



I NFORMACIÓN Y A CTUALIDAD A STRONÓMICA

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

JULIO DE 2013, NÚMERO 40

La velocidad de la luz

Titán

A la caza de la galaxia más lejana

Richard Feynman

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

Imagen: Francisco de Asís Puga Ortiz

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
c/ Camino Bajo de Huétor 50, 18008 Granada. Tlf: 958121311 Fax: 958814530. e-mail: revista@iaa.es

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

SUMARIO

REPORTAJES

La velocidad de la luz: inmersa en la oscuridad ...3

Titán, el satélite con atmósfera de planeta ...7

A la caza de la galaxia más lejana ...11

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Richard Feynman ...13

EL "MOBY DICK" DE... Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)...16

ACTUALIDAD ...17

ENTRE BASTIDORES ...21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Venus ...23

El 2013 estará marcado por el paso de varios cometas. El primero de cierta importancia ha sido C/2011 Panstarrs, que ha podido verse a simple vista desde la mitad de marzo. Ha llegado a ser visible unos 20-30 minutos después de la puesta del sol, muy bajo en el horizonte, al oeste, y en estos meses ha perdido intensidad. La foto ha sido tomada desde la vega de Granada y permite apreciar la extensión de la cola, que llegó a alcanzar hasta los ocho grados (como comparación, la foto de la Luna ha sido sacada la misma noche con la misma instrumentación). El color rojizo se debe a la altura del cometa respecto al horizonte: siendo muy bajo, casi tocando el horizonte mismo, el color dominante es el rojo.

Pasarán más cometas a lo largo del año pero, si las previsiones se cumplen, el cometa Ison (esperado para noviembre-diciembre) será el evento del año, con una magnitud prevista de entre -10 y -17.

Texto e imagen: Gian Paolo Candini (IAA)

Datos de la imagen:

Telescopio: SkyWatcher ED80

Cámara: SBIG ST2000XM

Filtros: LRGB

Tomas: 10x45s para cada filtro

Montura: Losmandy G11

Lugar: Hajar (Granada)



La velocidad de la luz: inmersa en la oscuridad



¿Y SI LA LUZ, EL RESTO DE PARTÍCULAS FUNDAMENTALES Y LA MISMÍSIMA GRAVEDAD QUE EXPERIMENTAMOS EN NUESTROS LABORATORIOS NO FUERAN MÁS QUE EXCITACIONES COLECTIVAS DE UN SUBSTRATO UNIVERSAL?

Por Carlos Barceló (IAA-CSIC)

¿POR QUÉ NO ES POSIBLE VIAJAR A MÁS VELOCIDAD QUE LA LUZ?

Posiblemente esta sea la pregunta que más veces se ha hecho a los científicos a lo ancho y largo del planeta en los últimos cien años. Y, aunque pueda parecer increíble, la ciencia todavía no dispone de una respuesta completa a esta pregunta tan fundamental. La lógica permite que incluso no haya respuesta -no se puede ir a más velocidad porque el mundo nació de esa forma de entre una multiplicidad de posibilidades-, pero parece improbable. En cualquier caso, la ciencia nos impone esforzarnos en la búsqueda de la respuesta, exista o no.

El mismísimo Albert Einstein dejó claro que su propuesta de existencia de una velo-

cidad máxima para la propagación de toda señal (uno de los ingredientes básicos de su teoría de la relatividad especial de 1905) era un *principio*, el llamado “postulado de la luz”, a partir del cual se podían hacer predicciones adicionales que podían verificarse a través de experimentos. Como su nombre indica, el postulado de la luz no se construye y demuestra a partir de ingredientes más elementales, simplemente se acepta para después deducir otros fenómenos a partir de él.

Cuidado con posibles falacias. Dado el desarrollo al que ha llegado la relatividad especial, uno podría cometer el error de responder a la pregunta inicial utilizando argumentos circulares ilícitos. Por ejemplo, alguien podría contestar: la velocidad de la luz no se puede superar porque resulta que la masa (o inercia) de los cuerpos (su tendencia a mantener su estado de movimiento) aumenta más y más conforme aumenta su velocidad, de tal forma que esta masa se acerca al infinito cuando la velocidad se acerca a la velocidad de la luz; solamente los fotones, constituyentes de la luz, al no tener masa pueden llegar a viajar exactamente a la velocidad de la luz (de aquí el común uso sinónimo de velocidad de la luz y velocidad máxima). Cualquier otra señal (con soporte masivo) tiene que viajar a menor velocidad. Sin embargo, el razonamiento correcto es el siguiente: a partir del postulado de la luz se deduce por consistencia que la masa de los cuerpos debe aumentar sin límite conforme su velocidad se acerca a la de la luz;

esto es una predicción teórica derivada del postulado que debe contrastarse con el comportamiento experimental. Y así es: multitud de experimentos confirman que este fenómeno sucede.

Gran parte del desarrollo de la física del siglo XX se ha basado en compatibilizar el postulado de la luz (y el principio de relatividad, que dice que ningún experimento local puede distinguir si se está parado o con velocidad uniforme) con todas nuestras teorías. A día de hoy el alcance y la verificación experimental de la teoría de la relatividad especial (es decir, de los dos principios anteriores) es tan grande que, ante el anuncio por parte del CERN en el 2011 de una posible violación del postulado por parte de neutrinos, prácticamente la totalidad de los físicos teóricos pensamos, “¡tiene que haber un error en el experimento!”. Así ha sido finalmente.

¿Posibles fisuras en la teoría?

En otro frente, el siglo XX ha visto la ampliación sin aparentes límites del universo observable. ¡Un territorio más que demasiado grande para explorar! Sobre todo si se mantiene la idea de establecer un campamento base (por ejemplo, la Tierra) desde donde ir enviando exploradores de ida y vuelta. Ante el deseo irrefrenable de explorar esas tierras recónditas (un síndrome a lo Alejandro Magno), tan solo anunciadas por las crónicas de los astrónomos y sus telescopios, de tanto en tanto vuelve a aparecer la pregunta, ¿pero por qué no se puede viajar a velocidades mayores que

la luz?, ¿existe alguna forma de superar ese límite?

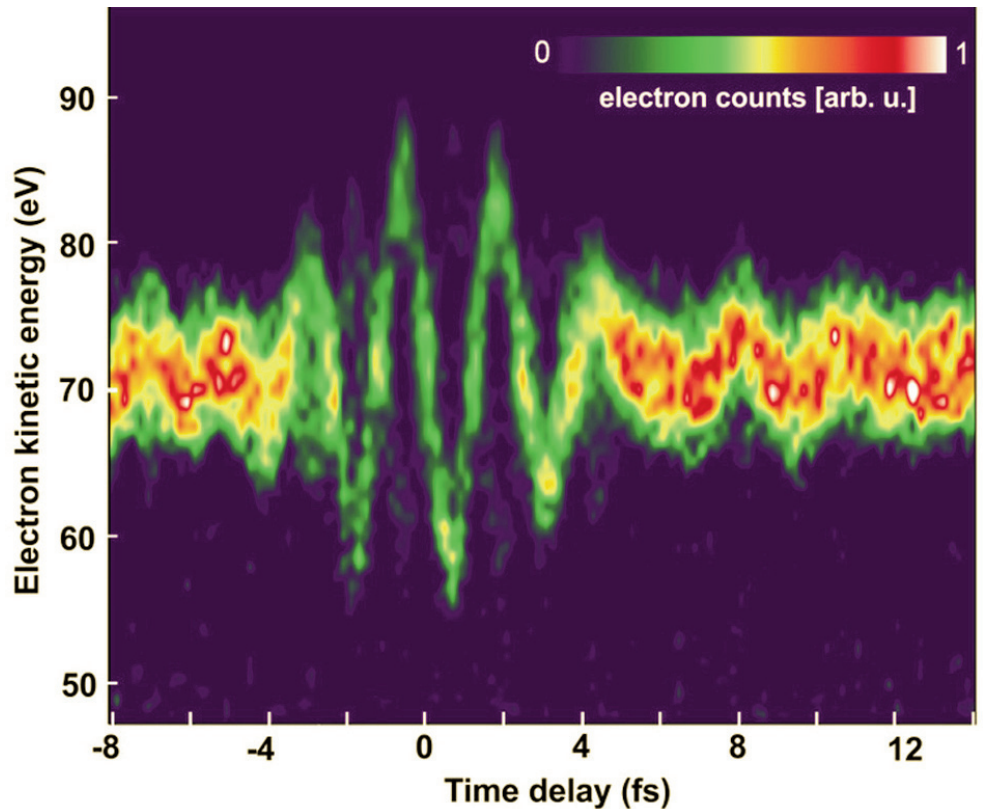
Pues bien, también Einstein, sin saberlo, proporcionó con su teoría general de la relatividad una posible puerta entreabierta a la cuestión. La teoría general de la relatividad es una teoría sobre la gravitación de los cuerpos y nace de compatibilizar la gravitación, tal como se entendía desde los tiempos de Newton, con el postulado de la luz. En esta teoría se introduce el concepto de espaciotiempo como entidad plástica y dinámica sobre el que toda señal no lumínica se desplaza a velocidades menores que la luz. La gravedad aparece como curvaturas en el espaciotiempo causadas por la presencia de materia. Todo perfectamente compatible con la existencia de una velocidad máxima. Pero, ¿cuál es la velocidad del propio espaciotiempo sobre el que todo se mueve? En principio la teoría no dice nada al respecto.

Tomando esta puerta entreabierta, en las últimas décadas se han explorado distintas formas de conseguir velocidades superluminales (por encima de la velocidad de la luz) a base de deformar el propio espaciotiempo. Una de las más conocidas e ingeniosas es el motor de curvatura (o *warp drive* en inglés). Se llama motor de curvatura a una configuración del espaciotiempo en la que aparece un pasillo o tubo por el que es posible viajar a una velocidad sin límites con respecto a los observadores fuera del tubo.

La gravedad es atractiva

Pero no cantemos victoria tan rápidamente. Para curvar el espaciotiempo en la forma deseada se necesita materia (energía) dispuesta en la forma adecuada. La materia normal curva el espaciotiempo de tal forma que, como resultado, los cuerpos se atraen. De hecho la palabra gravitación tiene su origen en *gravitas*, peso: todo cae o, en términos más modernos, todo cuerpo es atraído por la Tierra. Pues bien, se ha demostrado que las curvaturas necesarias para construir el motor de curvatura no son de este tipo: necesitan materia repulsiva (también conocida como “exótica”) en las paredes del tubo. La puerta se cierra sobre nosotros.

Un momento: resulta que existe una posibilidad teórica de conseguir materia repulsiva. Se basa en la conocida naturaleza cuántica subyacente de toda materia, e incluso del vacío. Toda materia conocida, al ser observada a nivel microscópico, exhibe comportamientos cuánticos distin-



Una de las primeras imágenes de la estructura interna de la luz (Max Planck 2004), predicha hace ciento cincuenta años por Maxwell. En ella se observa la oscilación de su campo eléctrico constituyente.

tos a los que estamos acostumbrados en nuestra experiencia cotidiana. Al menos en teoría, una configuración cuántica podría proporcionar pequeñas cantidades de energía exótica. Por una parte está el concepto de “préstamo de Heisenberg”: una fluctuación cuántica puede proporcionarnos una energía negativa si esta es devuelta en poco tiempo y el balance promedio de la cuenta energética es positivo. Por otra parte, está la posibilidad de deformar el propio vacío cuántico de tal forma que genere energías negativas en algunas regiones. ¿Cuánta cantidad de energía exótica se podría generar? Con estas energías, ¿cómo de grande se podría construir el tubo y sus paredes?, ¿suficiente para enviar a un humano por su interior o solamente se podrían construir tubos microscópicos? Estas son algunas de las preguntas sobre las que se ha estado y se continúa trabajando.

Fluctuaciones del vacío cuántico

Sin embargo, una vez que se apela a la cuántica hay que hacerlo con todas sus consecuencias. Como decíamos, el vacío cuántico contiene energía. La presencia de curvatura tiene como consecuencia distorsionar la forma del vacío cuántico y por

Se llama motor de curvatura a una configuración del espaciotiempo en la que aparece un pasillo o tubo por el que es posible viajar a una velocidad sin límites con respecto a los observadores fuera del tubo

tanto su contenido energético. La regla de tres “a tanta energía que pongo de inicio, tanta curvatura”, no funciona de forma tan simple. Cuando depositas energía en el espaciotiempo la propia curvatura genera nueva energía que también debe ser contabilizada como generadora de curvatura. Es necesario llevar a cabo un proceso iterativo hasta llegar a encontrar configuraciones energía-curvatura autoconsistentes.

El autor de estas líneas y dos colaboradores italianos, los doctores S. Liberati y S. Finazzi de SISSA, calculamos hace unos años cuál era el efecto en el vacío cuántico de las curvaturas necesarias para el motor de curvatura. Concluimos que estas curvaturas eran de tal naturaleza que generaban y comprimían en forma de onda de choque ingentes cantidades de energía en

la zona frontal del tubo de tal forma que su construcción se haría inviable. Técnica-mente, decimos que el motor de curvatura es inestable semiclásicamente.

Situaciones similares ocurren con otras formas de viajar a velocidades mayores que la luz: agujeros de gusano, tubo de Krasnikov, etc. Siempre se choca con la necesidad de incluir materia exótica en grandes cantidades y con la presencia de inestabilidades. Aunque hasta que no tengamos una teoría de gravedad cuántica con cierto grado de verificación no se podrán cerrar definitivamente estas puertas, sin lugar a dudas en este momento se hallan casi cerradas.

¿Por qué no se puede viajar más rápido que la luz?

Con un poco de perspectiva, podemos percatarnos de que no era probable, aunque muy atractivo, que a partir de teorías construidas a partir del postulado de la luz se obtuviera una forma de obviarlo. Para encontrar una explicación al porqué del límite lumínico parece más razonable empezar con un marco que permita en principio cualquier velocidad, un marco teórico en el que la relatividad especial no venga impuesta sino que pueda aparecer en algún régimen.

En la actualidad existe un marco de ideas conocido con el nombre de “Gravedad análoga” en el que la situación es precisamente la comentada. En el IAA estamos trabajando activamente en esta línea de investigación y sus múltiples vertientes. Algunas de estas ideas ya estaban presentes en la física del siglo XIX, siendo redes-

cubiertas de tanto en tanto, pero no han llegado a desarrollarse completamente.

¿Y si la luz, el resto de partículas fundamentales y la mismísima gravedad que experimentamos en nuestros laboratorios no fueran más que excitaciones colectivas de un substrato universal? Podemos imaginar este substrato como compuesto por los verdaderos constituyentes elementales. Estos constituyentes elementales no tendrían estatus de partícula pues no vivirían en nuestro espaciotiempo, que también estaría formado por ellos. Un electrón, por ejemplo, no estaría formado por unos pocos de estos constituyentes elementales, como sucede con el átomo, que está constituido por electrones, protones y neutrones, o con los protones y neutrones, que están a su vez constituidos por quarks. Un electrón o la luz serían más parecidos a una ola en el mar, un movimiento colectivo de ingentes cantidades de constituyentes elementales, moléculas de agua en el caso del mar. Además, de igual manera que la forma de la ola no depende prácti-

camente de si el agua está más o menos mezclada con otros productos, la forma de la luz y las partículas fundamentales no dependería en demasía de potenciales características microscópicas propias del substrato.

