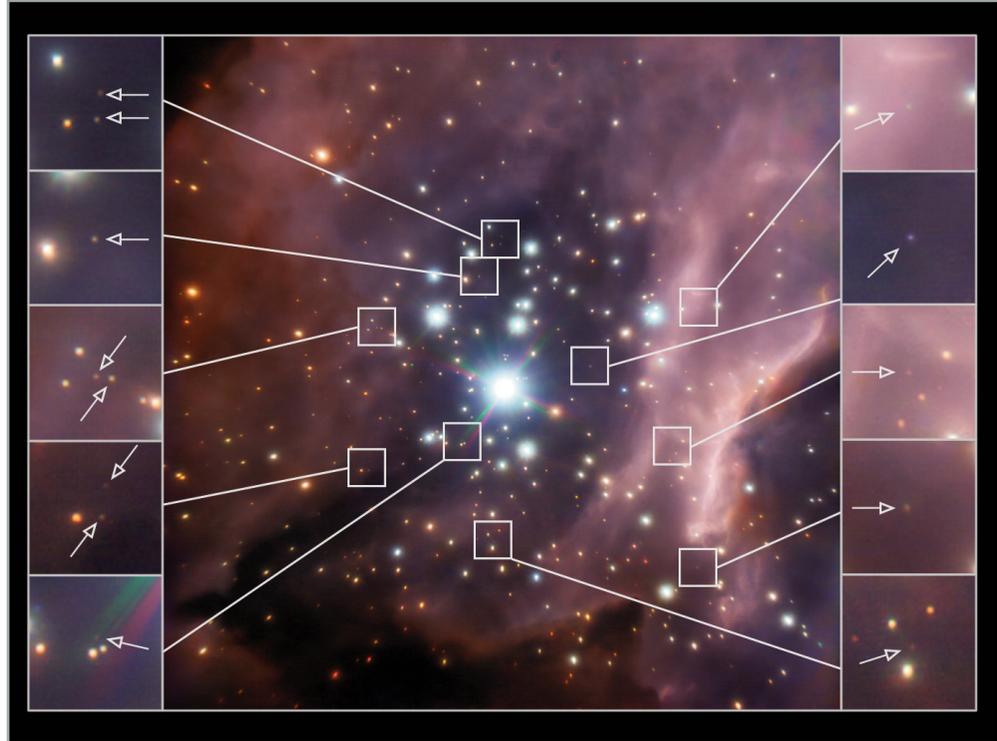
Se cree que las enanas marrones siguen un proceso de formación similar al de las estrellas, que comienza con la fragmentación y contracción de una nube de gas interestelar. Sin embargo, estos objetos apenas alcanzan un 10% de la masa del Sol, lo que impide que se desencadenen las reacciones nucleares que alimentan el brillo de las estrellas y provoca que con el tiempo vayan debilitándose. Desde el hallazgo de las primeras enanas marrones, en 1995, se han detectado más de dos mil, principalmente en regiones de formación estelar cercanas y con una densidad de estrellas baja.

Ahora, un equipo internacional de investigadores ha buscado enanas marrones en el cúmulo estelar joven RCW 38, que presenta una densidad estelar muy alta y un gran número de estrellas masivas. Se trata de un entorno totalmente distinto a aquellos donde se han estudiado las enanas marrones, y los investigadores buscaban comprobar si su lugar de nacimiento afecta a la tasa de formación de enanas marrones, que en los cúmulos cercanos puede ascender a una enana marrón por cada dos estrellas.

“Se trata del primer estudio de este tipo en un cúmulo estelar masivo a una distancia mayor que un kiloparsec (3.262 años luz), y representa un gran paso adelante en este campo –apunta Rainer Schoedel, investiga-

dor del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) que participa en la investigación–. La gran resolución angular en óptica adaptativa del instrumento NACO del *Very Large Telescope* (ESO) resultó fundamental en este estudio y, precisamente, mi experiencia con imágenes de este tipo ha sido mi aportación en el trabajo”.

Los investigadores han hallado que RCW 38, que se encuentra a 5.500 años luz de distancia, muestra una



Arriba. Imagen en falso color en el infrarrojo cercano del cúmulo masivo RCW38, tomada por el instrumento NACO del *Very Large Telescope* (ESO). Cubre un área de 1,5 años luz, y destaca algunas de las candidatas a enanas marrones detectadas. Fuente: K. Muzic et. al. Izquierda. Concepción artística de una enana marrón.

proporción similar de enanas marrones y estrellas que otros cúmulos cercanos y poco masivos, lo que apunta a que las condiciones donde se forman no afectan al número de enanas marrones.

