60
FEBRERO DE 2020
revista.iaa.es

IAA

Información y actualidad astronómica

Revista de divulgación del Instituto de Astrofísica de Andalucía

Las mujeres de la Luna

IAA INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
CSIC EXCELENCIA SEVERO OCHOA

Dibujo del cráter lunar Resnik, nombrado en honor a Judith Arlene Resnik (1949-1986), ingeniera y astronauta estadounidense que falleció en el desastre del transbordador espacial Challenger de enero de 1986.
Crédito: Bettina Forget, "Resnik crater", 2016.
Acrílico y grafito sobre papel, 12 x 14 pulgadas.

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. **Contacto:** revista@iaa.es

Este número ha contado con el apoyo económico de la Agencia Estatal de Investigación (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades) a través de la acreditación de Centro de Excelencia Severo Ochoa para el Instituto de Astrofísica de Andalucía (SEV-2017-0709).

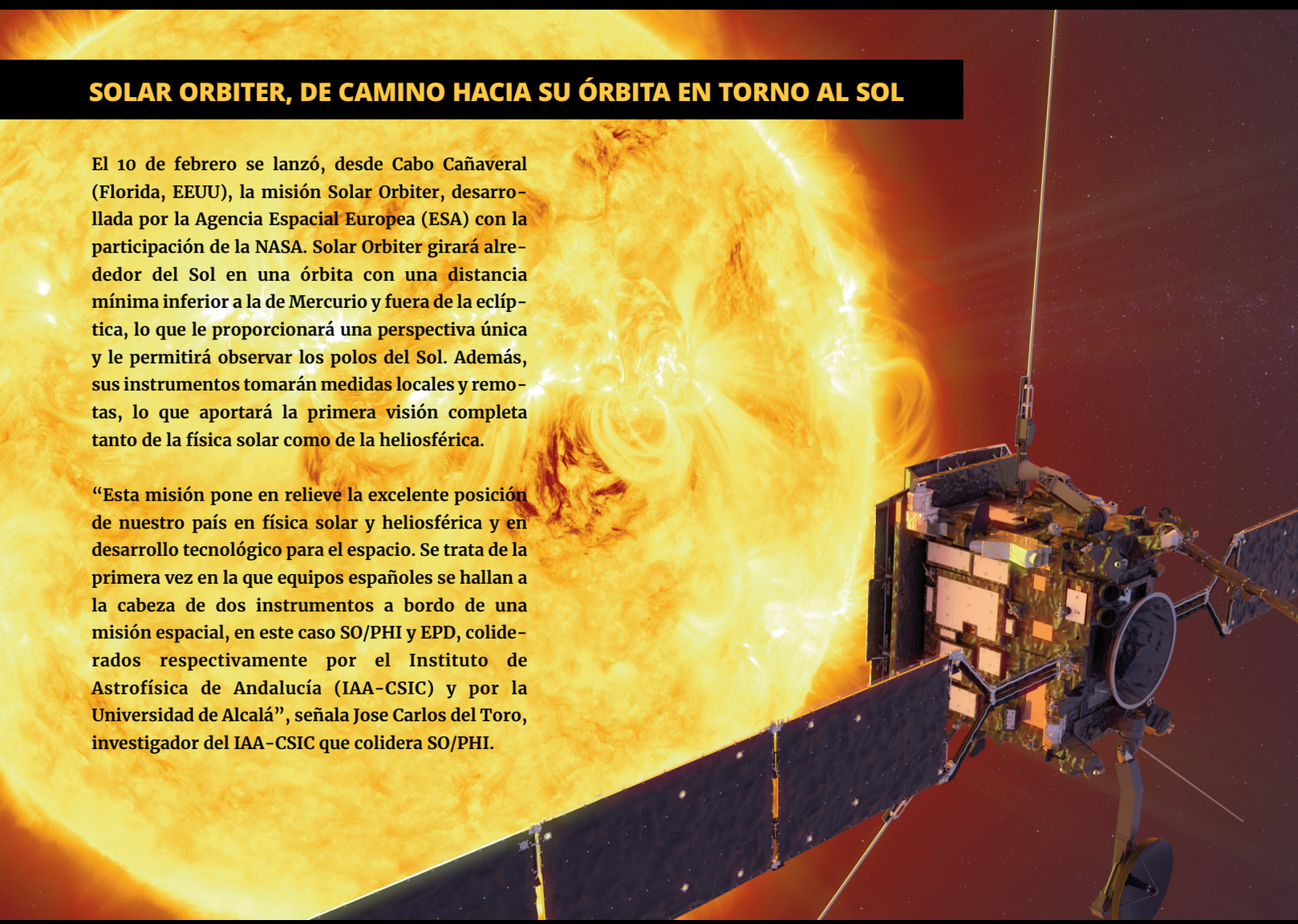
La página web de esta revista ha sido financiada por la Sociedad Española de Astronomía (SEA).
Copyright: © 2018 CSIC. Esta es una revista de acceso abierto distribuida bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Instituto de Astrofísica de Andalucía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Excelencia Severo Ochoa 07/2018 - 07/2022