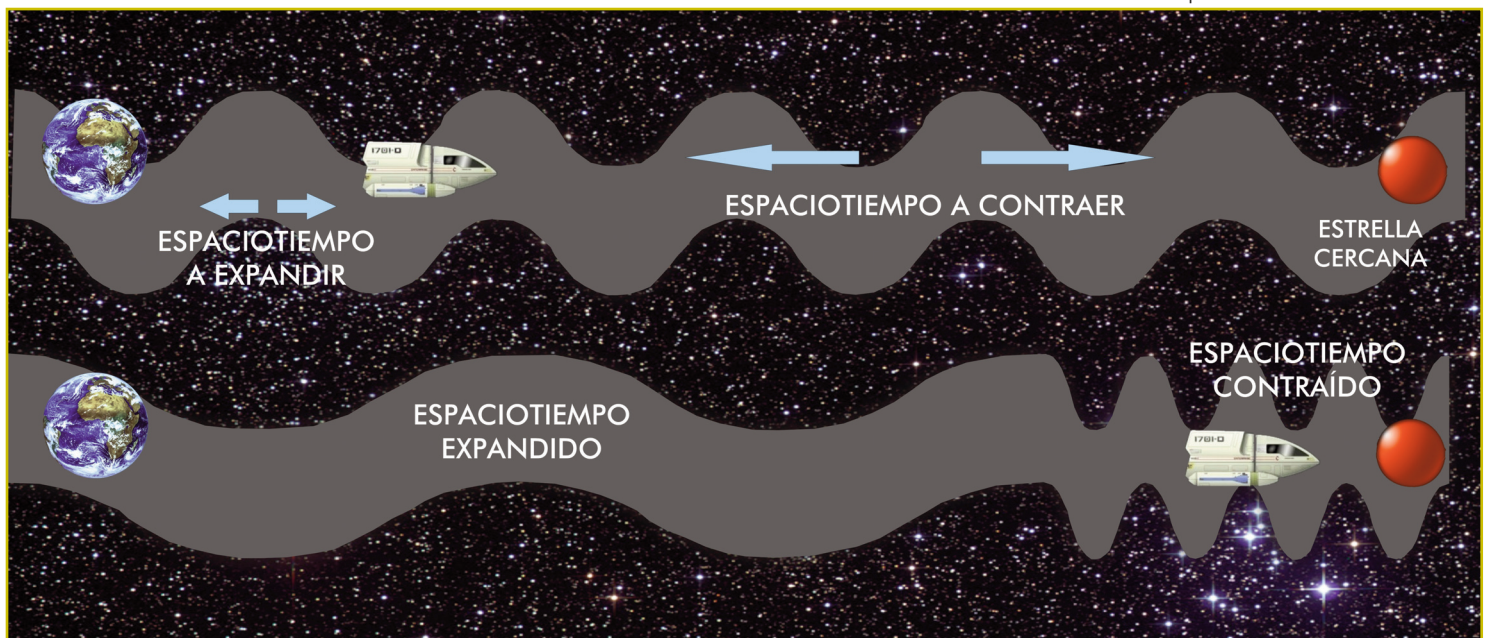
Antes de proseguir con el problema de la velocidad de la luz me gustaría destacar que este último aspecto puede dar respuesta a otra de las grandes preguntas fundamentales sin respuesta de la física: ¿por qué todas las partículas fundamentales de un tipo (por ejemplo, los electrones) pueden considerarse idénticas? La no respuesta tradicional es “bueno, resulta que todos los electrones son iguales, luego probablemente sean bloques elementales fundamentales de la naturaleza”. Una vez más, es una afirmación que se acepta como principio para después analizar dónde nos lleva. Sin embargo, la nueva conceptualización ofrece una respuesta: “Independientemente de los detalles del substrato, el carácter colectivo de las ondulaciones características las hace aparecer en la práctica como iguales”.

Volviendo al tema que nos ocupa. La velocidad finita de propagación de una ondulación aparece porque no se mide la velocidad de los elementos del substrato (no imponemos ninguna restricción a estos elementos; quizá ni tan siquiera tenga sentido hablar de velocidad para estos elementos), sino al movimiento colectivo. Variaciones en el tiempo del valor de una propiedad definida en una región puntual (por ejemplo, una presión) se relacionan con las diferencias en el valor de esa propiedad entre las regiones colindantes. De situacio-

Para encontrar un porqué al límite lumínico parece más razonable empezar con un marco que permita en principio cualquier velocidad

En la actualidad existe un marco de ideas conocido con el nombre de “Gravedad análoga” en el que la situación es precisamente la comentada

Concepción artística del motor de curvatura.



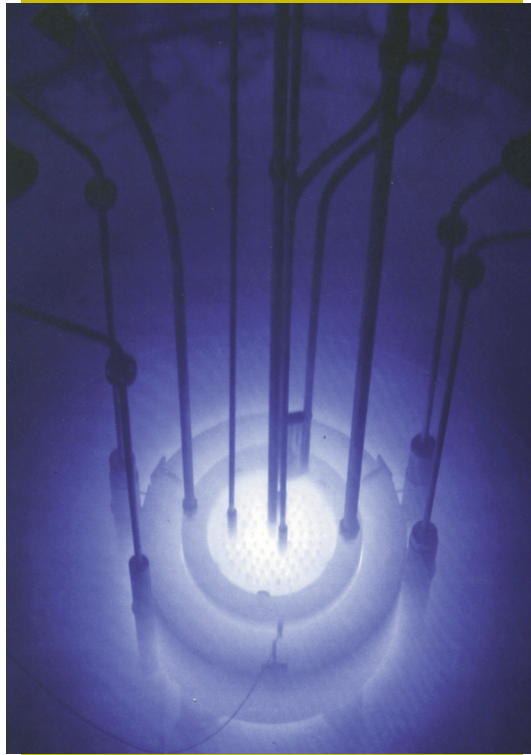
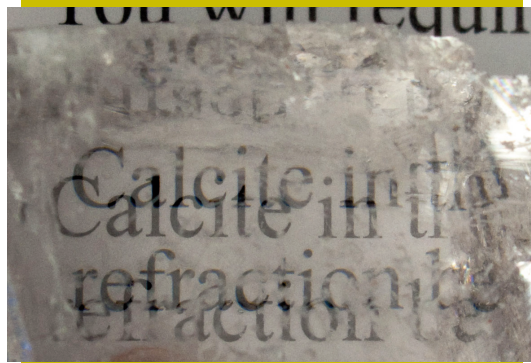
nes de este tipo surge el concepto de ecuación de ondas y el de velocidad finita y fija de propagación (al menos en un intervalo de energías). De hecho, del estudio de un modelo de substrato electromagnético dedujo James Clerk Maxwell la presencia de ondas de luz y, como consecuencia, la naturaleza electromagnética de la luz.

La interacción de las excitaciones colectivas de tipo luz con las excitaciones colectivas de tipo partícula podría inhibir que estas últimas superaran en la práctica la velocidad de las primeras. Superar la velocidad de la luz (ahora posible en principio) produciría inestabilidades que se mostrarían ya en una dificultad creciente en alcanzar ese límite. Estas inestabilidades serían similares a las que aparecen en el conocido como efecto Cherenkov. Cuando una partícula atraviesa un dieléctrico a una velocidad mayor que la luz, esta se frena rápidamente emitiendo radiación. Recordemos que la luz en un dieléctrico viaja a velocidades menores que la luz en el vacío, por lo que una partícula (por ejemplo, un electrón) puede entrar en un dieléctrico a velocidades mayores; la velocidad que no se puede superar, y a la que nos hemos venido refiriendo siempre en estas líneas, es la de la luz en el vacío.

En la naturaleza existen sistemas en los que distintos tipos de señales viajan a distintas velocidades máximas (como la birrefringencia en cristales, en la que distintas polarizaciones de la luz viajan a distintas velocidades). Normalmente esto está permitido porque el substrato en el que viajan las señales no se ve afectado por la presencia de las señales. Existen indicios para pensar que en un sistema cerrado, autoconsistente y estable, con diversas excitaciones colectivas en interacción, existiría una sola velocidad de propagación límite. Esta sería la velocidad de la luz. El universo que observamos sería un sistema en el que incluso los fenómenos de mayor energía seguirían siendo colectivos, sin permitirnos discernir la naturaleza del substrato (quizá irremediablemente inaccesible para nosotros humanos).

¿Por qué la velocidad de la luz es tan enorme en términos humanos?

Calculada en unidades naturales para



Arriba, birrefringencia en un cristal de calcita. Debajo, la radiación de Cherenkov, producida cuando una partícula cargada (un electrón) pasa por un medio dieléctrico a una velocidad mayor que la luz en ese medio (Reed Research Reactor).

nosotros, como son los metros y los segundos, la velocidad de la luz aparece como un número gigante. La luz puede conectar distancias de un metro en unos nanosegundos (10^{-9} segundos). El que para nosotros una escala de tiempo mínima natural sean los segundos es una indicación de que somos seres estructuralmente muy complejos. Cada uno de nuestros actos se compone de miles de millones de procesos microscópicos mucho más rápidos. Una comparación rápida con la física de una galaxia en el universo arroja los siguientes números: una galaxia típica mide unos cien mil años luz; una escala de variación natural para una galaxia como un todo podría cifrarse en los 10^{10} años; una evolución elemental de un sistema tan complejo como una galaxia involucraría

cien mil procesos elementales, muchos menos que en un humano.

En los estudios universitarios de física se nos suele enseñar que Hendrik Lorentz intentó entender la relatividad a partir de la naturaleza electromagnética de la materia, pero se perdió inútilmente en una maraña de complejidades. Einstein, en cambio, progresó partiendo de unos principios muy simples aunque sin explicación. Parece que la vía de Einstein es claramente la vía a seguir.

Un estudio más detallado de la historia nos ofrece otro tipo de enseñanza menos maniqueo. Para proponer las simples hipótesis de la relatividad especial, Einstein se apoyó en un conocimiento exhaustivo del electromagnetismo de Maxwell, que había descendido a los infiernos de la complejidad en aras del entendimiento. Einstein no se caracterizó precisamente por buscar la vía fácil, y más adelante se enfrentó con la complejidad de construir una teoría relativista consistente de la gravedad, su gran obra. Además, él nunca desdeñó el estudio de un posible substrato universal (el entonces llamado éter) e incluso reconoció que sin éter no podía comprender la naturaleza del espaciotiempo.

Por su parte, Lorentz dedujo antes que Einstein los efectos relativistas de tipo dilatación del tiempo y contracción de longitudes a partir de aceptar la existencia de un substrato electromagnético. La relatividad se deducía de las propiedades del substrato y no se aceptaba como un principio. Para el poco conocimiento que se tenía de la

naturaleza atómica de la materia, llegó impresionantemente lejos. Mi lectura apunta a que ambas vías científicas son complementarias y necesarias para el equilibrio en la ciencia.

Hoy estamos viendo que hacer compatible la gravedad y la cuántica parece requerir la existencia de un referencial externo. Un siglo después vemos que tenemos que retomar la filosofía de Lorentz si queremos "entender" y volver a progresar. Queda mucho por estudiar hasta llegar a tener un marco completo plausible que pueda explicar preguntas tan fundamentales como el origen de la velocidad de la luz o el carácter indistinguible de las partículas. Estos estudios constituyen cimientos para la estructura científica y un antídoto ante la burbuja inflacionaria en la que se mueve gran parte de la ciencia moderna.

Titán: el satélite con atmósfera de planeta

LA MISIÓN CASSINI, QUE SOBREVUELA SATURNO Y SUS LUNAS DESDE HACE CASI UNA DÉCADA, HA MOSTRADO LA GRAN COMPLEJIDAD Y BELLEZA DE TITÁN, UN SATÉLITE CON RASGOS DE PLANETA

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

HACE APENAS UNA DÉCADA PODÍAMOS RESUMIR EN POCAS FRASES LO QUE SABÍAMOS DE TITÁN, LA MAYOR LUNA DE SATURNO: que presentaba atmósfera (Comás Solá, 1908), que contenía metano (Gerald P. Kuiper, 1944), que su temperatura en superficie, de 179 grados bajo cero, era muy baja como para desarrollar vida (misión Pioneer 11, 1979), y que todo el satélite se hallaba cubierto por una capa de densa neblina impenetrable con telescopios ópticos (misión Voyager 1, 1980). Sin embargo, este curioso satélite con atmósfera de planeta y, se creía, lagos de metano sobre su superficie, despertó la curiosidad suficiente como para que la misión Cassini, destinada a sobrevolar Saturno y sus satélites, incluyera un módulo de descenso, Huygens, que aterrizaría sobre Titán.

Tras su lanzamiento en 1997, Cassini realizó dos pasos por Venus y uno por la Tierra y cruzó el cinturón de asteroides hasta sobrevolar Júpiter en diciembre del 2000. Con esta asistencia gravitatoria, Cassini llegó a Saturno a mediados de 2004 y su sonda Huygens descendió con éxito en Titán. Desde entonces, la misión sigue enviando datos valiosísimos, entre los últimos, un mapa topográfico de Titán. Ahora

ya conocemos parte de lo que esconde Titán bajo esa neblina (lagos, dunas, montañas y ríos), qué compone su atmósfera e incluso cómo podría ser por dentro. Mientras escribo estas líneas (23 de mayo), Cassini se halla sobrevolando Titán en busca de olas sobre la superficie de uno de sus lagos, el Ligeia Mare, para determinar si el líquido que lo forma, presumiblemente una mezcla de metano y etano, es denso como la melaza o ligero como el agua terrestre.

Si no conocían mucho sobre Titán y la misión que está revelando sus secretos, pasen y enamórense.

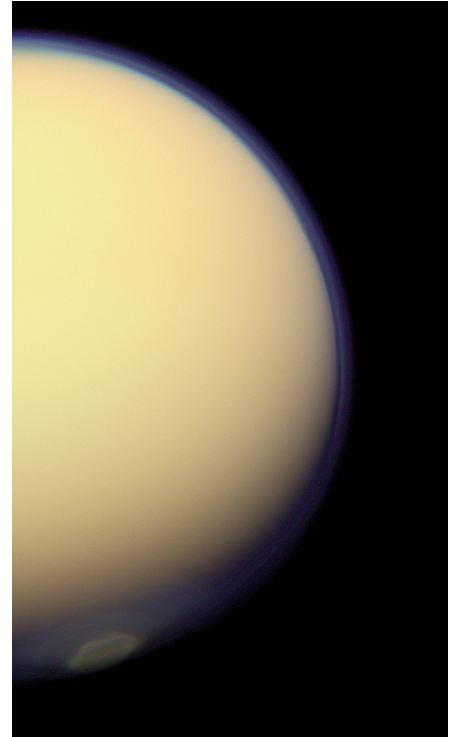
El origen de la neblina

La densidad de la atmósfera de Titán supera la de la Tierra, y genera una presión sobre la superficie algo mayor que en nuestro planeta, similar a la del fondo de una piscina. Al igual que en la atmósfera terrestre, en la de Titán predomina el nitrógeno, pero el resto de los componentes, como el metano y otros compuestos orgánicos, establecen grandes diferencias.

La proporción de estos componentes (98,4% nitrógeno, 1,6% metano, 0,1-0,2% hidrógeno y pequeñas cantidades de otros compuestos) se hallaba bien caracterizada gracias a la misión Cassini, pero precisamente los datos de uno de sus sobrevuelos sorprendió hace pocos meses al develar la existencia de un gas aún no catalogado en la alta atmósfera de Titán.

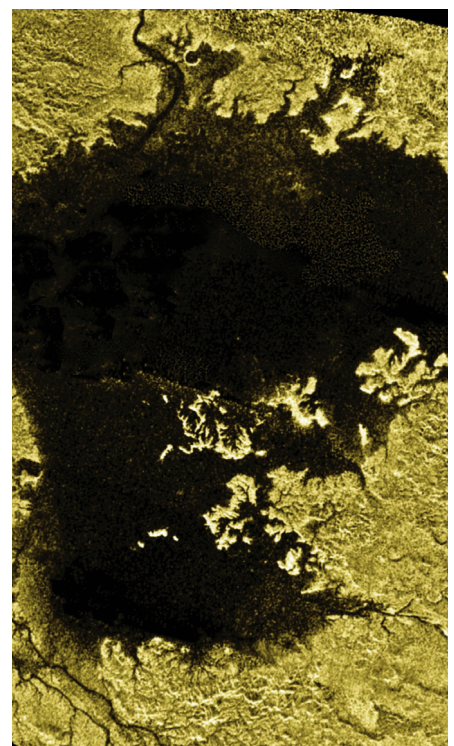
La emisión de ese compuesto sin identificar, que producía una señal muy intensa en el infrarrojo (a 3,28 micras), se hallaba presente durante las horas diurnas del satélite desde los seiscientos hasta los mil doscientos cincuenta kilómetros de su superficie, con un pico especialmente intenso a los novecientos cincuenta kilómetros. El hallazgo fue posible gracias a los datos del espectrógrafo VIMS, a bordo de Cassini.

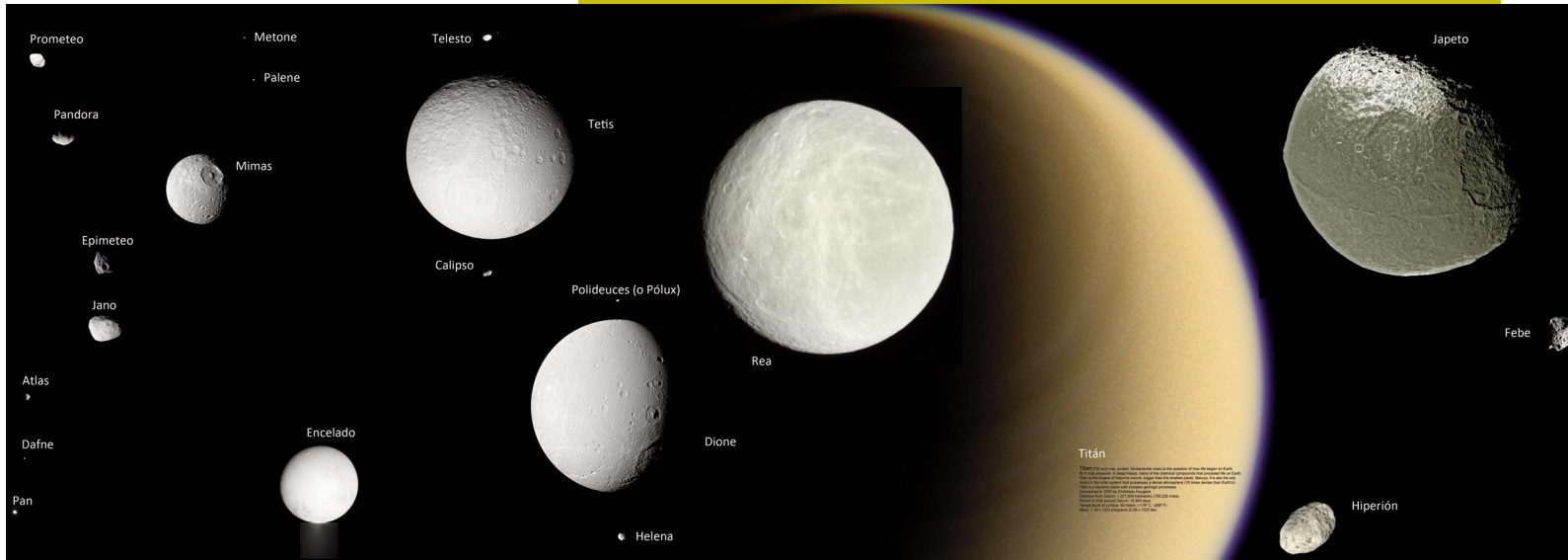
Una molécula de gas, por ejemplo de metano, puede absorber la luz solar, excitarse y, posteriormente, emitir la luz en una longitud de onda característica de dicha molécula. Así, analizando las emisiones de



Arriba, vórtice en el polo sur de Titán. Debajo, el lago Ligeia Mare.