Los investigadores calculan que en la Vía Láctea podría haber entre veinticinco y cien mil millones de enanas marrones. Considerando que nuestra galaxia contiene entre cien y cuatrocientos mil millones de estrellas, constituye una proporción muy alta. “Y, dado que estos objetos son extremadamente débiles, puede que solo estemos viendo la punta del iceberg”, concluye Rainer Schoedel.

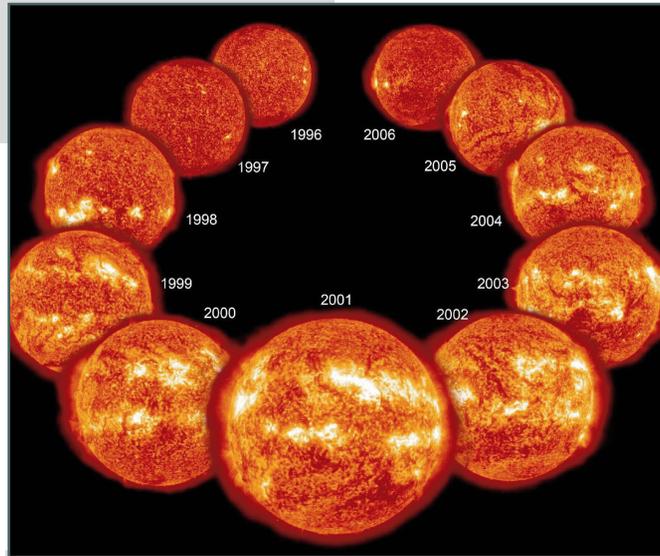
Silbia López de Lacalle (IAA)

Nuevos datos para medir la influencia de la variabilidad solar sobre el clima terrestre

Un nuevo conjunto de datos de referencia muestra una mayor influencia de la actividad solar sobre la atmósfera de la Tierra, especialmente sobre la estratosfera. El trabajo servirá de base para el próximo informe del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).

► El Sol muestra un ciclo de once años a lo largo del que su actividad aumenta y disminuye. Este ciclo produce cambios en la cantidad de energía que emite, lo que se conoce como forzamiento solar, y cuya influencia sobre el clima terrestre debe tenerse en cuenta en simulaciones de modelos climáticos. Un equipo internacional liderado por el centro GEOMAR de Kiel y el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) ha publicado nuevos datos, que muestran una influencia significativamente mayor de los efectos del ciclo solar, particularmente en la estratosfera.

¿Cuánto influyen las variaciones del



Evolución del número de manchas solares, manifestación de la actividad solar, a lo largo del ciclo de once años. Fuente: NASA

ciclo solar en nuestro clima? ¿Podría la elevación de la temperatura de la Tierra, debida a efectos antropogénicos, ser compensada en parte por una reducción del forzamiento solar en el futuro? Estas preguntas, que han ocupado el foco de la investigación sobre el clima durante mucho tiempo, se hallan más cerca de una respuesta gracias a este trabajo, que servirá de base para el próximo informe sobre la evaluación del clima del Grupo Intergubernamental de

Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

“En este nuevo conjunto de datos, la variabilidad en la región ultravioleta del espectro solar es más fuerte que antes, lo que conduce a un calentamiento de la estratosfera y a un aumento de la producción de ozono durante el máximo de la actividad del Sol”, explica la investigadora Katja Matthes (GEOMAR) que, junto con Bernd Funke (IAA-CSIC) encabeza el estudio. Estos procesos podrían influir también en el clima superficial a través de los complejos mecanismos de interacción que se producen en la atmósfera.