NIPO: 833-20-069-5
e-NIPO: 833-20-070-8
Depósito legal:
GR-605/2000 ISSN:
1576-5598

SUMARIO

Las mujeres de la Luna ... 3
El universo comienza aquí. Los estudios de la atmósfera en el IAA ... 7
El Moby Dick de... Pablo Santos (IAA-CSIC) ...11
Deconstrucción. Búsqueda de exotierras con la misión PLATO 2.0 ... 12
Ciencia en historias... La mujer más fea del mundo ... 14
Actualidad ...16
Entre bastidores. Un ejercicio de trigonometría ... 19
Pilares e incertidumbres. Los objetos más luminosos del universo: las galaxias activas ... 20
Sala limpia ... 22



SOLAR ORBITER, DE CAMINO HACIA SU ÓRBITA EN TORNO AL SOL

El 10 de febrero se lanzó, desde Cabo Cañaveral (Florida, EEUU), la misión Solar Orbiter, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) con la participación de la NASA. Solar Orbiter girará alrededor del Sol en una órbita con una distancia mínima inferior a la de Mercurio y fuera de la eclíptica, lo que le proporcionará una perspectiva única y le permitirá observar los polos del Sol. Además, sus instrumentos tomarán medidas locales y remotas, lo que aportará la primera visión completa tanto de la física solar como de la heliosférica.

"Esta misión pone en relieve la excelente posición de nuestro país en física solar y heliosférica y en desarrollo tecnológico para el espacio. Se trata de la primera vez en la que equipos españoles se hallan a la cabeza de dos instrumentos a bordo de una misión espacial, en este caso SO/PHI y EPD, coliderados respectivamente por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) y por la Universidad de Alcalá", señala Jose Carlos del Toro, investigador del IAA-CSIC que colidera SO/PHI.

Las mujeres de la Luna

REFLEJOS DE LA HUMANIDAD EN NUESTRO SATÉLITE

Fernando Ballesteros
(Observatori Astronòmic, UV)

Durante una estancia del profesor Daniel Altschuler en la Universidad de Valencia en 2012, auspiciada por la cátedra UNESCO, estuvimos un buen día conversando sobre los cráteres de la Luna y sobre el origen de sus nombres. Nos figuramos que en muchos casos las historias detrás de esas personas cuyo nombre bautizaba un cráter deberían ser interesantísimas. Si no, ¿cómo habría acabado su nombre en la geografía lunar? Involucrados como estamos ambos en la divulgación científica decidimos indagar un poco sobre el tema. Tal vez merecería la pena escribir un libro al respecto; pero ¿cómo elegir entre los casi mil seiscientos cráteres en nuestro satélite que honran a un personaje histórico? Sería casi imposible (y aburridísimo probablemente) hacer un libro sobre todos ellos. ¿Elegimos por tanto las personalidades más extravagantes, o las personas más desconocidas, o tal vez aquellas que han contribuido más a la ciencia…?

Realmente hizo falta poca investigación. Conforme nombres y más nombres de cráteres pasaban ante nuestros ojos, pronto vimos que algo no encajaba: ¿dónde estaban las mujeres? Todos los nombres que veíamos eran de varón, y costó cierto esfuerzo encontrar a la primera mujer en el listado. Cuando terminamos nuestra estadística, el tema de nuestro libro estaba claro. Solamente había veintiocho cráteres nombrados en honor a un personaje histórico femenino.