Fuente: NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute.





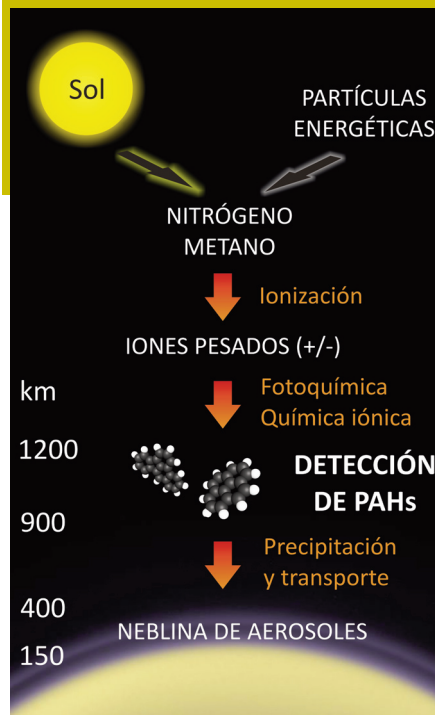
una atmósfera, la de Titán en este caso, se identifican los compuestos presentes. Y el análisis de esa intensa emisión en el infrarrojo ayudó a resolver cuestiones abiertas desde hacía décadas, relacionadas con la espesa neblina que cubre la superficie de Titán y que calienta la atmósfera y evita que se condense y disipe.

“Hace décadas se propuso que la capa de neblina de la baja atmósfera de Titán se generaba a partir de moléculas orgánicas complejas, y en 2007 se sugería que estas moléculas podían formarse en la atmósfera superior, varios cientos de kilómetros por encima de su lugar de residencia. Nuestro estudio confirma ambas hipótesis”, señala Manuel López-Puertas, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía que encabeza el estudio.

López-Puertas y colaboradores analizaron esta señal empleando una base de datos espectroscópica de la NASA y la atribuyeron a hidrocarburos aromáticos policíclicos -o PAHs, de su nombre en inglés-, un tipo de compuestos orgánicos complejos formados por cadenas de benceno. “Estos compuestos absorben los fotones ultravioleta del Sol, muy energéticos, y rápidamente redistribuyen la energía internamente y la vuelven a emitir en el infrarrojo cercano”, indica el astrónomo.

Empleando un modelo de redistribución de esa energía los investigadores consiguieron explicar la señal a 3,28 micras detectada y calcular la abundancia de hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en la alta atmósfera de Titán, cantidad que ha resultado sorprendentemente alta, entre veinte y treinta mil PAHs por centímetro cúbico.

Este resultado es coherente con el hallazgo en 2007, también por la misión Cassini, de pequeñas concentraciones de benceno y de



iones positivos y negativos de composición desconocida en la alta atmósfera del satélite, que sugería que los compuestos que forman la neblina de Titán se producían varios cientos de kilómetros por encima de ella. “Esta hipótesis implicaba la generación de grandes cantidades de especies aromáticas a gran altura -apunta López-Puertas-, y con nuestro trabajo hemos demostrado que los PAHs son la contrapartida neutra, y mucho más abundante, de las pequeñas cantidades de iones halladas en 2007. Aportamos así una evidencia clave de la composición y procedencia de la neblina de Titán”, concluye.

Destellos de un lago remoto
Antes de la llegada de Cassini, las observa-

Sobre estas líneas, los satélites de mayor tamaño de Saturno (hasta ahora se han detectado sesenta y dos). A la izquierda, esquema que muestra la formación de PAHs a partir del metano atmosférico.

ciones de radar desde Tierra y las del telescopio Espacial Hubble habían atravesado la opaca neblina y mostrado el carácter heterogéneo de la superficie de Titán. También, desde la época de las misiones Voyager, se creía que las bajas temperaturas atmosféricas podían convertir el metano en gotas de lluvia, pero se ignoraba si los lagos formaban parte de esa irregular orografía.

En este sentido, los datos de Cassini produjeron cierta decepción al principio ya que no mostraron señales de líquido en la superficie. Una decepción poco fundada, ya que en el primer sobrevuelo apenas se estudió un 1% de la superficie del satélite, una muestra poco representativa (el desierto del Sáhara cubre más de 1% del globo terrestre, y un observador externo podría concluir que no hay una gota de agua en superficie en la Tierra tras sobrevolarlo). No obstante, a mediados de 2005 se detectaba, en el polo sur de Titán, una región oscura de unos quince mil kilómetros cuadrados con forma de huella de pie. En radar, las regiones lisas aparecen oscurecidas, por lo que se creyó que podría constituir un primer candidato a lago en Titán. A mediados de 2008 se publicaba el análisis espectroscópico que confirmaba que se trataba de una superficie líquida compuesta por etano y, posiblemente, metano, nitrógeno y otros hidrocarburos, un verdadero hito pues se trataba del primer embalse de

líquido estable fuera de nuestro planeta. Un lago que, según se conoció después, muestra una superficie extremadamente lisa, con variaciones máximas en altura de tres milímetros, y con una profundidad media de entre 0,4 y 3,2 metros y de 7,4 metros de máxima.

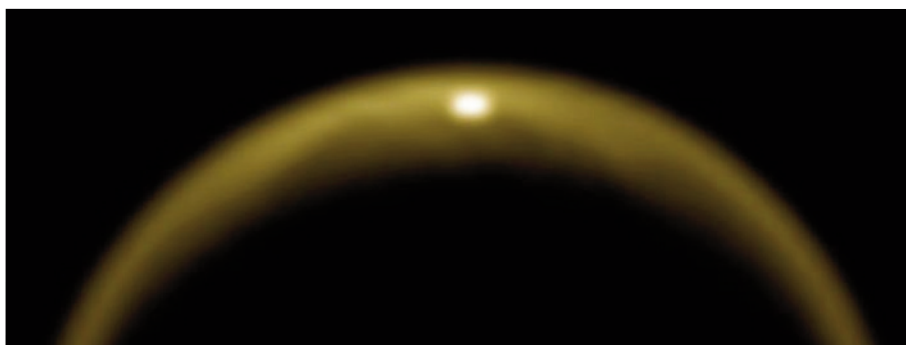
Pero antes de que llegara esta confirmación los candidatos a lago se habían multiplicado: un sobrevuelo de Cassini por el polo norte de Titán desvelaba en 2006 la existencia de más de setenta y cinco regiones oscurecidas de entre uno y setenta kilómetros de largo que, sin pecar de optimismo, lucían exactamente como uno se espera que lo hagan los lagos, situados en depresiones topográficas y con canales a su alrededor. Además, en julio de 2009 se obtenía una reflexión especular, una imagen buscada desde hacía décadas y que consiste en un intenso destello producido por superficies tan lisas que espejean cuando la luz incide sobre ellas. Con la existencia de los lagos confirmada resultaba inexplicable que no se obtuviera esa imagen, pero después

conocimos el porqué: la mayoría de los lagos de Titán se hallan en el polo norte donde, desde la llegada de Cassini, había sido invierno (un año de Saturno, y por extensión de Titán, equivale a 29,5 años terrestres). De modo que teníamos uno de los ingredientes para la reflexión especular, los lagos, pero faltaba la luz, que comenzó a iluminar el polo norte en 2009. Y para obtener una reflexión especular era necesaria además una correcta alineación entre la luz del Sol, el lago y la nave, algo que se produce a menudo en las regiones ecuato-

riales y latitudes medias pero menos frecuentemente en los polos. Ahora, observen ese pequeño punto brillante bajo estas líneas y maravíllense: estamos viendo el brillo de un lago en una pequeña luna en torno a Saturno de la que, hace apenas una década, no sabíamos casi nada.

¿Está Titán geológicamente vivo?

Cuando pensamos en lunas, casi seguro que se nos viene a la cabeza la nuestra, la Luna, con sus tremendos cráteres como antiguas heridas de guerra. Y la pregunta



UN SATÉLITE CON LLUVIA Y LAGOS DE METANO

Con una densa atmósfera y un ciclo de metano similar al hidrológico terrestre (con nubes, lluvia y líquido en superficie) caracterizado por una bajísima temperatura -179 grados bajo cero en superficie-, se cree que Titán presenta unas condiciones similares a las que pudo tener la Tierra primigenia antes de la aparición de la vida.

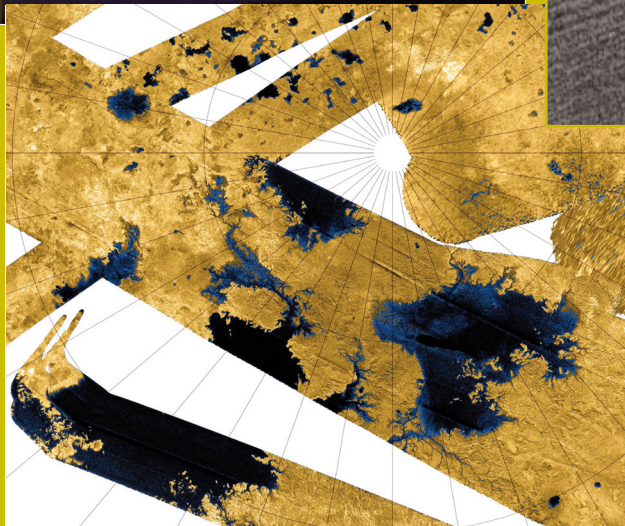
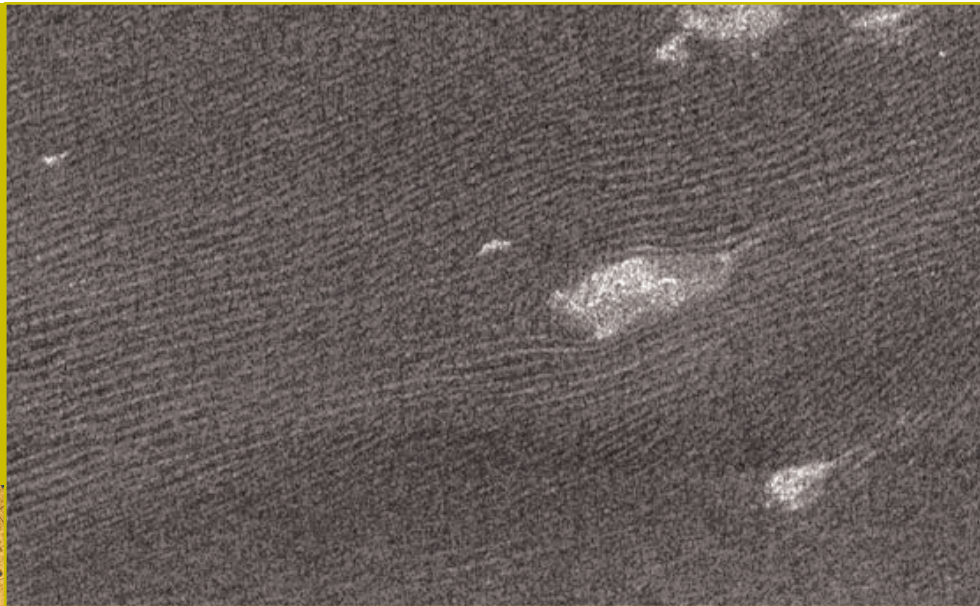
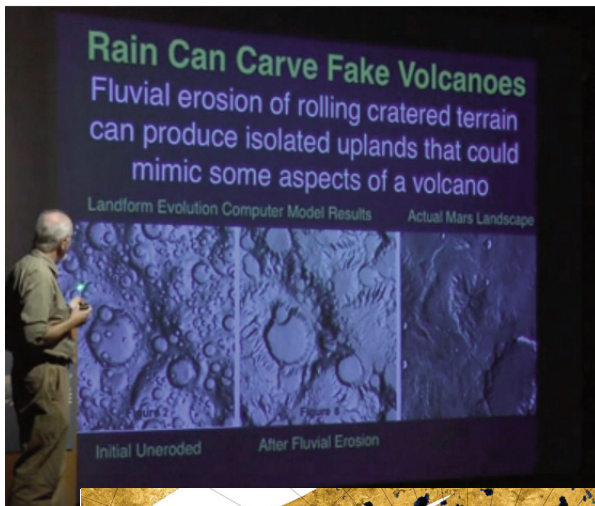
Sin embargo, existe un problema con el metano, elemento central de ese ciclo, que podría resumirse de la siguiente manera: debido a la radiación solar, el metano sufre un proceso de fotodisociación en la atmósfera que lo convierte en etano; el metano y etano forman nubes, que precipitan sobre la superficie y rellenan los lagos y forman los ríos; moléculas más complejas se forman también en la alta atmósfera, que descienden y forman la neblina que cubre todo el satélite y que terminan por originar los aerosoles que forman las dunas ecuatoriales.

Así, y de forma aún más resumida, el metano se gasta: se calcula que en un máximo de cien millones de años la radiación solar debería haber convertido el metano en hidrocarburos más complejos, de modo que debe de haber un mecanismo que reabastezca ese compuesto (a no ser que se trate, como sugieren algunos investigadores, de un elemento "pasajero", liberado en grandes cantidades en el pasado y que terminará por agotarse).

Aunque algunos han propuesto la existencia de posibles organismos que produzcan metano (en la Tierra, entre el 90 y 95% del metano es de origen biológico), la opinión más generalizada apunta a procesos geológicos para la reposición del metano, entre los que destacan la aún no confirmada actividad volcánica, la evaporación de los lagos (aunque los estudios más recientes afirman que no resulta suficiente para equilibrar el ciclo) y, finalmente, la existencia de un océano interno

que libere lentamente el metano almacenado.

Esta última opción se apoya sobre diversas evidencias indirectas. El año pasado, por ejemplo, se difundía un estudio del campo gravitatorio de Titán: la órbita de dieciséis días del satélite en torno a Saturno es elíptica, de modo que la distancia entre ambos cuerpos varía entre 1,19 y 1,26 millones de kilómetros; por ello, Titán sufre oscilaciones producidas por el tirón gravitatorio del planeta. En este caso, los cálculos apuntaban a mareas sólidas de más de diez metros de altura y los investigadores calculaban que, si el interior de Titán fuera sólido, las mareas no deberían superar el metro de altura. Según ellos, la explicación que mejor se adapta a los datos es la existencia de un océano subterráneo, pero no se trata de una conclusión irrefutable, de modo que el ciclo "metanológico" de Titán aún sigue sin mostrar todas sus piezas.



Arriba a la izquierda, ilustración de Jeffrey Moore sobre cómo la erosión por líquido puede producir que un cráter termine pareciendo un cono volcánico. A la derecha, imagen de Cassini de las dunas ecuatoriales de Titán, que pueden medir entre uno y dos kilómetros de anchura y hasta cien metros de altura (a nivel global, el paisaje de dunas abarca en torno a un 15% y un 20% de la superficie del satélite). A la izquierda, los lagos del Polo Norte.

es obvia: ¿muestra Titán cráteres? Pues sí, pero escasos. En un extenso estudio que analizaba el 22% de la superficie del satélite se difundía la existencia de cinco cráteres confirmados y de otros cuarenta y cuatro candidatos que podrían constituir versiones erosionadas de los primeros. También se mostraba una distribución poco uniforme, con regiones poco craterizadas, como el polo norte, y otras con una sobreabundancia de impactos, como la región de Xanadú (se trata de una región del ecuador que destaca por su alto albedo, o fracción de luz reflejada).

Esta escasez de cráteres, que contrasta con otros satélites compañeros como Rhea, en cuya superficie se observan cientos de huellas de impacto, es típica de superficies jóvenes y geológicamente activas.