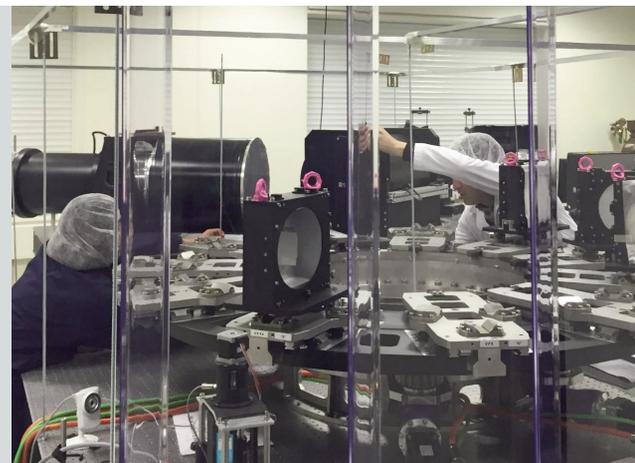
“Estos datos proporcionan una estimación más sofisticada de la evolución futura de la actividad solar - explica Bernd Funke, del Instituto de Astrofísica de Andalucía-. Para el 2070 se espera una disminución de la actividad media del Sol, lo que en principio contrarresta la señal antropogénica del calentamiento global; sin embargo, no se traducirá en una influencia significativa en las temperaturas medias en la superficie, aunque los efectos regionales no deben ser despreciables”.

Este nuevo conjunto de datos, que incluye los efectos de las partículas y una nueva estimación de la “constante solar” (o la cantidad de radiación promedio del Sol) ha sido posible gracias al trabajo de un grupo multidisciplinar, que incluye físicos solares, expertos en partículas energéticas y modeladores del clima, y forma parte de un proyecto internacional del programa mundial de investigación climática. Se trata, a día de hoy, de la mejor evaluación posible de la variabilidad solar pasada, presente y futura.

“Este nuevo conjunto de datos ayudará a mejorar aún más nuestra comprensión de la variabilidad del clima a escala de décadas y a distinguir más claramente los procesos naturales de los antropogénicos”, concluye Matthes (GEOMAR).

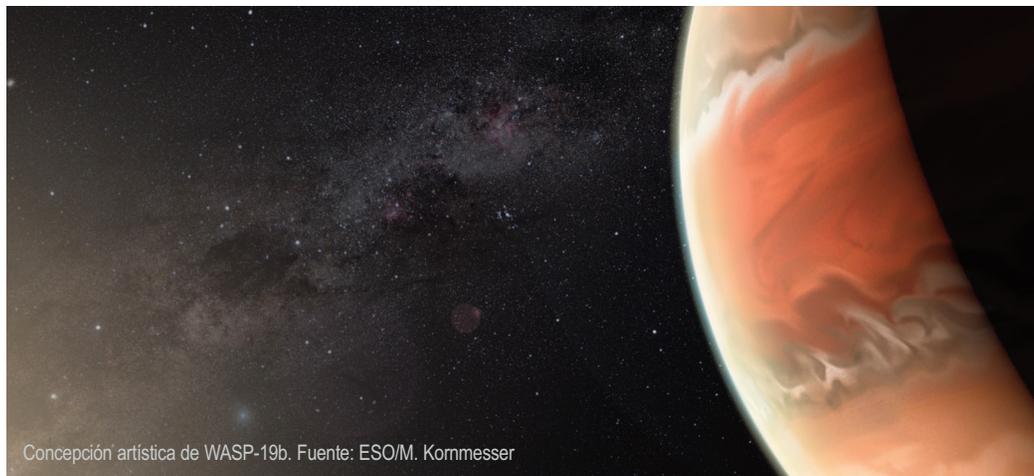
Primera luz del instrumento MEGARA del Gran Telescopio Canarias

► El pasado mes de julio tuvo lugar la primera luz de MEGARA, el nuevo instrumento del Gran Telescopio Canarias (GTC) que permitirá estudiar, con un detalle sin precedentes, la composición química y la dinámica de las galaxias en diferentes épocas del universo. MEGARA ha sido construido por un consorcio de instituciones nacionales e internacionales, encabezado por la Universidad Complutense de Madrid y en el que participa el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). MEGARA será capaz de estudiar estrellas individuales fuera de nuestra galaxia, e incluso podrá analizar cómo se movían las estrellas y el gas hace más de diez mil millones de años, cuando se formaron las primeras galaxias. Para ello utilizará la tecnología más avanzada en fibras ópticas y en elementos dispersores, lo que se conoce como redes holográficas.