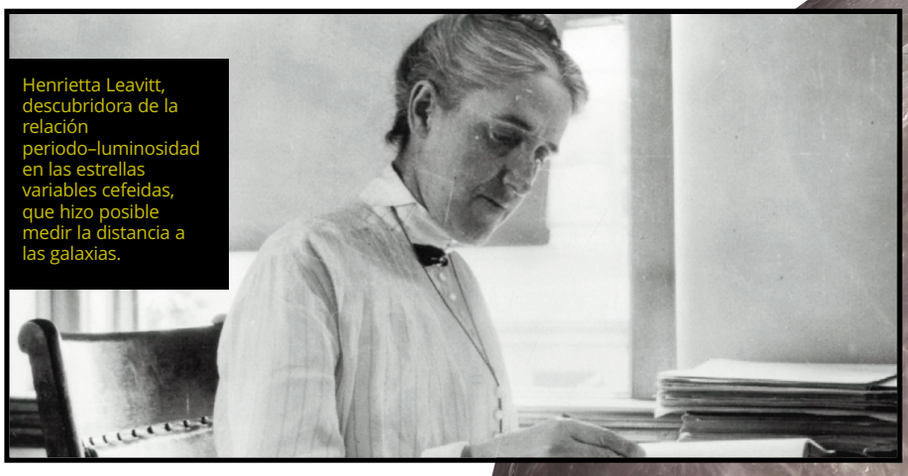
Bueno, hay algunos otros nombres femeninos en la Luna: unos pocos provienen de la mitología, como Artemisa, pero en muchos casos no honran a nadie en particular, como el cráter Ann, el cráter Carol, el cráter Grace, etc… así hasta treinta y siete nombres genéricos femeninos que no se refieren a ningún personaje histórico sino que se pusieron ahí, “de relleno”, lo cual vuelve más irritante todo el asunto.

Por ello sentimos que un libro para dar a conocer esta injusta desigualdad y de paso honrar a aquellas mujeres que, pese a todo, lograron obtener este reconocimiento, era obligado. Más cuando todavía existe esa desigualdad en muchos campos de la ciencia. En la introducción de *Las mujeres de la Luna* comentamos que en la Edad Media reinaba la idea aristotélica de que la Luna era una esfera perfecta y pulida, por ser parte del mundo supralunar. Al propio Aristóteles o a alguno de sus discípulos se suele atribuir la genialidad de que, si la Luna era lisa e inmaculada, pero veíamos claramente máculas en ella, probablemente lo que se estaba viendo era el reflejo de los continentes de la Tierra. Hubo de hecho toda una corriente de cartógrafos que intentaron hacer coincidir los mapas que describían las tierras conocidas con las manchas sobre la Luna. Huelga decir que tuvieron poco éxito, pese a que hubo imaginativos intentos. Por supuesto, la llegada de un nuevo instrumento, el telescopio, lo cambió todo. Galileo, al observar a través de este instrumento nuestro satélite, vio un orbe que distaba de ser liso y pulido. Por el contrario, la Luna mostraba montañas y valles, terrenos de diferente coloración. Ningún reflejo. Aquella “esfera” era un mundo por derecho propio, y que eventualmente podría ser visitado.

Sin embargo, en cierta forma sí que había algo de razón en esa idea aristotélica, pues la Luna de hecho refleja algo de la Tierra: en la nomenclatura de sus cráteres se reflejan facetas de la historia humana.

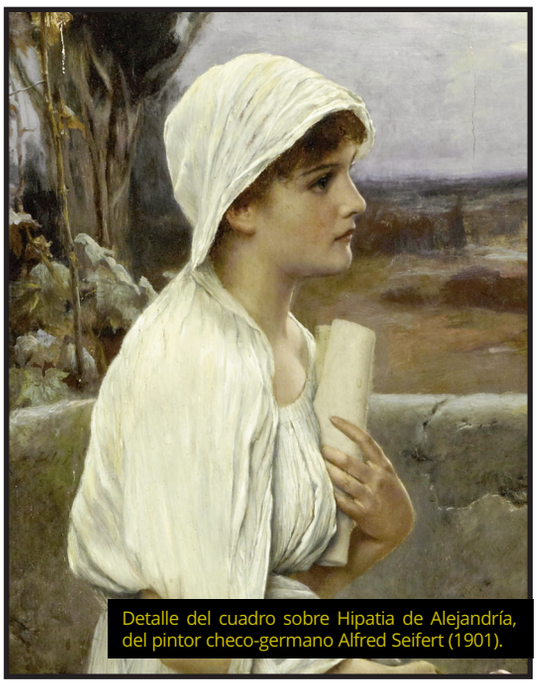
LO QUE REFLEJA LA LUNA

La primera es meramente estadística: la distribución geográfica de los nombrados



Henrietta Leavitt, descubridora de la relación periodo–luminosidad en las estrellas variables cefeidas, que hizo posible medir la distancia a las galaxias.