En nuestro planeta una serie de fenómenos (tectónica de placas, erupción de volcanes, formación de glaciares y ríos...) han transformado la superficie a lo largo de miles de millones de años, y puede que en Titán operen procesos similares, aunque desentrañar cuáles no resulta sencillo. Las imágenes de Cassini han desvelado las líneas de cauces de ríos pero, según un análisis

publicado en 2012, la actividad fluvial en Titán apenas produce erosión del terreno, de modo que no debe de ser un factor predominante en transformación de la superficie. Otro de los posibles orígenes del rejuvenecimiento de la superficie son los criovolcanes, o volcanes que expulsarían agua, amoníaco o metano en lugar de roca fundida. Sin embargo, aún no disponemos de candidatos que puedan ser interpretados como criovolcanes sin lugar a dudas -aunque se conoce una cadena de tres montañas denominada Sotra Patera que parece el candidato más prometedor-. De igual modo, en 2006 se detectó lo que podría interpretarse como una cordillera montañosa de unos ciento cincuenta kilómetros de largo que constituiría un posible indicio de actividad tectónica en Titán, pero de nuevo los datos no resultan inequívocos.

De hecho, a este respecto existen opiniones encontradas y resulta muy revelador un debate (<http://vimeo.com/40176481>) en el que Ralph Lorenz (*Applied Physics Laboratory*) y Jeffrey Moore (*Ames Research Center*) ofrecían argumentos a favor y en contra de algún tipo de actividad interna en Titán. En tanto que el primero

defendía que Titán estaba geológicamente vivo a través de indicios de actividad volcánica y tectónica, Jeffrey Moore aseguraba que la actividad en el satélite se limitaba a factores por encima de su superficie, como procesos producidos por líquido (lluvia y ríos), viento (transporte de aerosoles) e impactos de meteorito. Moore mostraba que la erosión por líquido puede producir que un cráter termine pareciendo un cono volcánico y contraponía, a la versión de un Titán con calor y actividad interna, lo que anunció como la “hipótesis Tritón-Titán-Marte”. Según sus palabras, en el pasado de Titán (quizá hasta hace unos mil millones de años), el metano y nitrógeno que hoy forman la atmósfera se hallaban congelados en la superficie (en una analogía a lo que ocurre en Tritón, la mayor luna de Neptuno, cuyos volátiles se hallan atrapados en el hielo superficial). Un aumento de brillo del Sol o un episodio de bombardeo de meteoritos pudieron producir calor suficiente para sublimar el metano y nitrógeno y formar la atmósfera, que en un principio contenía mucho más metano. Sin reabastecimiento de metano, este componente terminaría por agotarse en unos mil millones de años al descomponerse en otros elementos (hidrocarburos más pesados), que entre otras cosas forman las partículas que componen las dunas que se observan en el ecuador. El metano se agotará y la presión atmosférica descenderá, de manera que las condiciones finales se asemejarán a las de Marte hoy día.

Así, y aunque la misión Cassini nos ha aportado información esencial para profundizar en el conocimiento de Titán, aún faltan evidencias rotundas sobre algunos aspectos de este mundo anaranjado.

A la izquierda, porción del cielo seleccionada para el Hubble Deep Field. A la derecha, fragmento de la imagen compuesta que mostraba unas tres mil galaxias. Debajo, relación entre el corrimiento al rojo de un objeto y la edad del universo.



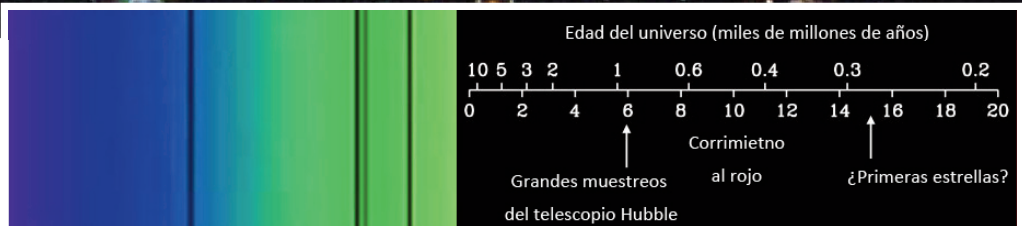
A la caza de la galaxia más lejana

EMPEZAMOS A VER, POR FIN, LAS PRIMERAS GALAXIAS QUE SE FORMARON EN EL UNIVERSO

Por Silbia López de Lacalle (IAA-CSIC)

LA VELOCIDAD DE LA LUZ, ESOS 300.000 KILÓMETROS POR SEGUNDO, HACE QUE EN CIERTO MODO SIEMPRE VEAMOS EL PASADO DE LAS COSAS. Y, aunque en nuestra vida diaria podemos pensar que la luz se mueve de forma instantánea -el tiempo que tarda en llegar a nuestros ojos y ser procesada por el cerebro es muy reducido-, para distancias mayores resulta esencial considerar su velocidad limitada. Y las distancias que se manejan en astronomía son inmensas. Tanto, que el kilómetro e incluso la Unidad Astronómica (la distancia de la Tierra al Sol: ciento cincuenta millones de kilómetros) se nos quedan pequeños y debemos recurrir a medidas como el año luz, equivalente a la distancia que recorre la luz en un año. Por ejemplo, la luz solar tarda ocho minutos en alcanzarnos, lo que supone que vemos el Sol cuando era ocho minutos más joven; pero Andrómeda, la galaxia similar a la Vía Láctea más cercana, se halla a dos millones quinientos mil años luz, una distancia insignificante a escala cósmica pero que supone que vemos Andrómeda tal y como era hace dos millones y medio de años, es decir, cuando los primeros *homo habilis* caminaban sobre la Tierra.

En astrofísica esto constituye más una ventaja que un inconveniente, porque nos permite conocer el pasado del universo. Los



telescopios, sobre todo los más potentes, pueden verse como máquinas del tiempo puesto que, cuanto más lejos miremos, a épocas más antiguas nos estaremos asomando. Lo que produce una curiosa ambigüedad, ya que una galaxia muy muy muy lejana aparecerá joven a nuestros ojos cuando en realidad se trata de una de las primeras que se formaron en el universo, es decir, una de las más viejas.

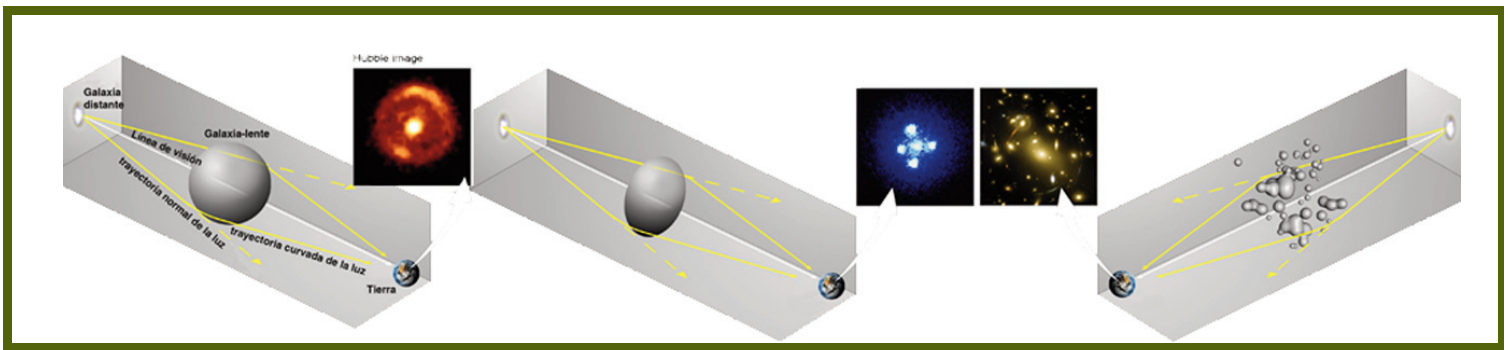
Redshift: cómo de pequeño era el universo
Antes de subirnos a lomos del telescopio espacial Hubble (HST), que nos ha aportado las imágenes más profundas del cielo, o de las lentes gravitatorias, fenómenos naturales que han permitido detectar las galaxias más distantes, debemos familiarizarnos con un término indispensable en astronomía, el corrimiento al rojo -o *redshift*- cosmológico. El redshift es el desplazamiento hacia el rojo del espectro de la luz de las galaxias lejanas debido al distanciamiento progresivo producido por la expansión del universo, y es necesario hacer hincapié en que la recesión no se debe a movimientos propios de las galaxias, sino a la expansión del espacio-tiempo donde se hallan.

Así, el redshift de un objeto nos dice cuánto se ha desplazado al rojo su luz desde el momento en que fue emitida, y se denota como "z". Por ejemplo, un redshift de dos (z=2) indicaría que la luz del objeto ha triplicado su longitud de onda desde que se emitió y un redshift de tres que la ha cuatriplicado, mientras que un redshift igual a cero supone que la longitud de onda no se ha modificado. Visto de otra manera, el corrimiento al rojo nos permite conocer cuánto

más pequeño era el universo en el momento en que se emitió la luz (por ejemplo, una galaxia con un redshift de z=1 emitió su luz cuando el universo tenía la mitad de tamaño que ahora), y se emplea para medir distancias. De hecho, es la medida más empleada para objetos muy remotos: el desplazamiento al rojo de la luz de una galaxia permite conocer su velocidad y, con ella, es posible determinar la distancia a la que se encuentra la galaxia. Además, se trata de una medida objetiva, que surge de cómo ha cambiado el espectro de un objeto, a diferencia de otros medios para calcular distancias, que implican el uso de modelos cosmológicos.

El certero ojo del telescopio espacial Hubble

Aunque a día de hoy existe una carrera por hallar los objetos a más alto redshift, con el titular "hallada la galaxia más lejana" repitiéndose cada poco tiempo, ese universo joven estuvo vedado a nuestros ojos hasta 1996, cuando el telescopio espacial Hubble produjo el *Hubble Deep Field*, una imagen de campo profundo obtenida ensamblando trescientas cuarenta y dos exposiciones tomadas a lo largo de diez días. Según la propia web del telescopio, cuando se propuso emplear el Hubble para observar, durante días y días, la misma región del cielo, nadie aseguraba que aquello pudiera ofrecer resultados científicos interesantes, pero los datos superaron las mejores expectativas: en una minúscula y aparentemente poco poblada región del cielo (equivalente al tamaño de una pelota de tenis a una distancia de cien metros), surgieron unas tres mil galaxias (¡¡tres mil!!), muchas de ellas las más

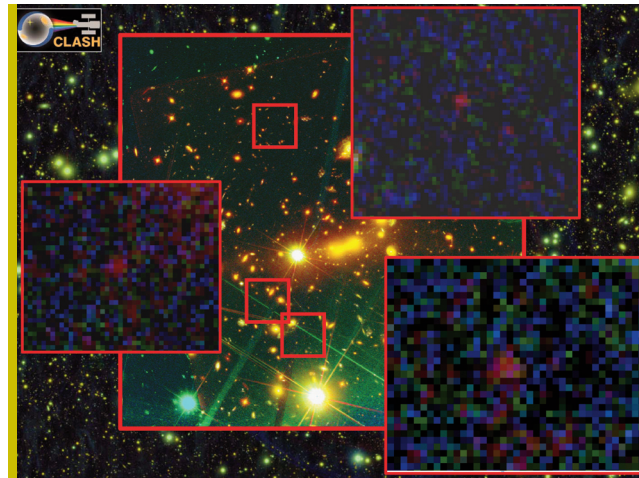


jóvenes y distantes conocidas. El telescopio Hubble fotografió galaxias situadas a redshift 6, correspondientes a una época en la que el universo no tenía ni mil millones de años -su edad estimada se halla en los 13.800 millones de años-, algo inaudito ya que por entonces solo se conocían unas pocas galaxias a redshift mayor que uno.

La verdad es que dan ganas de terminar aquí el artículo, con ese abrumador salto en el conocimiento del cosmos que supuso el *Hubble Deep Field*, pero vamos a continuar un poco porque el telescopio Hubble nos ha permitido arañar el pasado del universo aún más. En 2004 se hacía público el *Hubble Ultra-Deep Field*, que compilaba ochocientas exposiciones y que permitía vislumbrar el cosmos tal y como era hace trece mil millones de años. Esta imagen de campo ultra profundo mostraba unas diez mil galaxias de distintas edades, tamaños, formas y colores, entre las que destacan unas cien galaxias pequeñas y rojizas que vemos congeladas en un tiempo en el que el universo tenía solo ochocientos millones de años de edad. Y en 2012 el *Hubble eXtreme Deep Field*, que se había centrado en una pequeña región en el centro del *Ultra-Deep Field*, añadía otras cinco mil quinientas al censo anterior y reducía aún más la porción oculta del universo al mostrarnos cómo era hace trece mil doscientos millones de años. Un magnífico colofón para un telescopio que, en origen, fue diseñado precisamente para medir la constante de Hubble, es decir, cuánto se expande el universo.

Lentes gravitatorias: telescopios naturales

¿Paramos ya? Pues no, porque un fenómeno natural, las lentes gravitatorias, se ha aliado con el penetrante ojo del telescopio espacial Hubble y ya estamos viendo lo que pudieron ser, nada más y nada menos, que las primeras galaxias. Para comprender el complejo -y bellísimo- efecto conocido como lente gravitatoria se precisan unas nociones básicas sobre la luz y el espaciotiempo. Sabemos, gracias a la teoría de la relatividad, que la geometría del espaciotiempo no es rígida, sino que en presencia de materia se modifica y, más concretamente, se curva. Un ejemplo clásico consiste en imaginar el espaciotiempo sin materia como una sábana tendida horizontalmente y tensada por los



Arriba: distintos tipos de lentes gravitatorias posibles dependiendo de la alineación y del tipo de objeto que las produzcan.

Izda: la galaxia MACS0647-JD, cuya imagen aparece por triplicado debido al efecto lente producido por un cúmulo de galaxias. Fuente: CLASH.

cuatro extremos; si dejamos caer una pelota ese espaciotiempo se curvaría y, más curioso aún, desviaría los rayos de luz emitidos por objetos lejanos. En el fondo, la luz solo sigue el camino más corto: ante grandes cúmulos de materia se desvía o divide dependiendo de la masa del cúmulo y del nivel de alineación de los objetos. Como resultado, desde la Tierra podemos observar una magnificación de su luz (como una lupa), un aparente cambio de posición, una deformación o incluso una multiplicación del objeto más lejano.

Fue, precisamente, la magnificación de su luz lo que permitió hallar la que fue, durante unos meses de 2012, la galaxia más lejana conocida. La luz de MACS1149-JD nos llega amplificada casi quince veces por el efecto de lente gravitatoria producido por un cúmulo que se encuentra en su camino y que actúa como una lupa cósmica, y permitió observar esta jovencísima galaxia que data de cuando el universo tenía cuatrocientos noventa millones de años y que, se calcula, pudo formarse tan solo doscientos millones de años después del Big Bang. El hallazgo se enmarca en el proyecto CLASH (*Cluster Lensing and Supernova survey With Hubble*), cuyo objetivo principal reside en aportar luz sobre la materia y energía oscuras a través del estudio en detalle de una serie de cúmulos de galaxias. Uno de ellos, MACS J1149+2223, causante de la amplificación de la luz de MACS1149-JD, constituye una de las lentes más poderosas conocidas.

Sin embargo, y también gracias al proyecto CLASH, en octubre de 2012 conocíamos la existencia de MACS0647-JD, galaxia que le

sucedió en el título de “la más lejana”. Gracias nuevamente al efecto de lente gravitatoria producido por un cúmulo de galaxias, los investigadores pudieron observar tres imágenes magnificadas de MACS0647-JD que mostraban un aumento en brillo de ocho, siete y dos veces con respecto al objeto original. Esta galaxia, que vemos en una época en la que el universo contaba con cuatrocientos veinte millones de años de edad, es tan pequeña que podría hallarse en el inicio de la formación de una galaxia mayor. Se cree que las grandes galaxias, como la Vía Láctea, crecieron por la fusión de otras más pequeñas, y MACS0647-JD, con sus apenas seiscientos años luz de anchura (la Vía Láctea mide ciento cincuenta mil años luz) podría constituir uno de esos ladrillos galácticos.

Terminamos con una sorpresa acontecida en diciembre de 2012 y que puso fin al reinado de MACS0647-JD: la galaxia UDFj-39546284, que se creía a un redshift 10, se puso (gracias a una nueva compilación de datos) de repente muy a la cabeza del pelotón, al registrarse una nueva medición de redshift de 11,9, lo que la sitúa en torno a los trescientos ochenta millones de años después del Big Bang. Esta detección no se realizó con el efecto de lente gravitatoria sino con técnicas de observación tradicionales, pero supone un ejemplo de la potencia de las primeras: este resultado ha requerido cientos de horas de observación, en tanto que mediante el efecto lente podría haber supuesto tan solo unas pocas horas de tiempo de telescopio.