Estudio sin precedentes de la atmósfera de un planeta extrasolar

Gracias al instrumento FORS2 del Very Large Telescope (ESO), se ha detectado por primera vez la presencia de un óxido metálico en la atmósfera de un planeta fuera de nuestro Sistema Solar



Concepción artística de WASP-19b. Fuente: ESO/M. Kormmesser

► La búsqueda de planetas fuera de nuestro Sistema Solar constituye, a día de hoy, una de las áreas más activas de la astrofísica. Con más de 3.500 planetas extrasolares confirmados, que muestran la infinita variedad de mundos posibles, los esfuerzos se dirigen ahora hacia la caracterización de estos planetas. Un estudio, publicado en la revista *Nature*, ha detectado por primera vez elementos pesados en la atmósfera de un exoplaneta, lo que abre la puerta al estudio en detalle de la química atmosférica en planetas extrasolares.

“Ha sido un trabajo arduo y cuidadoso de cerca de dos años con telescopios de gran tamaño y alta precisión, acompañado de un intenso esfuerzo en cálculos teóricos”, apunta Antonio Claret, investigador del IAA que participa en el estudio.

El objetivo, el exoplaneta WASP-19b, se cataloga como un *júpiter caliente*, un tipo de planeta masivo que, al contrario de los gigantes gaseosos de nuestro Sistema Solar, se halla muy

próximo a su estrella. WASP-19b resulta especialmente exótico porque cuenta con una masa algo mayor que la de Júpiter pero es un 40% mayor -lo que lo sitúa casi en el rango de las estrellas de baja masa-, y es el planeta gigante con el periodo orbital más corto conocido: gira en torno a su estrella en apenas diecinueve horas y se estima que la temperatura de su atmósfera alcanza los mil setecientos grados centígrados.

“Se trata de un planeta muy interesante porque se encuentra muy cerca del límite de Roche, que constituye la distancia mínima a la que puede aproximarse a su estrella madre sin que sea destruido por las fuerzas de marea -añade Antonio Claret (IAA-CSIC)-. De hecho, ya hemos comenzado el estudio de este sistema desde el punto de vista teórico, para comprobar cómo

evolucionan las mareas en condiciones tan extremas”.

Cuando WASP-19b pasa por delante de su estrella, la luz de esta atraviesa la atmósfera del planeta y sufre pequeñas modificaciones. Un análisis cuidadoso de esa luz permite aislar la huella de los elementos químicos que componen la atmósfera del planeta, y así ha sido posible hallar pequeñas cantidades de óxido de titanio, agua y sodio, así como una especie de neblina que cubre el planeta.

El óxido de titanio tiene muchos usos en la Tierra. Es un ingrediente común en los filtros solares, ya que absorbe la radiación ultravioleta, y también se utiliza en pinturas y cosméticos. Pero en las atmósferas de planetas calientes como WASP-19b, el óxido de titanio absorbe calor: en cantidades suficientemente grandes, estas moléculas

impiden que el calor se disperse a través de la atmósfera, dando lugar a una inversión térmica -la temperatura es más alta en la atmósfera superior, lo opuesto a la situación normal-. El ozono juega un papel similar en la atmósfera terrestre, donde provoca la inversión en la estratosfera.

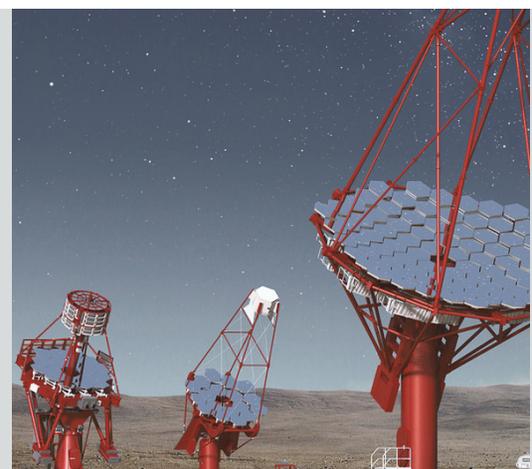
La presencia de óxido de titanio en la atmósfera de WASP-19b puede tener efectos sustanciales sobre la estructura y circulación de la temperatura atmosférica, y su hallazgo abre la puerta a estudios muy detallados de las atmósferas exoplanetarias. Además, con vista al futuro, este estudio permitirá mejorar los modelos teóricos que se emplearán en el análisis de las atmósferas de planetas potencialmente habitables.