Portada del libro que inspira este artículo.



Detalle del cuadro sobre Hipatia de Alejandría, del pintor checo-germano Alfred Seifert (1901).

Mary Adela Blagg, quien estableció la terminología lunar moderna, y una de los primeros miembros de la UAI.

refleja una característica del desarrollo histórico de nuestra civilización, el predominio de Europa y más recientemente de Estados Unidos en las áreas científicas y técnicas. Estados Unidos, Alemania, Gran Bretaña, Francia, Rusia, Italia y Grecia, en orden decreciente, suman juntas mil trescientos noventa cráteres. Solo hay ocho de Sudamérica y Centroamérica (cinco argentinos, dos brasileños y uno colombiano), ocho españoles (de personajes posteriores al mil cuatrocientos; hay además otros ocho hispanoárabes y dos hispanorromanos) y solo uno de África moderna (Max Theiler). La Luna también refleja por otro lado la inteligencia humana, que ha permitido descifrar su historia, estudiarla en gran detalle e incluso caminar sobre su superficie. Y también la estupidez de aquellos que creen cosas respecto a la Luna que no son ciertas, como que nunca caminamos sobre su superficie.

Por último, de los mil quinientos noventa y cuatro cráteres lunares nombrados en honor a personajes históricos (desde Abbe a Zwicky) solamente treinta y uno honran en la actualidad a alguna mujer (desde 2013, año en que acabamos el texto de la primera edición de nuestro libro hasta la actualidad, este colectivo ha aumentado en la friolera de tres nuevas mujeres –ya incluidas en la tercera edición del libro). La Luna refleja así también lo que fue, y en muchas sociedades aún es, una visión negativa de la mujer, un menosprecio a media humanidad que nos cuesta mucho como civilización. Un ejemplo bastará para ilustrar la situación: hay un cráter Curie en honor a Pierre Curie (físico premio Nobel de 1903), y uno Sklodowska en honor a Marie Curie (premio Nobel de física en 1903 y de química en 1911), casada con Pierre. Hay también un cráter Joliot-Curie. Se trata de uno oficialmente nombrado por la UAI en 1961 en honor a Frédéric Joliot-Curie, esposo de Irène Joliot-Curie, hija de Marie Curie, por lo cual Irène no pertenece a las mujeres de la Luna. En 1935 ambos recibieron el Premio Nobel de Química en reconocimiento de la síntesis de nuevos elementos radiactivos. No conocemos la razón de la exclusión de Irène.

Como decía más arriba, sigue habiendo aún un importante sesgo en numerosos campos de la ciencia. Por ejemplo, solamente cincuenta y tres de los novecientos cuarenta y tres premios Nobel otorgados hasta 2019 fueron otorgados a mujeres (un 6%;); esta cifra baja al 3% si nos restringimos a disciplinas científicas, y en concreto por áreas: medicina el 5.5%, química el 2.7% y física el 1.4%. Otras estadísticas son igualmente desoladoras: en España, el número de catedráticas en 1986 era del 8%, que subió al 14% en 2005 y en la actualidad roza el 20%, una cifra que, aunque ha mejorado, es muy baja. En astronomía las cosas van ligeramente mejor, por decir algo, pues el porcentaje de mujeres astrónomas profesionales roza el 30%. Sigue sin ser suficiente.