Como ven, el viaje de los fotones durante miles de millones de años se traduce en récords verdaderamente pasajeros.

DECONSTRUYENDO A RICHARD FEYNMAN



Por EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

A comienzos de los años sesenta, un profesor del Instituto de Tecnología de California (Caltech) imparte un curso completo de física ante una cada día más concurrida audiencia. No es un profesor cualquiera. Se trata de una de las mentes más privilegiadas del siglo XX. Uno de los protagonistas clave en la historia de la física teórica. Richard Phillips Feynman: físico teórico, matemático, premio nobel, educador, divulgador, escritor, showman, humorista, dibujante, sinestésico, experto en destripar cajas fuertes y excelente intérprete de percusión brasileña.

En aquellas *Conferencias Feynman*, el físico nacido en Nueva York despliega su enorme capacidad pedagógica y comunicativa para lograr que los más complejos conceptos físicos parezcan fáciles. Años después se publicaría un libro con un extracto de seis de aquellas clases magistrales.

SON SUS SEIS PIEZAS FÁCILES

PIEZA NÚMERO UNO. ÁTOMOS EN MOVIMIENTO. "HAY MUCHO SITIO AL FONDO"

«Si solo pudiéramos transmitir una idea científica a las próximas generaciones, yo elegiría esta: la materia está hecha de átomos, pequeñas partículas en perpetuo movimiento».

En 1956, Richard Feynman decide impartir una conferencia en la Sociedad Americana de Física. Esta conferencia ha pasado a la historia como el punto de partida de dos nuevas disciplinas científicas: la nanotecnología y la computación cuántica.

«No veo nada en las leyes físicas que impida construir ordenadores enormemente más pequeños que ahora. ¡Hay mucho sitio al fondo!»

Hay mucho sitio al fondo. Así tituló Feynman esta histórica conferencia en la que supo expresar antes que nadie las enormes posibilidades que ofrecía la investigación y manipulación del mundo microscópico. El sentido del humor de Feynman y su confianza en esta nueva física le llevó a proponer en dicha charla dos premios de mil dólares: uno para aquel que fuera capaz de construir un libro que solo pudiera leerse con un microscopio electrónico y otro para el que construyera un motor eléctrico de medio milímetro. Perdió dos mil dólares.

PIEZA NÚMERO DOS. FÍSICA BÁSICA

«Hace tan solo unos pocos cientos de años se desarrolló un método con el fin de encontrar respuestas a las preguntas que nos planteaba la naturaleza. Observación, hipótesis y experimentación, o lo que llamamos método científico».

Para Feynman la naturaleza era como un tablero de juego: desconocemos sus reglas y solo podemos descubrirlas observando atentamente su desarrollo.

«Piensas que entiendes todas las reglas hasta que ocurre algún fenómeno extraño en alguna esquina del tablero. En física fundamental, lo que no encaja, lo que no sale como esperabas, es lo más interesante. Es lo que produce revoluciones».

¿Qué aportó Feynman a la ciencia? Imposible resumirlo: la formulación de las integrales de camino en mecánica cuántica, la física de la superfluidez del helio, un modelo de interacción débil, el teorema Hellmann-Feynman, trabajos inspiradores para la nanotecnología y la computación cuántica, sus famosos diagramas y, especialmente, su aportación fundamental a la electrodinámica cuántica, la teoría que explica cómo interactúan la luz y la materia y que nos da las reglas básicas para casi todos los fenómenos que observamos en la naturaleza, salvo la gravedad y la radioactividad.



PIEZA NÚMERO TRES. LA RELACIÓN DE LA FÍSICA CON OTRAS CIENCIAS

«Debemos dejar claro que si algo no es ciencia, no tiene por qué ser necesariamente malo. Por ejemplo, el amor no es ciencia... y no es malo».

La inabarcable, prodigiosa y burbujeante inteligencia de Feynman, junto a su extremada curiosidad hicieron que fuera considerado un peligro para la seguridad nacional por su capacidad para reventar cajas fuertes; o que durante su año sabático en Brasil se convirtiera en un maestro en el arte de la percusión; o que llegara a dibujar con bastante habilidad; o que incluso se atreviera con la caligrafía china. Son decenas las anécdotas de su vida relatadas por él mismo en sus libros o por sus colegas de profesión, algunas de ellas ya míticas (*¿está usted de broma, señor Feynman?*). Un personaje único que de pequeño dudaba entre ser físico o humorista y que logró ser ambas cosas. Como el propio Freeman Dyson, otro gran físico y amigo y compañero de Feynman, reconocía: «Una vez escribí que Feynman era mitad genio y mitad bufón. No le conocía bien. Hoy escribiría que Feynman era todo genio y todo bufón».

SUS SEIS PIEZAS FÁCILES

PIEZA NÚMERO CUATRO.

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

«Existe una ley que gobierna todos los fenómenos naturales, hasta donde conocemos sin excepción: La ley de la conservación de la energía».

Una vez, su padre le realizó la siguiente pregunta: «Cuando un átomo realiza una transición de un estado de energía a otro más bajo emite una partícula de luz, un fotón, pero dicho fotón ¿existe de antemano en el átomo o no? Y si no, ¿de donde viene? ¿de dónde sale?».

Como él mismo reconoció muchas veces, su padre, vendedor de uniformes, fue fundamental en su vida: le enseñó a observar e interpretar la naturaleza, a no quedarse en el conocimiento meramente formal, a ir más allá, a preguntarse por el trasfondo de lo que veía o leía, a intentar entender y, sobre todo, a buscar su visión personal de las cosas.

PIEZA NÚMERO CINCO. LA TEORÍA DE LA GRAVEDAD

«La ley de la gravedad. Su claridad y sencillez nos da esperanza para pensar que otros fenómenos de la naturaleza puedan seguir de igual manera leyes tan sencillas y hermosas»

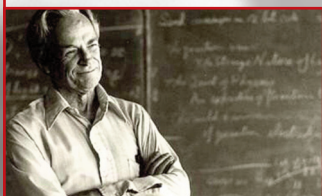
Durante una fiesta, Feynman y un extravagante artista turco pelean por la atención de una chica. A los pocos minutos ambos están enzarzados en una discusión sobre arte y ciencia. Se trata de Jirayr Zorthian, que pasaría a ser uno de los amigos íntimos del físico. Domingos alternos Zorthian enseñaría dibujo a Feynman mientras que este le explicaría física. Feynman se haría un consumado dibujante y experto en arte. Zorthian no aprendió mucho de física.

«Tengo un amigo artista que suele adoptar una postura con la que no estoy muy de acuerdo. Él sostiene una flor y dice: “Mira qué bonita es”, y en eso coincidimos. Pero sigue diciendo: “¿Ves? Yo, como artista, puedo ver lo bello que es esto, pero tú, como científico, lo desmontas todo y lo conviertes en algo anodino”. Y entonces pienso que está un poco loco. Yo puedo apreciar la belleza de una flor, pero al mismo tiempo veo mucho más en la flor. Puedo imaginar las células que hay en ella, las complicadas acciones que tienen lugar en su interior y que también tienen su belleza[...]. La ciencia no hace sino sumarle misterio e interés a la impresión que deja en nosotros una simple flor. No entiendo cómo podría restárselo».

Años después de aquellas memorables *Conferencias Feynman* se publicaría un libro con un extracto de seis de aquellas clases magistrales, las correspondientes a la física más compleja. Son sus “seis piezas no tan fáciles”.

SUS SEIS PIEZAS NO TAN FÁCILES

PIEZA NÚMERO UNO. LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ESPECIAL



«¿Qué ocurre si una fuerza actúa sobre un cuerpo durante un tiempo ilimitado? En mecánica newtoniana el cuerpo iría adquiriendo velocidad hasta alcanzar la velocidad de la luz. En relatividad esto es imposible».

Antes del premio Nobel y de los libros de divulgación, Feynman era ya una leyenda en el mundo científico y académico gracias a su talento como profesor. En 1972 fue galardonado con la medalla Oersted, el más prestigioso galardón en el campo de la enseñanza de la física. Feynman desarrollaba cada clase como si de una pieza teatral se tratara, pero con una estudiada puesta en escena aparentemente caótica y confusa, saltando entre diferentes enfoques y puntos de vista: «Es la única manera de no aburrirlos a todos al mismo tiempo».

PIEZA NÚMERO DOS

ENERGÍA RELATIVISTA

« $E=mc^2$. Esta fórmula fue utilizada para estimar la energía producida en la fisión de una bomba atómica».

Año 1941. Feynman se encuentra realizando su tesis doctoral en Princeton cuando su compañero, el físico Bob Wilson, le invita a una reunión sobre un proyecto ultrasecreto en el que está embarcado. Dicho proyecto consiste en separar isótopos de uranio, con el objetivo de construir una bomba atómica antes de que lo haga Hitler. Es el *Proyecto Manhattan*.

Con apenas veinticinco años y recién doctorado, Feynman viaja a Los Álamos, donde pasa los siguientes tres años al mando de un grupo de ingenieros cuyo trabajo era realizar los cálculos numéricos necesarios para el proyecto. En Los Álamos fue testigo de una de las pruebas nucleares de la bomba pero, como la gran mayoría, no supo medir la terrible dimensión de lo que estaban construyendo. Tras conocer los devastadores efectos de la bomba en Hiroshima y Nagasaki, entró en una profunda depresión de la que le costó años recuperarse. Lo irónico es que cuando la bomba estallaba sobre el cielo japonés, hacía tiempo que Hitler había sido derrotado.

«Mi error moral fue olvidar la razón por la que había aceptado entrar en el proyecto. Desde ese momento aprendí a reconsiderar perpetuamente las razones por las que hacía algo, porque pueden que las circunstancias iniciales que te llevaron a hacerlo hayan cambiado».

PIEZA NÚMERO TRES. SIMETRÍA

«Una de las cosas más profundas y hermosas de la mecánica cuántica es que cuando una ley física cumple una simetría, implica que también existe una ley de conservación, es decir... que algo se conserva para siempre».

Jueves, 17 de octubre de 1946. Arline. «Te adoro, preciosa».

Quince años antes de escribir esta carta, Feynman conoce en una fiesta a la que será su primera mujer y probablemente el amor de su vida: Arline Greenbaun.

«[...] Hace tantísimo tiempo que no te escribo, casi dos años, pero sé que me perdonarás[...].».

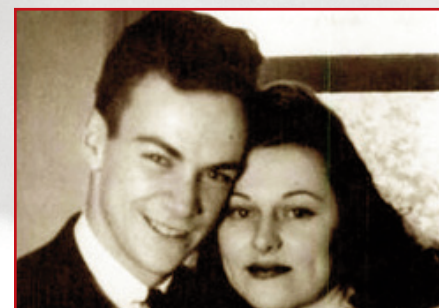
En su quinto año de noviazgo, Arline empieza a sufrir fiebres recurrentes, así como una inflamación de las glándulas linfáticas. Se le diagnostica tuberculosis. A pesar de la situación -la tuberculosis es una enfermedad tremendamente contagiosa que exige una extrema precaución en el contacto físico- ambos deciden seguir adelante con su relación.

«[...] Pero ahora sé que es bueno hacer lo que llevo posponiendo desde hace tanto tiempo[...].».

Camino de Los Álamos para embarcarse en el proyecto Manhattan, Richard y Arline se casan. Oppenheimer, el director del proyecto, media para que Arline ingrese en el hospital más cercano, a más de noventa kilómetros. Cada fin de semana, durante tres años, Feynman toma un autobús para visitar a su esposa a la que cada vez le cuesta más salir de la cama.

«[...] Solo quiero decirte que te amo, que te amaré siempre».

El 16 de junio de 1945, Feynman recibe una llamada: Arline está muy mal. Tras un accidentado viaje logra llegar a tiempo solo para verla morir. Durante más de un año es incapaz de hablar de Arline, hasta que un buen día... le escribe una carta. «[...] Postdata: Por favor, disculpa que no te envíe la carta, pero no sé tu nueva dirección».



PIEZA NÚMERO SEIS. COMPORTAMIENTO CUÁNTICO



«Mecánica cuántica. Incluso los expertos no la entienden como les gustaría. Podemos contaros cómo funciona, pero no “explicaros” como funciona».

En 1978 extirpan a Feynman un tumor. Como consecuencia, pierde el apetito y no recupera peso. Gracias a las visitas diarias de su amiga Alix Mautner, una especialista en literatura inglesa, pero sobre todo gran cocinera, Feynman empieza poco a poco a recuperar su salud. En una de estas visitas, Alix pide a Feynman que le explique esa teoría por la que ha ganado el Nobel: la electrodinámica cuántica. Feynman intenta diversos enfoques pero fracasa en todos ellos.

«No pude. No sabía cómo explicar la electrodinámica cuántica. Me habían dado el Nobel por algo que no era capaz de explicar a gente como Alix, y si no puedes hacer algo así significa que en realidad no lo entiendes».

Feynman decide retarse a sí mismo y preparar unas conferencias de divulgación con el objetivo de explicar al público general algo que se comienza a dar en tercero de carrera -la electrodinámica cuántica-. A modo de experimento, imparte la primera de estas conferencias en Nueva Zelanda, pero tras la muerte de Alix en 1982 las repite bajo el nombre de “Conferencias Alix Mautner”, todo un clásico en la divulgación científica.

PIEZA NÚMERO CUATRO. VECTORES

«Una ley física es simétrica si tras someterla a ciertas operaciones permanece exactamente igual a como estaba».

En 1965 Feynman, junto a Schwinger y Tomonaga, recibe el premio Nobel de Física por sus trabajos fundamentales en la electrodinámica cuántica. Para Feynman comienza una espiral de entrevistas, reportajes y ruedas de prensa. La gente comienza a reconocerle por la calle. Feynman lo recuerda como una pesadilla. Nunca le gustaron los honores. Pensó incluso en rechazar el premio, pero eso hubiera supuesto un escándalo casi peor.

«No veo el interés en que alguien de la academia suiza decida que ese trabajo es suficientemente noble para recibir un premio. Yo ya recibí mi premio. El premio es el placer de descubrir. Eso es lo que es real. Los honores son irreales».



PIEZA NÚMERO CINCO. TIEMPO CURVO

«La medida del tiempo depende de la velocidad a la que te mueves. Por ejemplo, si vemos a un tipo viajando en un cohete, percibiremos que las cosas ocurren más lentamente para él que para nosotros».

En 1986 Feynman recibe una llamada de un antiguo alumno de Caltech: William Graham, ahora director ejecutivo de la NASA. Graham llama a Feynman porque quiere que sea miembro de la comisión que investigará el mayor desastre de la historia espacial de Estados Unidos: la explosión del transbordador Challenger. A regañadientes y animado por su mujer, Feynman acepta participar.

Feynman se siente un bicho raro en la NASA. Allí se da de bruces con los vericuetos y entresijos más ocultos y sibilinos de la política. A pesar de ello, y gracias a las “sugerencias” de un informante, Feynman demostró ante las cámaras de televisión el papel clave que jugó en la catástrofe del transbordador la pérdida de elasticidad a bajas temperaturas de las llamadas juntas toroidales. Pero, sobre todo, Feynman puso en evidencia la falta de comunicación entre la dirección y los ingenieros a la hora de valorar las probabilidades reales de que ocurriera un accidente. Esta conclusión no fue aceptada por la comisión por miedo a que la NASA perdiera su respaldo presupuestario, pero Feynman

exigió que se incluyera en el informe final a modo de apéndice. Un informe en el que, entre otras cosas, escribía:

«Para lograr un éxito tecnológico, la realidad debe estar por encima de las relaciones públicas, porque la Naturaleza no puede ser engañada».



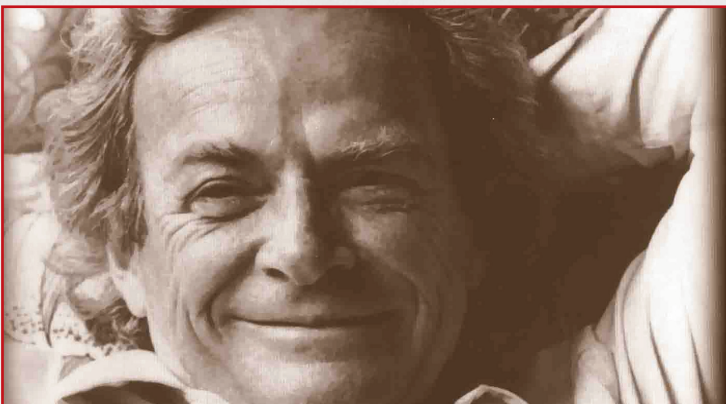
PIEZA NÚMERO SEIS. ESPACIO Y TIEMPO

«El concepto “ahora” es una idea de nuestra mente. El presente no es algo definible desde un punto de vista físico. Nadie nos puede decir qué está ocurriendo “ahora mismo” porque, en realidad, el presente es inobservable».