Silbia López de Lacalle (IAA)

El Cherenkov Telescope Array (CTA), que observará el universo más energético, publica sus objetivos científicos

► El CTA será el principal observatorio astronómico de rayos gamma de muy alta energía durante las próximas décadas, y su potencial científico es extremadamente amplio: abarca desde la comprensión del papel de las partículas cósmicas relativistas hasta la búsqueda de la materia oscura. En octubre se publicaba el libro *Ciencia con el Cherenkov Telescope Array*, que define los principales objetivos científicos del proyecto y lo sitúa en el contexto de los grandes observatorios presentes y futuros.

El CTA explorará el universo extremo desde los dos hemisferios (en Paranal, Chile, y en la isla de La Palma, en Canarias) y estudiará desde el entorno más cercano de agujeros negros hasta las regiones de baja densidad del universo a gran escala. Su enorme campo de visión y sensibilidad le permitirán trabajar cientos de veces más rápido que los observatorios de rayos gamma anteriores.



SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



la respuesta:

No hubo pregunta, porque en el último número me enrollé tanto que no cupo. Pero me comprometí a hablar de robots diminutos, así que ahí vamos.

Hay gente que parece que tiene el don de la ubicuidad. Por ejemplo, un padre cuando llegas tarde a casa de adolescente. Entrás por una ventana, y está ahí. Entrás por la cocina, y está ahí. Entrás por el ventanuco del baño, jugándote la vida, y está ahí. Le pasó a un amigo. En esto de la ciencia ocurre con la gente muy lista: estás leyendo un libro de astronomía o de óptica y te encuentras a Gauss, que se supone que era matemático. Einstein sale en todas partes porque era un crack, y otro que le daba a todos los palos era Feynman. Fue este último el que sentó las bases teóricas de la nanotecnología, con su famoso ensayo *Hay mucho espacio al fondo*, aunque fue uno de sus colaboradores y exalumnos, Albert Hibbs, el que le sugirió la idea de aplicar a la medicina las micro-máquinas que él había imaginado. Feynman, con su conocida capacidad para la divulgación, bautizó la idea con la gráfica expresión "tragarse al doctor". Pero de esto ya hablamos en el capítulo que dedicamos a la nanotecnología, en el que también aclarábamos que la mayoría de los llamados nanodispositivos usados en medicina no eran como los minisubmarinos que nos muestran en las películas, sino más bien moléculas más o menos complejas que cumplen una única función muy concreta en el interior del cuerpo humano. Sin embargo, también hay dispositivos más parecidos a robots diminutos, como los diseñados por la universidad de Hong Kong, que pueden ser inyectados en el cuerpo humano y dirigidos a través del torrente sanguíneo. Estos nanorrobots están fabricados en silicio y óxido de titanio y son guiados por luz, lo cual permite, mediante cambios en parámetros como la longitud de onda, intensidad o puntos focales, realizar maniobras más complejas y con mucha mayor precisión que con sus

predecesores, que eran gobernados mediante campos magnéticos. Aún se deben solventar dificultades técnicas (es preciso, por ejemplo, mejorar su biocompatibilidad), pero esta tecnología se presenta como una de las más prometedoras para la distribución de fármacos selectiva y localizada en tratamientos contra enfermedades como el cáncer. Un concepto parecido se utiliza en nanobots purificadores de agua, cuya estructura es la de una microesfera dividida en dos hemisferios. Uno de ellos es de magnesio, que



reacciona con el agua produciendo burbujas de hidrógeno que propulsan el dispositivo. La otra mitad está formada por capas alternas de hierro y de oro con *topping* de nanopartículas de plata, en plan postre de restaurante exclusivo de Marbella. Las bacterias se adhieren al oro y son desactivadas por las partículas de plata, y el magne-

sio proporciona suficientes burbujas como para dar una autonomía de unos 15-20 minutos. Vistos al microscopio, estos nanobots deben tener el mismo poder hipnótico que una pastilla efervescente en una fiesta de cumpleaños de niños de primaria (experiencia basada en hechos reales).