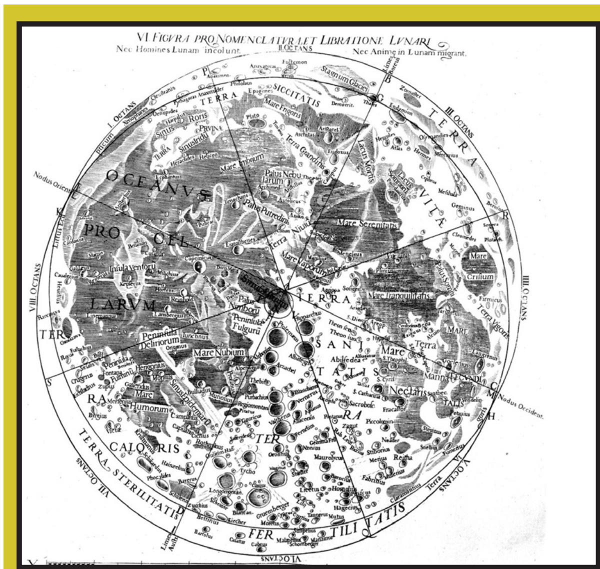
Hay varias causas que refuerzan este sesgo, y se ha hablado de ellas largamente en otros artículos, así que aquí me permitiré dar algunas pinceladas. Por ejemplo, en parejas donde ambos son científicos, cuando al varón le surge un puesto de investigador, es ella la que le suele seguir a él, a costa de su propia carrera. O, por ejemplo, la escasez de modelos de referencia de científicas (tanto para las jovencitas como –no lo olvidemos– para los jovencitos), que normalice ver a las mujeres trabajando en este campo. O, por ejemplo, los prejuicios (conscientes o inconscientes) de que una mujer no será tan buena en ciencias (el efecto John-Jennifer). El grupo de mujeres de la Luna brinda así al lector una oportunidad de meditar acerca de todo esto, y a nosotros nos brindó la posibilidad de relatar la fascinante vida de estas mujeres, hoy mayormente desconocidas. ¿Quiénes eran?

LAS MUJERES DE LA LUNA

Las mujeres de la Luna forman un grupo ecléctico, no siguen criterio discernible alguno, abarcando una amplia gama histórica, científica y geográfica. Nombres conocidos como el de Marie Curie se unen a otros completamente desconocidos. Muchas fueron verdaderas gigantes intelectuales que triunfaron a pesar de todo, que recordamos porque se opusieron tenazmente contra viento y marea a las normas y prejuicios de su época, actuando de manera similar a Rosa Parks (1913-2005), que el 1 de diciembre de 1955 se negó a ceder su asiento a un pasajero blanco en Montgomery, Alabama. Solo dos de ellas recibieron lo que se considera el más prestigioso premio científico: el Nobel. Pero todas sobresalieron de alguna manera y por algo están allí, en la Luna. Todas tienen algo que contar.

Encontramos así historias como la de Hipatia de Alejandría, con su trágico final que, no obstante, nos enseña cuán avanzado estaba realmente el sistema científico durante el periodo helenístico (recomiendo aquí también la lectura de un notable libro: *La rivoluzione dimenticata*). O la de Nicole Lepaute (s. XVIII), de familia bien situada y a cuya existencia debe su nombre la flor hortensia. Colaboradora habitual de Lalande, ambos calcularon junto con Clairaut durante seis meses cuándo sería el siguiente paso del cometa Halley, teniendo en cuenta las perturbaciones producidas por los planetas; un cálculo que resultó correcto con precisión de un mes; aunque Clairaut omitió el nombre de Nicole en la publicación final del trabajo (hay que decir en honor de Lalande que esto provocó su enfado y que rompiera relaciones con Clairaut).

Hay historias casi desconocidas, como la de las escurridizas astrónomas Louise Jenkins o Mary Adela Blagg (esta última una de las



Izquierda. Mapa de la Luna publicado en el libro *Almagestum Novum* (1651) de Giovanni Riccioli, base de la terminología lunar moderna.

Debajo. Marie Tharp, descubridora de la brecha atlántica, la estructura geológica más grande de nuestro planeta, que permitió fundamentar la actual teoría de la tectónica de placas, y una de las últimas incorporaciones a la geografía lunar.

principales autoras de la actual nomenclatura lunar). O la de las filántropas y mecenas Anne Sheepshanks y Catherine Wolfe Bruce, de las que apenas sabemos nada más allá de lo que dicen sus obituarios, y para las que nos resultó imposible incluso encontrar una fotografía. E historias de amor fascinantes, como la del matrimonio Bok, dignas del mejor guionista de Hollywood.

Hay también historias deslumbrantes como la breve e intensa vida de la matemática y aventurera Sofía Kovalévskaya, que se casó con un amigo (en un matrimonio concertado) para poder tener independencia e irse a Heidelberg a estudiar matemáticas (como oyente; no se le permitió matricularse). Con todo, su habilidad pronto se hizo patente y, tras una serie de pruebas, Weierstrass se convirtió en su mentor. En una época revolucionaria, Sofía alternó las matemáticas con el activismo político, en parte por la negativa de numerosas universidades a ofrecerle una plaza. Finalmente, por mediación de Gösta Mittag-Leffler (un famoso matemático que era al mismo tiempo un notable defensor de las mujeres científicas) obtuvo una plaza de prueba en la Universidad de Estocolmo; al año siguiente se convertía en la primera catedrática en una universidad del norte de Europa.