En 1987 Feynman vuelve a enfermar de cáncer. Tras varias operaciones fallidas, decide no seguir más tratamientos. A las 10:34 del 15 de febrero de 1988, Richard Philips Feynman muere en los Ángeles, California. Sus últimas palabras fueron:

«No soportaría tener que morir dos veces. Es muy aburrido».

Actualmente Feynman reside en la impronunciable capital de Tuva, una república rusa al sur de Siberia.





el "Moby Dick" de...

...Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)

El par de galaxias IIZw70/71

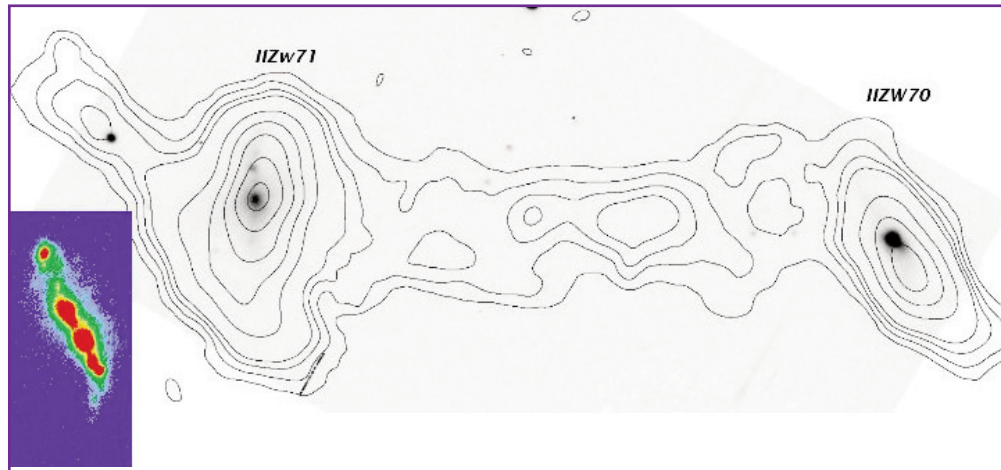
En el departamento de astrofísica extragaláctica del IAA se desarrolla a veces una actividad que roza la estadística pura, a partir del conteo de miles e incluso millones de galaxias, en lugar de la conexión estrecha que puede surgir del estudio más obsesivo de un solo espécimen u objeto. No conviene despreciar dicho tipo de relación más pasional entre el científico y el sujeto de su estudio ya que supone un motor emocional que ha sido la fuente de numerosos descubrimientos en la historia de la ciencia. Así pues, los científicos extragalácticos disponemos a veces de patrones que nos otorgan el ejemplo clásico de lo que nos gustaría reconocer y caracterizar en una muestra más amplia de objetos en el universo local y en el universo más joven y, por tanto, más lejano. Una de las clases de galaxias que a mí más me interesa son las galaxias enanas con formación estelar. Estas galaxias se pueden considerar por muchos motivos como auténticos "fósiles vivientes" cuando son descubiertas a dis-

"En IIZw70 el movimiento del gas ha producido una de las estructuras más hermosas que pueden ser detectadas: un anillo polar"

tancias relativamente pequeñas de nuestra Vía Láctea, ya que representan un tipo de galaxias que era mucho más frecuente en las primeras etapas del universo. En dicho período, el número relativo de galaxias enanas (hablamos de centenas e incluso miles de veces más pequeñas que nuestra Galaxia) era mucho mayor y con mucha mayor densidad ya que el universo era más pequeño. En estas condiciones las galaxias interactuaban frecuentemente entre ellas, fusionándose para crear las galaxias más grandes que podemos ver hoy en día. Además, la mayor parte de su masa se encontraba en forma de gas, lo que favorecía la creación de nuevas estrellas, algunas de ellas muy masivas, por lo que eran muy brillantes y azules, ionizando el gas circundante y creando potentes vientos que expulsaban al medio interestelar e intergaláctico nuevos materiales producidos en el interior



Nacido en Madrid, finalizó sus estudios en Física Teórica en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en 1997. Obtuvo su doctorado en 2003 con un trabajo titulado "Diagnóstico de galaxias HII en el rojo lejano". Después de tres años como profesor asistente en la UAM, obtuvo una estancia postdoctoral en el *Laboratoire d'Astrophysique* de Toulouse-Tarbes. Actualmente es investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía en el departamento de Física Extragaláctica.



El par de galaxias IIZw70/71.

de las estrellas una vez que explotaban como supernovas.

Uno de los ejemplos más claros y bellos de este tipo de interacción entre dos galaxias enanas que se hallan en pleno proceso de creación de estrellas y que están lo bastante cerca de nosotros como para poder estudiarlas en detalle (a unos seis millones de años luz, el doble de la galaxia de Andrómeda) es el par de galaxias IIZw70/71. Su nombre se debe a que pertenecen al segundo catálogo de galaxias compactas elaborado por el astrónomo suizo Fritz Zwicky en los años 70. La interacción entre estas dos galaxias enanas se sospechaba por su relativa cercanía (una dista 60.000 años luz de la otra, menos que el radio de la Vía Láctea), pero se hizo evidente con la detección de un puente de hidrógeno neutro que las une a partir de observaciones en la banda de radio, como se aprecia en la imagen tomada de un artículo de Cox y colaboradores y editada por Rubén García Benito (IAA). Dicho puente de hidrógeno se ha producido como consecuencia del paso de una de las galaxias cerca de la otra, arrastrando parte de su gas. Este movimiento del gas ha producido un aumento de la tasa de formación estelar en ambas galaxias, aunque de una manera muy diferente. En IIZw70 la formación estelar se distribuye por toda la galaxia, mientras que en IIZw71 ha produ-

cido una de las estructuras más hermosas que pueden ser detectadas en el universo: un anillo polar. Dicho anillo se aprecia mejor en el recuadro de la esquina inferior izquierda, con observaciones en el filtro estrecho de la línea H alfa. Esta línea de emisión es característica del gas ionizado por procesos de formación estelar masiva y, como puede apreciarse, en esta galaxia se distribuye en nodos individuales que pertenecen a un anillo que rota alrededor de la galaxia central, mucho más antigua y sin formación estelar. Actualmente quedan todavía muchas incógnitas sobre la manera en que estos anillos se forman y cuánto tiempo pueden perdurar, pero los análisis de nuestro grupo sobre el contenido en metales de las dos galaxias prueban que se trata de un anillo con gas procedente de IIZw70, lo que confirma que es un anillo de reciente creación. Otra de las utilidades del estudio de los anillos polares reside en que permiten trazar con precisión la velocidad de rotación de la materia alrededor de la galaxia anfitriona y, por tanto, cuantificar su masa dinámica, es decir, la suma total de la masa de las estrellas, del gas y de la denominada materia oscura, que solo puede ser detectada de esta manera. Las galaxias con anillo polar que alberga formación estelar, por tanto, han permitido confirmar la existencia de dicha materia, cuya naturaleza sigue siendo uno de los mayores misterios aún velados en nuestro universo.

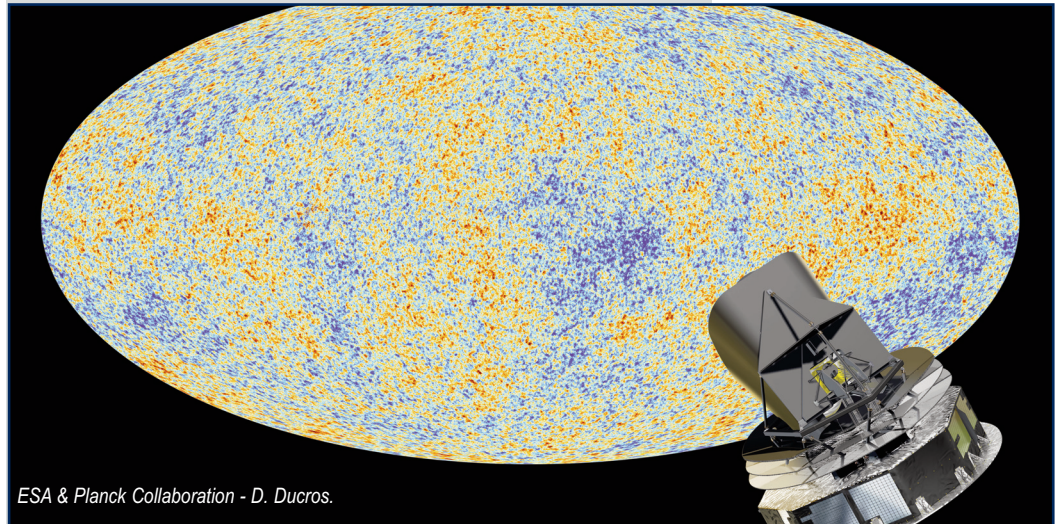
¿Qué hay en "el fondo del microondas"?

Los últimos datos de la misión Planck (ESA) han confirmado, con ciertas salvedades, el modelo cosmológico que define el universo. Sin embargo, desconocer el 95% de ese universo supone un grave problema

► Hace ya demasiados años estaba yo haciendo mi tesis en Cantabria en el mismo departamento en el que un grupo de gente trabajaba preparando un satélite para medir la radiación de fondo cósmico. En un desliz mítico, un periodista entrevistó a uno de los miembros del grupo y publicó un artículo sobre "los científicos cántabros que estudian el fondo del microondas". Intentaré ser un poco más serio, aunque seguro que no conseguiré ser tan memorable.

Aquel instrumento se llamaba entonces "Cobras/Samba" y, tras muchos años de diseños y mejoras, se convirtió en Planck, una de las misiones bandera de la Agencia Espacial Europea. Fue lanzado en mayo de 2009 y en marzo de 2013 ha publicado las mejores observaciones jamás obtenidas de la radiación de microondas que permea el universo, con gran efecto tanto a nivel científico como social.

Precisamente por ese éxito mucha gente se pregunta qué hay tan importante en los resultados de Planck. Desde mi punto de vista, por un lado está el propio interés (un poco más "lego", por ponerlo de alguna manera) de estar observando directamente



ESA & Planck Collaboration - D. Ducros.

el eco del fragor inicial del universo, y eso no es poco. Pero desde la perspectiva más profesional, los datos de Planck nos dan dos mensajes a la vez paralelos y contradictorios:

Los astrónomos han desarrollado un modelo cósmico que reproduce con una precisión pasmosa las observaciones. Este modelo incluye una Gran Explosión inicial (el Big Bang) acompañada de un proceso inflacionario y un universo plano dominado por la gravedad, que contiene un 75% de algún tipo de energía oscura junto con un 25% de materia (en su mayor parte de un tipo desconocido). Parece que hemos llegado casi al nivel de nuestros colegas de partículas y podemos hablar de medidas de parámetros cósmicos en las que aparecen varias cifras significativas. Parece un chiste, pero no lo es: hace solo veinte años dudábamos no ya del valor, sino de la existencia misma de muchas de las magnitudes que hoy medimos.

No obstante, la propia precisión de las medidas nos indica que hay pro-

blemas. El primero es, posiblemente, experimental o de modelización: los detalles más finos no parecen encajar con el nivel de precisión esperado. Por ejemplo, algunos de los armónicos esféricos más bajos del mapa de radiación tienen mayor intensidad de lo que predice el modelo. Además, hay asimetrías e irregularidades en la distribución de las intensidades que parecen ser algo más fuertes de lo que podría esperarse de la pura estadística. Es posible que haya espacio para algún cambio o alguna sorpresa dentro del modelo.

Pero el problema principal es, ciertamente, mucho más profundo. Si hacemos caso al modelo del que estamos hablando, debemos asumir que entendemos perfectamente la dinámica y la geometría del universo... ¡a pesar de que ignoramos la naturaleza del 95% de su contenido! Seguimos sin tener un candidato sólido para identificar la materia oscura, y no conocemos ninguna entidad física que tenga las propie-

dades físicas de la energía oscura.

Desde el punto de vista ontológico parece difícil encontrar una situación peor. Y, aún más grave, creo yo, es el hecho de que los principales instrumentos y proyectos que se avistan en el futuro no pueden resolver este problema. Están diseñados para refinar las medidas, para ajustar mejor los parámetros, para calcular más decimales. Como decía gráficamente Abraham Loeb en un reciente y brillante ensayo (*On the Importance of Conceptual Thinking Outside the Simulation Box*, <http://arxiv.org/abs/1305.5495>), es probable que estemos intentando avanzar en el conocimiento haciendo solo ingeniería, mientras que hemos dejado demasiado pronto de lado la arquitectura. Cabe la posibilidad, quién sabe, de que "en el fondo del microondas" no estén todas las respuestas o, peor aún, de que no las estemos sabiendo leer. Quizás debamos mirar también "en el fondo de la chistera".

Alberto Fernández Soto (IFCA)

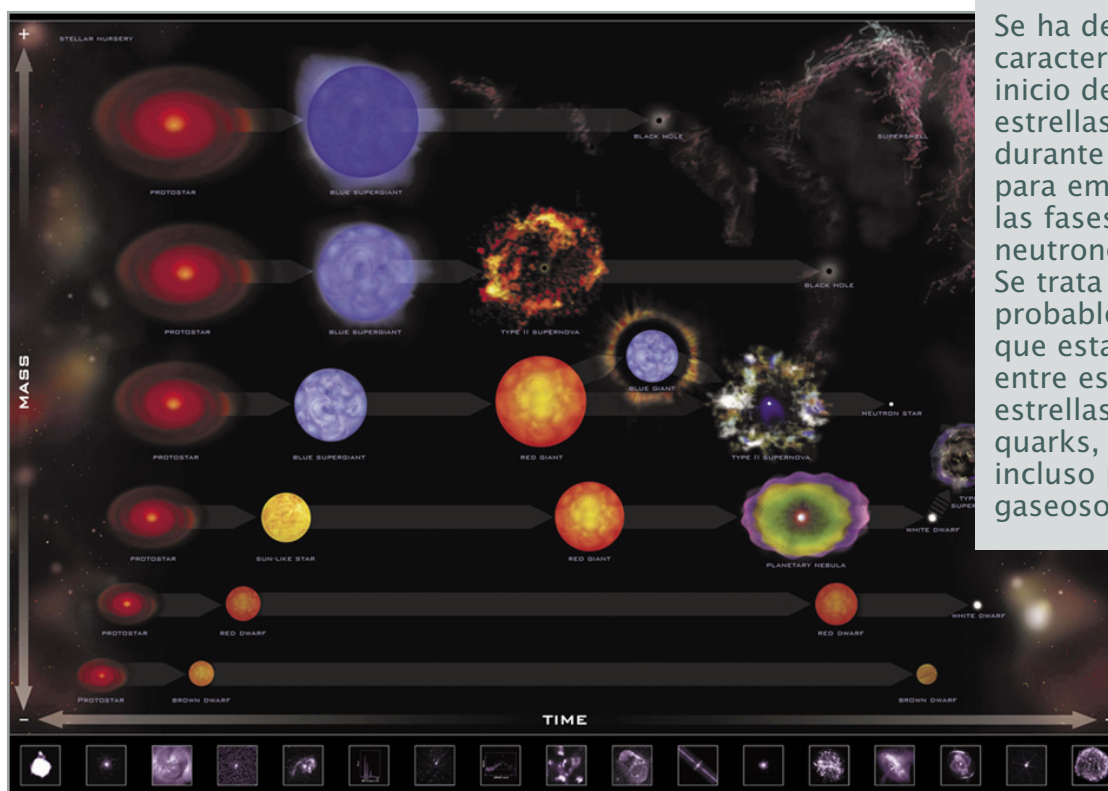


El telescopio SUNRISE vuelve a surcar el Ártico en globo

► El pasado mes de junio tuvo lugar el segundo viaje de cinco días en globo de SUNRISE, un telescopio solar de un metro de diámetro con capacidad para observar detalles de hasta cien kilómetros de la superficie solar. SUNRISE investiga la estructura y dinámica del campo magnético en la atmósfera del Sol desde una posición privilegiada, en el Ártico y a una altura de unos cuarenta kilómetros, lo que evita los ciclos de día y noche y la degradación de las imágenes producida por la atmósfera terrestre. España participa a través de IMAx, un magnetógrafo diseñado y construido bajo la dirección del Instituto de Astrofísica de Canarias y en el que participan el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), la Universidad de Valencia y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

<http://www.iaa.es/prensa/el-telescopio-solar-sunrise-vuelve-surcar-el-artico-en-globo-0>

Las estrellas guardan "memoria" de su infancia en las etapas finales



Se ha descubierto que una característica presente al inicio de la vida de las estrellas desaparece durante su etapa adulta para emerger de nuevo en las fases de estrellas de neutrones y enanas blancas. Se trata de una función probablemente universal, que establece similitudes entre estrellas jóvenes, estrellas de neutrones y quarks, enanas blancas e incluso planetas gigantes gaseosos.