Las ventajas de usar dispositivos pequeñitos son varias: ligereza, bajo consumo y (una vez que se sistematiza el proceso de fabricación) bajo precio. Estas características resultan ideales para las configuraciones que

tinando entre el exoplaneta y nosotros, lo cual aumentará la seguridad y la tolerancia a fallos en las comunicaciones. También es la idea en la que se basa el *Smart Dust* o polvo inteligente, que consiste en dispositivos cuyas dimensiones en algunos casos no superan las décimas de milímetro, a pesar de lo cual son capaces de integrar diversos sensores, cámaras, sistemas de comunicación y alimentación e incluso pueden dotarse de capacidad de posicionamiento GPS. Teniendo en cuenta su pequeño tamaño y bajo precio se podrían esparcir verdaderos enjambres de ellos en distintos entornos, lo cual permitiría, por ejemplo, localizar mediante su imagen térmica a personas atrapadas bajo los escombros tras un terremoto. O monitorizar en tiempo real el estado de una cosecha. O vigilar la posición de las fuerzas enemigas en un conflicto. O... Las posibilidades son casi infinitas, solo limitadas por la imaginación. Y eso no deja de ser preocupante, porque hay mucho bellaco suelto por ahí fuera con una imaginación desbordante e ideas la mar de siniestras, como la dispersión indiscriminada de este polvo electrónico a través del aire, el agua o los alimentos. Sí, de momento no son más que delirios de los conspiranoicos, pero en teoría no hay limitaciones tecnológicas para llevar a cabo estos u otros planes perversos. Así que, por si acaso... (música de Cuarto Milenio) ...fíjate bien la próxima vez que pongas orégano en la pizza.

la pregunta:

En el próximo número vamos a hablar de una de las cosas más chulas que ha inventado el ser humano: los drones. Y con esto terminamos la serie de artículos que hemos dedicado a la robótica. O no. Yo que sé...

Como si tuviera ya una mínima idea de lo que voy a contar. ¿Es que somos alemanes?

La pregunta está relacionada con un tema sobre el que hay mucha confusión: ¿qué hay que tener para poder pilotar un dron?

RESPUESTAS

- A) SENTIDO COMÚN.
- B) LA A) MÁS UN CARNET DE PILOTO DE DRONES.
- C) LA A) MÁS LA B) MÁS UN CARNET PRÁCTICO DEL TIPO DE DRON QUE QUEREMOS PILOTAR.
- D) NADA. LA A) ES PARA PUSILANIMES.

LA EVOLUCIÓN DE LAS GALAXIAS

Pilares científicos

Hace apenas cien años aún no sabíamos de la existencia certera de las galaxias. El “Gran debate” que Shapley y Curtis protagonizan en 1920 sobre la realidad de otras galaxias quedó finalmente zanjado por Hubble en 1924 con datos, siglo y medio más tarde de que Kant y otros propusieran la hipótesis de los ‘universos isla’, y de que Messier y Herschel observaran los primeros catálogos de nebulosas. Las galaxias están compuestas por estrellas, gas, polvo y radiación que interactúa con la materia (que llamamos materia bariónica); pero el 85% de la materia (que llamamos oscura) no interacciona con la radiación, aunque sabemos que está ahí porque medimos su gravedad.

El diagrama de Hubble, aderezado con observaciones espectroscópicas, es una herramienta para clasificar las galaxias por su apariencia y propiedades. Las elípticas son rojas, con estrellas viejas en movimiento aleatorio que les otorga su forma elipsoidal, y con más elementos químicos pesados (metalicidad); son las más masivas (aunque también las hay de baja masa), y por ello evolucionaron muy rápidamente, consumieron todo el gas y experimentaron un proceso rápido de paro total de formación de estrellas.

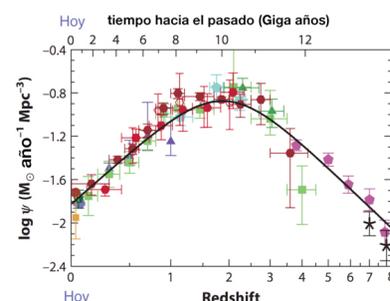


Evolución del diagrama de Hubble Fuente: NASA, ESA, M. Kornmesser

Las galaxias espirales son azules porque, además de estrellas viejas, se siguen formando muchas estrellas jóvenes que se hallan en movimiento ordenado de rotación, lo que genera su forma espiral. Hoy vemos galaxias grandes y bien formadas, pero a medida que miramos el universo en épocas pretéritas, vemos las galaxias menos estructuradas y menos masivas: las galaxias han ido creciendo en masa de estrellas y metales, y en estructura.

El universo se apaga. La imagen muestra que el ritmo de formación de estrellas en el universo fue en aumento durante los primeros cuatro mil millones de años (o sea hace diez mil millones de años si contamos desde hoy), y desde entonces ha ido disminuyendo: ahora se forman estrellas a un ritmo diez veces menor que en el máximo.