A las calculadoras de Harvard le debe la Luna nada menos que cuatro cráteres: Williamina Paton Fleming, Annie Jump Canon, Antonia Maury y Henrietta Leavitt. Junto con el resto del "harén de Pickering", este grupo de mujeres reformó y modernizó la astronomía, a pesar del tedioso trabajo rutinario con el que tenían que lidiar en el observatorio. Una de ellas, Leavitt, incluso rozó el premio Nobel, pero lamentablemente cuando Gösta Mittag-Leffler quiso nominarla para este premio, Henrietta ya había fallecido.

Otras vidas fueron marcadas por la desgracia. Tal es el caso de dos mujeres solo conocidas por algunos especialistas, como Emmy Noether en matemática o Lise Meitner en física. Sus vidas fueron paralelas en muchos sentidos, relegadas y repudiadas por el Tercer Reich por el delito de ser mujeres y judías. Las injurias que sufrieron y las peripecias que tuvieron que pasar para escapar del régimen nazi nada tienen que envidiar a películas como *Cortina rasgada*.

También la desgracia marcó a otro grupo de mujeres: Judith Resnik, Sharon McAuliffe, Kalpana Chawla y Laurel Blair, todas ellas astronautas muertas a bordo de un transbordador espacial (las dos primeras en la explosión del *Challenger* y las dos últimas en la catástrofe del *Columbia*).

De todas las mujeres de la Luna, solamente una vive a día de hoy: Valentina Tereshkova, la primera mujer en orbitar la Tierra (nada menos que cuarenta y ocho veces), en 1963.

POCA REPRESENTACIÓN FEMENINA

¿Qué tienen en común todas estas mujeres, si es que tienen algo? ¿Cuáles son las características que hay que reunir para acabar dando nombre a un cráter? En realidad, pocas coincidencias podemos encontrar en este dispar conjunto. El único factor común que encontramos es que todas ellas tuvieron relación directa o indirecta con la ciencia (si bien parece que ser astrónoma de cultura angloamericana haga las cosas más fáciles).

La mayor parte del grupo nació entre 1723 y 1896, y llama la atención que el 60% nunca se casó. Con todo, más que lo que puedan tener en común, lo que más destaca es su número: son muy pocas.

Se puede intentar explicar el hecho de que solamente treinta y uno de los cráteres lunares lleven nombre de mujeres como consecuencia del acontecer histórico y los prejuicios sociales. Pero la Luna no refleja el hecho de que un número importante de mujeres (a pesar de todo) han contribuido a la empresa científica. Basta mirar en el *Notable Women Scientists* en el cual encontramos unas quinientas mujeres de todo el mundo que fueron seleccionadas por sus contribuciones, o el más extenso *The Biographical Dictionary of Women in Science*, con unas dos mil quinientas entradas, para entender que no se trata de una escasez de mujeres que se hayan distinguido en la ciencia.

Sorprendentemente, las cosas no cambiaron con la fundación de la Unión Astronómica Internacional (UAI). En el momento de escribir esto hay mil quinientos noventa y cuatro cráteres con nombre propio aprobados por la UAI. De ellos, quinientos sesenta y siete fueron aprobados en 1935, y corres-

Valentina Tereshkova, la primera mujer en orbitar la Tierra.

ponden a los compilados por Mary Adela Blagg y Karl Müller, es decir, eran los nombres ya usados con anterioridad a la creación de la UAI. En aquel listado de quinientos sesenta y siete nombres solo aparecen diez mujeres (lo que supone el 1,7%). Tras la creación de la UAI y hasta hoy, se han añadido mil veintisiete nuevos nombres más a esa lista (de ellos, en torno a la mitad —quinientos quince nombres— lo fueron en 1970). Pero de esos mil veintisiete, solo veintiuno corresponden a las mujeres cuyas vidas hemos esbozado aquí, con lo que se mantiene un porcentaje casi idéntico: un 2% del total.