CHANDRA (NASA)

► A lo largo de su vida, las estrellas sufren cambios en su masa, presión, composición y estructura interna para, al agotar su combustible y dependiendo de su masa inicial, dar lugar a un objeto compacto como una enana blanca, una estrella de neutrones o un agujero negro. Podría pensarse que esta agitada evolución, que incluye episodios explosivos como el de supernova en el caso de estrellas masivas, debería impedir que las estrellas conservaran al final de su vida características de sus primeras etapas. Sin embargo, un estudio realizado por Antonio Claret, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), concluye que, en cierto sentido, las estrellas tienen "recuerdos".

Esta memoria (en términos matemáticos, la función gamma) guarda relación con tres parámetros estelares: por un lado, la energía potencial de la estrella, que surge del hecho de que sea una esfera de gas autogravitante; por otro, su momento de inercia, que describe su resistencia a girar y está ligado a cómo se distribuye la masa en su interior (algo parecido al caso

de una patinadora, que puede modificar su velocidad de rotación estirando o contrayendo los brazos); y, finalmente, el grado de compacidad.

"Hemos estudiado el comportamiento de gamma desde las primeras fases hasta los estadios finales de la evolución estelar y concluimos que, si bien dicha función es invariable hasta las primeras etapas de la secuencia principal, o etapa juvenil, después pierde por completo esa constancia durante la etapa adulta, varía drásticamente y puede tomar valores miles de veces mayores que al inicio de la vida de la estrella", apunta Antonio Claret (IAA-CSIC).

Pero lo verdaderamente fascinante reside en que, tras las fases finales de la etapa adulta y los procesos violentos que se producen cuando las estrellas agotan su combustible, cuando estas alcanzan su fase de objeto compacto (sea enana blanca o estrella de neutrones) recuperan ese valor constante que presentaban en su infancia. "Es curioso que esta función se pierda para reaparecer en las fases finales. Parece comportarse como un fósil: después de virtual-

mente desaparecer, vuelve a escena y nos aporta información sobre el organismo original", señala Claret.

El estudio realizado por Claret, y que se difunde a través de dos artículos científicos, indaga también en las razones por las que ese valor constante desaparezca para volver a surgir al final de la vida de las estrellas. Y se halla una correlación entre la cantidad de energía que se genera en el núcleo de una estrella y las variaciones en la función gamma. "Hemos extendido también esta investigación a planetas gigantes, de entre una y cincuenta veces la masa de Júpiter, y siguen la misma pauta, con la diferencia de que permanece constante a lo largo de toda su vida porque carecen de actividad nuclear. Parece realmente ser una función universal", concluye Claret (IAA-CSIC).

Estrellas de neutrones

Esta investigación ha resultado de especial interés en el caso de las estrellas de neutrones, un tipo de objetos extremadamente compactos que pueden contener una masa equi-

valente a la del Sol concentrada en un diámetro aproximado de catorce kilómetros. Las estrellas de neutrones constituyen un posible final en la vida de una estrella masiva que, tras expulsar

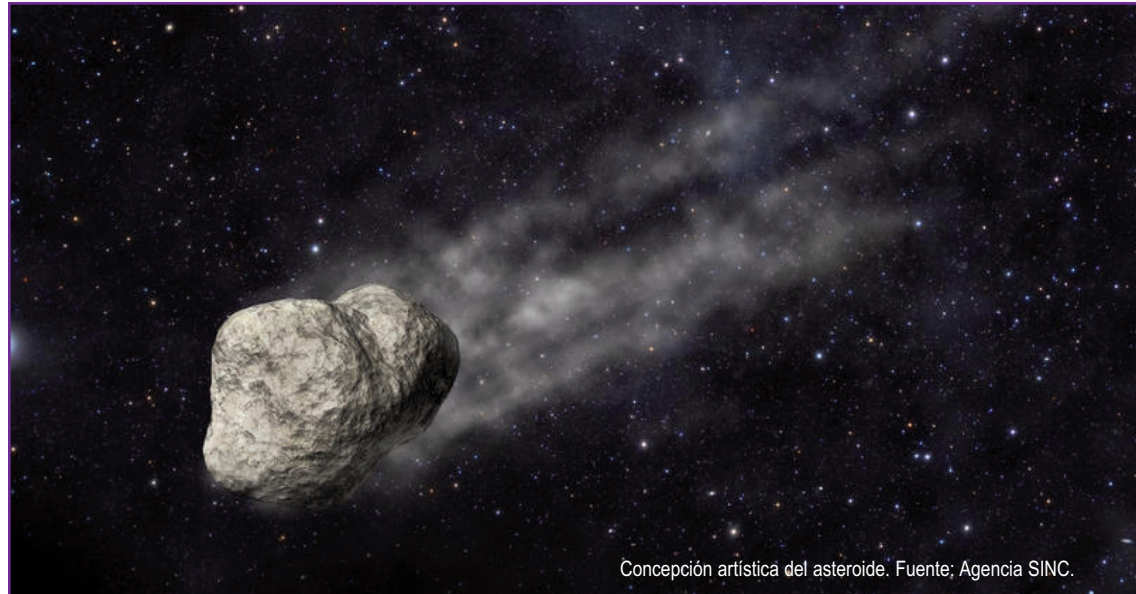
todas sus capas en una explosión de supernova, solo conserva el núcleo. Si la masa de la estrella progenitora es menor que unas veinte masas solares dará lugar a una estrella de neutrones, mientras que si supera ese límite se contraerá hasta que su densidad se vuelva infinita y produzca finalmente un agujero negro.

"El hecho de que la función gamma se recupere incluso después de una explosión de supernova resulta sorprendente", afirma Claret (IAA-CSIC). Gracias a este estudio, el investigador ha establecido un criterio de estabilidad para las estrellas de neutrones, que no solo define qué condiciones deben cumplir para conservar la estabilidad y no colapsar en un agujero negro, sino que además permitirá seleccionar, entre los modelos disponibles, cuál describe mejor la estructura interna de estos objetos. "Actualmente estamos investigando las implicaciones de dichas propiedades en el umbral de la formación de agujeros negros", adelanta.

Silbia López de Lacalle (IAA)

Descubren cuándo le nació la cola al asteroide P/2012 F5 (Gibbs)

Los asteroides no se caracterizan por exhibir una cola, pero se conoce una decena de excepciones. Investigadores españoles han observado uno de estos raros asteroides y han descubierto que quizá una ruptura interna o una colisión ocurrida en torno al 1 de julio de 2011 provocó la aparición del "apéndice"



Concepción artística del asteroide. Fuente: Agencia SINC.

► Hasta ahora se conocen diez asteroides que, al menos en algún momento, han presentado una cola parecida a la de los cometas. Se los denomina *main-belt comets* (MBC) porque tienen una órbita típicamente asteroidal pero muestran una cola, es decir, actividad de emisión de polvo y, posiblemente, gas, como los cometas.

Uno de estos objetos, bautizado como P/2012 F5 (Gibbs), se descubrió en marzo de 2012 desde el Observatorio Mount Lemmon en Arizona (EEUU). En mayo y junio de ese mismo año astrofísicos españoles lo siguieron desde el Gran Telescopio Canarias y, mediante cálculos matemáticos, han conseguido deducir cuándo le nació la cola.

"Nuestros modelos indican que se produjo por un evento impulsivo de muy corta duración –de tan solo unas pocas horas– en torno al 1 de julio de 2011, con una incertidumbre de veinte días", explica a SINC Fernando Moreno, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC). Junto a otros colegas del Instituto de Astrofísica de Canarias y la Universidad de la Laguna han publicado los datos en *The Astrophysical Journal Letters*. Las imágenes del telescopio revelan "una estructura de polvo muy fina y alargada que coincide exactamente

con la sincrona de ese día", comenta Moreno. Para una fecha de observación dada, una sincrona es la posición en el plano del cielo de las partículas que libera este tipo de objetos con una velocidad nula en un instante de tiempo. En este caso, la sincrona del 1 de julio de 2011 es la que mejor se ajusta a la delgada cola.

La anchura y la variación del brillo desde la cabeza hasta el final de la cola han permitido a los investigadores deducir las propiedades físicas de las partículas y en qué proporciones se encuentran las de diferentes tamaños.

A partir de los valores del tamaño máximo y de la velocidad de las partículas liberadas, el equipo ha calculado que el asteroide debe tener de cien a ciento cincuenta metros de radio y que la masa de polvo liberada ronda el medio millón de toneladas.

Los investigadores barajan dos posibles hipótesis para explicar el origen de la cola de P/2012 F5: "Podría haber surgido por su colisión con otro asteroide o bien debido a una ruptura rotacional". El segundo mecanismo consiste en el desprendimiento gradual de material tras una fragmentación parcial del asteroide. Esta, a su vez, se produce por el rápido giro del asteroide que, "como un tiovivo que se acelera", podría

ir perdiendo alguna de sus piezas. La velocidad de rotación de los pequeños asteroides puede ir aumentando con el paso de tiempo debido al efecto YORP o de Yarkovsky, que puede inducir una aceleración debido a diferencias térmicas en distintas regiones de la superficie del asteroide, causando eventualmente su ruptura.

Moreno indica que, a partir de la distribución de brillo de la cola, "hemos comprobado que la dependencia de la velocidad de eyección de las partículas con su tamaño es muy débil, en concordancia con lo que ya obtuvimos para otro asteroide de este grupo: el 596 Scheila, que probablemente sufrió una colisión".

Asteroides MBC activados

Los MBC son asteroides del cinturón principal situados a una distancia de entre 2 y 3,2 unidades astronómicas. Por alguna causa se activan emitiendo polvo. De momento no se ha detectado que generen gas, pero puede deberse a la debilidad de estos objetos a la hora de observarlos.

Desde el primer descubrimiento de un MBC en 1996, el 133P/Elst-Pizarro, ya se ha detectado una decena. La presencia de cola en algunos ha persistido durante un periodo relativamente largo –unos

pocos meses–, como los casos de 2006 VW139 y P/2010 R2 (La Sagra). En este último, descubierto desde el observatorio del mismo nombre en Granada, la actividad podría deberse a sublimación de hielo, por lo que debería haber emitido gas, pero no se ha detectado.

En otros casos, sin embargo, la actividad se ha desarrollado durante un corto periodo de tiempo, como en 596 Scheila. Su nube de polvo se disipó muy rápidamente, apenas durante las tres o cuatro semanas posteriores a su detección.

También hay ejemplos de MBC que han mostrado actividad recurrente, como 133P/Elst-Pizarro y 238P, a los que se les ha observado cola en más de una ocasión.

Todavía se desconoce a qué grupo pertenece de P/2012 F5. Se tendrán más datos cuando se vuelva a observar en buenas condiciones el próximo año, alrededor de julio o agosto de 2014.

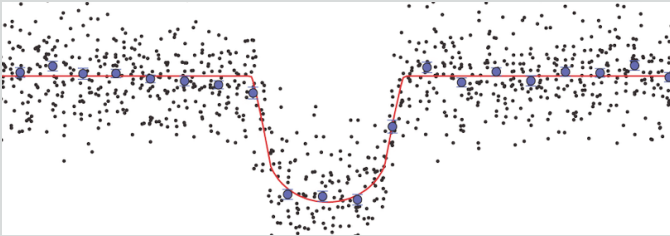
El último MBC documentado hasta ahora es el denominado P/2012 T1 (PANSTARRS), que también están analizando los astrofísicos españoles. Los investigadores consideran, que al igual que ha ocurrido con los exoplanetas, en los próximos años irán apareciendo muchos más *main-belt comets*.

Agencia SINC

EN BREVE:

Un exoplaneta más pequeño que Mercurio

► Gracias a la gran precisión del telescopio espacial Kepler se han detectado planetas del tamaño de la Tierra e incluso bastante menores. Ahora se ha hallado, por primera vez, un planeta más pequeño que Mercurio. Durante 978 días, Kepler obtuvo señales de tránsito (imagen) indicadoras de la existencia de tres planetas en las series temporales de datos fotométricos de una estrella parecida al Sol, aunque más fría, denominada Kepler-37. Se estima que esta estrella tiene el 70 % del tamaño del Sol y el planeta ahora descubierto, Kepler-37b, es el más interno de este sistema de tres. Parte de las imágenes se obtuvieron durante el tiempo garantizado español del Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA), lo que pone de manifiesto la eficiencia de los programas dedicados, que hacen uso de manera intensiva del tiempo de telescopio en proyectos que intentan ampliar las fronteras del conocimiento. (CAHA)



"Soles" jóvenes brillan en rayos X en la Pequeña Nube de Magallanes

► Un grupo internacional de astrónomos, con la participación de Martín A. Guerrero Roncel (IAA), ha observado con el satélite de rayos X Chandra el "Ala", una región de la Pequeña Nube de Magallanes donde se ha hallado, por primera vez fuera de nuestra galaxia, emisión en rayos X procedente de estrellas jóvenes de masa similar a la del Sol. El Ala constituye una región idónea para estudiar el ciclo de vida de las estrellas por su bajo contenido en metales (elementos más pesados que el hidrógeno y el helio) y su menor proporción de gas, polvo y estrellas que la mayoría de regiones de la Vía Láctea -condiciones similares a las que, se cree, se cree, presentaba el universo primitivo-. Se ha hallado una emisión extensa en rayos X en NGC 602a, uno de los cúmulos estelares del Ala, que se atribuye a la población de estrellas jóvenes y de baja masa. Este resultado implica que estas estrellas emiten energía en rayos X de forma similar a como lo hacen las estrellas situadas en entornos más metálicos, y sugiere la posibilidad de que otras propiedades, como la formación y evolución de discos planetarios, sean también similares.

ENTRE BASTIDORES

COMUNICADO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA (SEA) SOBRE LA SITUACIÓN DEL OBSERVATORIO DE CALAR ALTO

JAVIER GORJAS (PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ASTRONOMÍA, SEA)

Recientemente el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha comunicado que ha firmado, con fecha 24 de mayo de 2013, una nueva adenda al acuerdo de 12 de noviembre de 2004 entre el CSIC y la Sociedad Max-Planck (MPG) respecto al Observatorio Hispano-Alemán en Calar Alto. El nuevo convenio supone una reducción de alrededor del 67% del presupuesto previo, establece una operación exclusiva sobre el telescopio de 3,5 metros con costes mínimos y cierra la posibilidad de utilizar la financiación o el personal disponible para las operaciones de los otros dos telescopios, de 1,23 y 2,2 metros.

No vamos a repetir aquí la importancia del Observatorio de Calar Alto para la Astronomía española e internacional (véase la carta enviada a la Secretaría de Estado en http://www.sea-astronomia.es/drupal/sites/default/files/archivos/carta_SEA_CAHA.pdf) aunque, desde la Junta Directiva de la SEA, sí queremos hacer las siguientes puntualizaciones:

· No compartimos de ningún modo el tono optimista de la reciente nota de prensa del CSIC sobre la adenda, donde se afirma que "Este acuerdo permitirá la continuidad del trabajo científico en el centro astronómico hasta 2018". Todo lo contrario, en nuestra opinión, esto va a conducir a una importante reducción de personal, con la pérdida de experiencia que eso implica, va a poner en dificultades la operación

de incluso el telescopio de 3,5 m, y va a suponer una pérdida de recursos ya invertidos en el desarrollo de nueva instrumentación y en la consecución de proyectos científicos (en particular, en el telescopio de 2,2 m).

· En una carta de contestación a varios colectivos, el pasado mes de abril la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, Carmen Vela, indicaba que la cuestión prioritaria para el futuro del Observatorio era el interés científico de la instalación y que era necesario conocer el dictamen del Comité Asesor de Infraestructuras Singulares (CAIS) sobre la revisión del mapa de ICTS antes de tomar una decisión. Compartimos por completo esta estrategia de definir prioridades en base a estudios completos antes de decidir qué instalaciones científicas pueden financiarse en estos momentos difíciles. Sin embargo, la firma del presente acuerdo se ha producido sin esperar a dicho dictamen, sin tener en cuenta el Plan Estratégico para el Observatorio y sin usar todos los argumentos de rentabilidad científica o tecnológica.

· Aunque en el acuerdo original de 2004 el CSIC asumía la representación de la comunidad científica astronómica española en las cuestiones referidas a Calar Alto, no se ha consultado a dicha comunidad para la firma de este acuerdo. La reunión de 27 de mayo de la Comisión

Nacional de Astronomía (CNA) en la que el CSIC informó de que ya había un preacuerdo, aunque aún no se podían dar cifras sobre la financiación concreta, ocurrió tres días después de haberse firmado la presente adenda.

En definitiva, desde la Junta Directiva de la SEA lamentamos profundamente que se haya llegado a esta situación tan desesperada para el Observatorio de Calar Alto, especialmente porque creemos que son posibles acciones que permitan su pleno funcionamiento aún en el difícil contexto actual. Por ejemplo, antes de tomar medidas drásticas e irreversibles, se podría establecer un margen de tiempo de transición que diera lugar a concretar la posible participación de terceros socios.