Las estrellas no evolucionan de manera proporcional a su masa: las masivas ape-



Evolución del ritmo de formación estelar en el universo (Madau & Dickinson 2014).

nas viven unos pocos millones de años, mientras que las menos masivas (como el Sol) viven miles de millones de años. Esto hace que podamos hacer arqueología estelar para estudiar la evolución de las galaxias y del universo. O podemos mirar cada vez más lejos, y por tanto ver hoy cómo eran las galaxias en épocas pretéritas. Ambos métodos de estudio dan resultados consistentes, y esto nos da confianza sobre lo que estamos conociendo del universo.

Incertidumbres

No se trata de la materia normal (bariónica) que conocemos y de la que estamos hechos. ¿Cuál es la naturaleza de la materia oscura? ¿Cuál su relación con la materia bariónica? Ambas son materia porque ejercen gravedad, pero la oscura constituye el 85% del total. ¿Cómo depende la formación y evolución de las galaxias de la distribución local relativa entre ambos tipos de materia?

¿Por qué esas diferencias entre elípticas y espirales? Vale que han evolucionado hacia una fase actual de manera muy diferente, pero ¿a qué se debe que las elípticas ya no tengan recursos gaseosos para seguir formando estrellas? ¿Por qué se apagaron ‘tan rápidamente’? Y para las espirales, ¿cuál es su fuente de gas? ¿Acaso estas siguen acumulando gas del medio intergaláctico? ¿Cuánto de

este gas queda ahí fuera? ¿Qué papel juega la diferencia en la estructura y cinemática global de ambos tipos de galaxias, la relación entre gravedad y cinemática? ¿Acaso la rotación permite la acreción eficiente de gas en las espirales pero no en las elípticas? ¿Qué papel juega el entorno en el que se encuentra una galaxia?

Dadas dos galaxias de igual masa total, una elíptica y la otra espiral, ¿por qué han evolucionado a ritmos tan diferentes? ¿Por qué la espiral sigue teniendo acceso a gas para seguir formando estrellas y las elípticas hace tiempo que evolucionan de forma pasiva (sin formar nuevas estrellas)? ¿Es la respuesta tautológica o implica unas condiciones físicas o medioambientales diferentes?

De los resultados de nuestro grupo con los datos de CALIFA (ver pág. 16) vemos cómo los gradientes radiales de

las propiedades (edad, metalicidad, etc) indican que las galaxias se han formado primero en sus zonas centrales y luego han ido creciendo hacia fuera. También han ido envejeciendo de dentro afuera. ¿Cuáles son los detalles de este crecimiento? ¿Cómo es el proceso de apagado de la formación estelar en una galaxia, que conocemos como la transición del valle verde entre la nube azul y la secuencia roja?

Las estrellas nacen, evolucionan y mueren. Las galaxias se forman, crecen y envejecen. El universo también tuvo un principio, y ahora languidece. ¿Por qué se apaga el universo? ¿Hay menos gas del que formar estrellas o es que el que hay no está en las condiciones físicas adecuadas? Es altamente probable que las incógnitas que quedan por resolver escondan puertas de acceso hacia una perspectiva muy diferente.

AGENDA

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

Sesiones de divulgación que se celebran, cada último jueves de mes, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Pueden seguirse por streaming a través de: www.youtube.com/iaaudc
Todas las sesiones están disponibles en la web del IAA.

http://www.iaa.es/lucas_lara



DESTACADOS

NAUKAS 2017

En septiembre tuvo lugar Naukas Bilbao, uno de los eventos de divulgación científica con mayor proyección del país. Ya están disponibles en internet las grabaciones de las sesiones, que abarcan, en formato breve, prácticamente todas las áreas científicas.



<http://www.eitb.eus/es/divulgacion/naukas-bilbao/>

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



WEB DE DIVULGACIÓN DEL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA



Más de quince años trabajando en divulgación han dado lugar a muchos proyectos en distintos formatos. En la web de divulgación del IAA pueden encontrarse reportajes, material radiofónico y audiovisual, dibujos animados y exposiciones, entre otros.

<http://divulgacion.iaa.es/>

EL RADIOSCOPIO

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.

<http://radioscopio.iaa.es>

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