Finalmente, queremos mostrar nuestra solidaridad con los trabajadores del Observatorio, que, de no cambiar la situación, son los primeros que van a sufrir las nuevas medidas. Desde la Junta Directiva de la SEA deseamos mantener una postura positiva y ofrecemos al director del Observatorio, al Instituto de Astrofísica de Andalucía, al CSIC y a la Secretaría de Estado, nuestra colaboración para buscar soluciones que permitan la viabilidad de Calar Alto con todas sus instalaciones. De no hacerlo así, asistiremos al desmantelamiento progresivo del más importante observatorio astronómico de la Europa continental.

SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



la respuesta:

¿Por qué CARMENES se llama CARMENES?

- A. EN HOMENAJE A CARMEN VELA, POR SU DECIDIDO APOYO A LA CIENCIA E INVESTIGACIÓN BÁSICAS.
- B. PORQUE EL INSTRUMENTO OPERARÁ EN SENDOS CÁRMENES DEL ALBAYZIN GRANADINO (EL CARMEN VISIBLE Y EL CARMEN DEL INFRARROJO, CERCANO A AQUEL).
- C. EN HOMENAJE A CARMEN LOMANA, CARMEN DE MAIRENA Y CARMEN ELECTRA, QUE APOYAN LA CIENCIA E INVESTIGACIÓN BÁSICAS TANTO COMO LA CARMEN DE LA RESPUESTA A.
- D. CARMENES ES UN ACRÓNIMO FORMADO POR LAS INICIALES DE UN MONTÓN DE COSAS RARAS.

Lo reconozco: la foto era un montaje. Requirió una tarde entera de *photo-shop*, aunque lo que más me costó fue encontrar una foto de Carmen Electra con ropa¹. Así que, como muchos sospecharon, el apoyo de las tres Cármenes que se proponía en la respuesta C no era real. La opción correcta era la D: CARMENES es el acrónimo, nada menos, que de *Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exoearths with Near-infrared and optical Echelle Spectrographs*. Lo pongo completo porque su nombre es la mejor introducción posible al proyecto, cuyos objetivos finales son el diseño, construcción y explotación científica de un espectrógrafo de doble canal (visible e

infrarrojo cercano) para la búsqueda de exoplanetas parecidos a la Tierra en estrellas de tipo M, que utilizará la técnica de velocidades radiales. Esta técnica es quizá menos intuitiva que la de los tránsitos, en la que se basan otros instrumentos que buscan exoplanetas, pero también bastante simple en su concepto. La idea de que un planeta gira en torno a una estrella puede llevar a confusión, ya que sugiere que la estrella está en reposo y que el planeta es el único que se mueve. En realidad, sin embargo, son los dos, planeta y estrella, los que giran en torno al centro de masas del sistema. A pesar de que el desplazamiento de la estrella es mucho menor, la parte radial de ese movimiento (es decir, la que lo acerca y aleja alternativamente de

nosotros a lo largo de nuestra línea de visión) es perceptible a través del estudio del desplazamiento al rojo y al azul del espectro de la luz que nos llega. Lo más sorprendente, en este caso, es la precisión con la que CARMENES conseguirá detectar ese desplazamiento: el movimiento de estrellas situadas a decenas de billones de kilómetros (hagan la cuenta para Alfa Centauri, que está a cuatro años luz y pico) será caracterizado con precisiones de nada menos que... ¡un metro por segundo! Sorprendente, ¿verdad? Pero si he hecho mención aquí al significado de las siglas que dan nombre al proyecto no es simplemente porque sirvan como completa introducción a sus objetivos sino, sobre todo, para rendir homenaje a las mentes pensantes que crearon esa maravilla de la ingeniería acronímica. Porque, hablemos claro, es muy fácil ponerle a un telescopio espacial el nombre de un astrónomo famoso como Hubble o Kepler. Algo más de mérito tiene hacer que encajen las tres palabras clave de un proyecto en el nombre de un pintor, a pesar de que nadie le

haya dado vela en este entierro (COROT: *CO*nvection *RO*tation *ET* *TR*ansits *pl*anétaires). Pero para crear un acrónimo gigante como CARMENES que, además de explicar perfectamente lo que se pretende en el proyecto, pasee el nombre de nuestra hermosa ciudad por el mundo a partir del de sus viviendas típicas... para eso hay que tener un par de narices. Reconozco que yo, como seguramente muchos de ustedes, pensé al principio que CARMENES se centra en estrellas tipo M porque había que conseguir esa letra para el acrónimo. Cualquier otro tipo espectral daría problemas: ¿CARBENES? ¿CARFENES? ¿CARGENES? Sin embargo, me he documentado y no es cierto. Las estrellas M tienen varias características que las hacen el blanco ideal del nuevo instrumento: son abundantes; son frías; son pequeñas. Sus parámetros, en definitiva, son los más adecuados para encontrar, con la tecnología actual, planetas parecidos a la Tierra girando en torno a ellas y dentro de su zona habitable. CARMENES. Mola².

la pregunta:

Vale, CARMENES mola. Si todo va bien, a partir de mediados de 2015 va a encontrar un montón de estrellas con planetas parecidos a la Tierra, a distancias de la estrella adecuadas para tener agua líquida y, por tanto, susceptibles de albergar vida. Y después... ¿qué? Si encontramos el planeta ideal y luego confirmamos que hay biotrazadores y todos los indicios apuntan a que puede haber vida... ¿podremos ir hasta allí para comprobarlo? Hay quien dice que no, que las estrellas están muy, muy, muy pero que muy lejos,

tanto que no sería posible alcanzarlas en un tiempo razonable a escalas humanas. Tal vez la solución sean vehículos robotizados que inviertan en el trayecto tiempos no asumibles por nuestros congéneres. Decenas de años, incluso siglos. En fases posteriores, los viajes tripulados probablemente tendrían que ser multigeneracionales, periplos en los que hijos y nietos nacerían y morirían en el trayecto, sin conocer durante toda su vida más entorno que su propia nave. Pero incluso considerando esas escalas de tiempo, sería necesario desarrollar tecnologías mucho más avan-



Materia exótica
(Miguel Abril)

zadas que las existentes hoy día, ya que los cohetes actuales solo alcanzan velocidades de unas decenas de miles de kilómetros por hora, lo que apenas es suficiente para darnos un paseo por el entorno de nuestro Sistema Solar. Para llegar más lejos

necesitamos una fuente de energía mucho más eficiente. La pregunta de este número es: ¿Cuál de estas tecnologías NO es real? No lo van a adivinar, porque todas suenan chuléticas, pero más falsas que un euro australiano:

RESPUESTAS

- A) COHETES DE ANTIMATERIA
- B) NAVES DE IMPULSO POR IONES

- C) COHETES DE FLUJO INVERTIDO CON PROPULSIÓN FOTOMAGNÉTICA
- D) VEHÍCULOS DE DISTORSIÓN ESPACIO-TEMPORAL PROPULSADOS POR MATERIA EXÓTICA.

(1) Con más ropa que un bikini, quiero decir...

(2) Para ver hasta qué punto mola CARMENES, puede consultarse la página web del proyecto (carmenes.caha.es) o, en breve, otra que estamos creando con muchas más fotos.

VENUS: UN PUZLE CUBIERTO DE NUBES

Pilares científicos

La historia de Venus y la Tierra podría asemejarse a la de dos hermanos gemelos separados al nacer, para criarse uno en Tarifa y otro en Tánger. Tras un par de décadas, ambos hermanos serían muy diferentes a pesar de haber vivido a tan solo unas decenas de kilómetros. La revolución científica del siglo XVII permitió comprobar que la Tierra y Venus eran asombrosamente similares en tamaño, densidad, masa y, muy probablemente, edad. Esto justificó el apodo de "planeta gemelo" e indujo a pensar que Venus podría ser un planeta cubierto de nubes pero con océanos, clima tropical y puede que incluso vida abundante. No obstante, este caprichoso planeta no para de demostrarnos que cualquier premisa sobre él suele acabar siendo errónea...

Al orbitar más cerca del Sol que la Tierra, esperaríamos que su superficie recibiese mayor cantidad de radiación solar, pero sucede lo contrario debido a que sus nubes reflejan la mayor parte de esa radiación. Si a esto añadimos que la temperatura en la superficie de un planeta es el resultado del balance entre la radiación que llega y la que se emite, la de Venus debería estar más fría que la de la Tierra, pero tanto en el día como en la noche

sus temperaturas apenas varían de unos 460° C. Esto se debe a que la atmósfera de Venus está compuesta en más de un 95 % por dióxido de carbono, gas conocido por su "efecto invernadero", es decir, la capacidad de retener la emisión térmica que se escapa de la superficie, emitirla de nuevo y de esta manera "caldear" el planeta. Junto a tan hostiles temperaturas, espesas nubes compuestas de ácido sulfúrico cubren todo el planeta, y la atmósfera es tan densa que en la superficie de Venus su peso es equivalente a la presión que sufriríamos a un kilómetro de profundidad en el océano. De hecho, solo Rusia puede alardear de haber aterrizado con éxito alguna nave, llegando incluso a tomar fotografías sin sobrevivir más allá de unas horas.

El eje de rotación de Venus es prácticamente perpendicular al plano que contiene su órbita alrededor del Sol, por lo que en Venus no hay estaciones. Como la radiación solar incide con mayor intensidad en el ecuador, esperaríamos que este fuese más caliente que los polos, pero no es así ya que su densa atmósfera almacena con gran eficacia el calor, tal como hacen los océanos de la Tierra. En Venus prevalecen fuertes vientos que viajan de este a oeste con velocidades de cuatrocientos treinta kilómetros por hora. En la Tierra, los

vientos suelen generarse para compensar regiones de la atmósfera con diferente presión, pero en Venus resultan más difíciles de explicar porque apenas hay diferencias de presión en la dirección en la que soplan. En sus polos, Venus presenta enormes y caprichosos vórtices, que unas veces se mueven como un tiovivo en torno a los polos y otras de manera completamente caótica. Venus carece prácticamente de campo magnético, con lo que esperaríamos una superficie expuesta a las partículas energéticas del Sol. Y erraríamos nuevamente, porque su densa atmósfera lo evita.

Su superficie, oculta bajo la gruesa capa de nubes, fue completamente desvelada cuando en los años noventa la nave Magallanes extrajo el mapa más completo de la superficie de un planeta usando señales de radar. De manera similar a los gemelos de Tánger y Tarifa que comentamos anteriormente, Magallanes descubrió que la historia de la superficie de Venus había sido completamente diferente a la de la Tierra, siendo la primera dominada por la actividad volcánica y convirtiendo a Venus en el objeto del Sistema Solar con más volcanes después de la luna joviana Io, y con una de las superficies más jóvenes del Sistema Solar.

Incetidumbres

Venus es único en el Sistema Solar, no solo por rotar en sentido contrario al resto de planetas sino porque además es el que lo hace más despacio, tardando unos 243 días. Desconocemos qué tipo de fenómeno causó tal particularidad, si bien el impacto con otro cuerpo durante la formación del planeta parece lo más probable. Sus fuertes vientos continúan siendo un auténtico quebradero de cabeza para los especialistas en dinámica atmosférica: como resultado del empuje de la superficie del planeta, la atmósfera debería rotar con la misma lentitud, y no exhibir una "superrotación" con velocidades de incluso sesenta veces la de la superficie. Tras treinta años de investigación, hoy en día seguimos sin un modelo de circulación general que reproduzca de

manera decente la superrotación de Venus. Hay un consenso general en el papel crucial que deben tener las numerosas ondas atmosféricas que se observan con multitud de técnicas de detección en Venus, aunque no estamos seguros de los tipos de onda que vemos como oscilaciones del viento, temperatura, estructuras nubosas, etc... Continúan siendo un misterio los movimientos de los vórtices polares, así como su rápida metamorfosis, en cuestión de horas, de apariencia circular a forma de dipolo y hasta de tripolo.

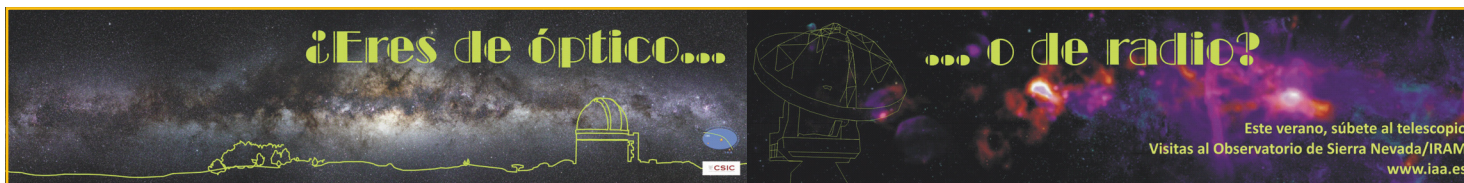
A pesar de que en luz visible Venus muestra una atmósfera difusa sin estructuras, la situación cambia en luz ultravioleta, apareciendo regiones oscuras en las nubes que son arrastradas por el viento dominante, lo que ha permitido medir vientos y ondas. Estas regiones oscuras deben producirse por

la presencia de alguna molécula que absorbe de manera eficaz la radiación ultravioleta, pero su naturaleza continúa siendo un tema esquivo. De igual manera, el debilísimo campo magnético de Venus resulta paradójico, ya que se espera que planetas tan cercanos con masa y tamaño semejantes tengan un interior similar, y esta circunstancia no consigue explicarse como consecuencia de la lentísima rotación del planeta. En todo caso, aún no hemos estudiado de manera completa la ingente cantidad de datos proporcionados desde 2004 por la actual misión europea Venus Express, y esperamos que, junto con la deseada llegada de la misión japonesa Akatsuki en 2016, consigamos colocar algunas más de las cientos de piezas que componen este emocionante y bello puzle que es Venus.

DESTACADOS



■ ■ ■ VISITAS AL OBSERVATORIO DE SIERRA NEVADA



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

www.iaa.es/visitas-OSN-IRAM

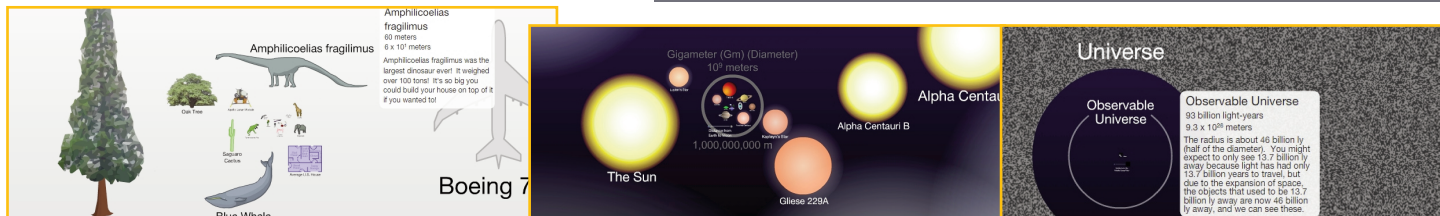
colaboración con el Albergue Universitario de Sierra Nevada y dos asociaciones de astrónomos aficionados: la Sociedad Astronómica Granadina y la Asociación Astronómica Astronémesis.

Las visitas tendrán lugar en julio (13 y 27) y agosto (10 y 24), y el número de plazas está limitado a 40 personas por visita. Al igual que otras ediciones, habrá dos modalidades: de un día o de fin de semana.

Las reservas se pueden realizar enviando un correo electrónico a la dirección albergue@nevadensis.com o en el número 958480122.

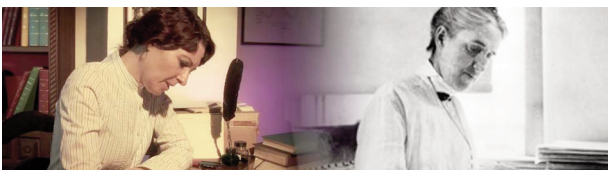
■ ■ ■ LA ESCALA DEL UNIVERSO

<http://htwins.net/scale2/>



Una página web interactiva y con información variada y abundante que permite atravesar todas las escalas, desde lo más pequeño (la espuma cuántica) hasta la totalidad del universo observable.

■ ■ ■ DOS VIDEOBLOGS HISTÓRICOS FALSOS: Nikola Tesla y Henrietta Leavitt



<http://henrietta.iaa.es>

¿Cómo divulgaría ciencia un personaje histórico si dispusiera de las herramientas con las que contamos hoy día? Esta pregunta se halla en la base del un proyecto de divulgación del IAA que protagonizan Nikola Tesla, inventor que permitió generalizar el uso de la energía eléctrica, y Henrietta Leavitt, astrónoma que nos legó, entre otras cosas, un método para medir distancias en el universo. Ya están disponibles todos los vídeos de Tesla en teslablog.iaa.es y diez de la serie *El extraño caso de Henrietta Leavitt y Erasmus Cefeido*.

■ ■ ■ EL RADIOSCOPIO

<http://radioscopio.iaa.es>

oculto en el sótano de la mansión de Faustino. Se desconoce la fecha de construcción de dicho aparato, su fabricante, motivo e incluso función.

EL RADIOSCOPIO
Hay mucha más ciencia de...

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

■ CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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