Es cierto que la UAI, encargada de la nomenclatura astronómica, les ha reservado todo un gueto, perdón, planeta: en Venus, los cráteres mayores de veinte kilómetros de diámetro honran a "mujeres fallecidas que hayan contribuido a su campo de forma significativa o fundamental", y los otros accidentes geográficos (montañas, valles, planicies, etc.), se reservan para diosas y heroínas mitológicas. Los ochocientos noventa y ocho cráteres nombrados van desde Frances Abington (1737-1815, artista inglesa), pasando por Joliot-Curie –un cráter de noventa y un kilómetros de diámetro que honra a Irène–, hasta Lidiya Zvereva (1890-1916, aviadora rusa).

Otros planetas y cuerpos menores del Sistema Solar tienen sus propios protocolos de nomenclatura. Así, para el asteroide Eros, los cráteres se nombran con "nombres mitológicos y legendarios de carácter erótico" (Madame Bovary, Casanova, Lolita, Mahal). Para Marte, los cráteres mayores de sesenta kilómetros se reservan para "científicos fallecidos que hayan contribuido significativamente al estudio de Marte, y a escritores y otros que hayan contribuido a la tradición marciana" (por

La humanidad está pobremente representada en la nomenclatura, no solo por las mujeres sino por quienes viven por debajo del ecuador

cierto, en Marte encontramos mayor carestía de mujeres; solo hay tres, y las tres del siglo XX: Sklodowska por Marie Curie, Renaudot por una astrónoma francesa especialista en Marte, y Sytinskaya por una astrónoma soviética que trabajó en varias sondas robóticas a Venus y Marte). Para Plutón, de cuya sorprendente superficie hemos obtenido recientemente imágenes con la llegada de la nave *New Horizons* de la NASA, los cráteres se nombrarán por "científicos e ingenieros asociados con Plutón y el Cinturón de Kuiper" mientras que las *faculae* (manchas brillantes), *maculae* (manchas oscuras), y *sulci* (surcos y crestas) se nombrarán por "dioses, diosas y otros seres asociados con el Inframundo, provenientes de la mitología, el folclore y la literatura". Y así sucesivamente.

Pero no es lo mismo tener un cráter en la Luna que uno en otro astro, aunque este sea uno de los más cercanos a la Tierra, como Marte o Venus. La superficie de la Luna es accesible a la vista y sus cráteres y otros accidentes geográficos son visibles hasta con un modesto telescopio. Es preferible un cráter de un kilómetro (aproximadamente lo más pequeño que se puede distinguir desde la tierra con un telescopio) sobre la cara visible de la Luna a uno de cien kilómetros en otro astro. Se estima que hay sobre trescientos mil cráteres lunares de ese tamaño. Hay, por tanto, suficientes para ponernos al día y corregir esta injusticia histórica. Si en palabras de la primera persona en la Luna, Neil Armstrong, "vinimos en paz en nombre de toda la humanidad", entonces la humanidad está pobremente representada, no solo por las mujeres sino por todos aquellos que viven por debajo del ecuador terrestre.

Poner nombres a los cráteres lunares es un proceso lento, gestionado por la UAI, donde un Grupo de Tareas de Nomenclatura Lunar, compuesto actualmente por nueve miembros de varios países, revisa las propuestas de denominación. Cualquier científico puede sugerir que el Grupo de Tareas considere un nombre específico, pero no hay garantía de que el nombre sea aceptado. En el caso de la Luna, los cráteres se bautizan por científicos y exploradores polares fallecidos que hayan hecho contribuciones destacadas o fundamentales a su campo, y por astronautas muertos en acto de servicio. Los cosmonautas rusos difuntos son conmemorados por cráteres en y alrededor del Mare Moscoviense. Los astronautas americanos fallecidos son conmemorados por cráteres en y alrededor del cráter Apolo. En el futuro se proveerán ubicaciones apropiadas para otras naciones que operen en el espacio si también sufren víctimas fatales. Las personas a las que se puede honrar con el nombre de un cráter deben haber fallecido hace al menos tres años. En general no se les dará nombre a cráteres o características menores de cien kilómetros, aunque se pueden hacer excepciones para características de interés científico excepcional. Y, donde sea apropiado, se apoyará firmemente una selección equitativa de nombres de grupos étnicos, países y género (sic). Los nombres con el visto bueno de este Grupo de Tareas son finalmente enviados por su presidente al Grupo de Trabajo de Nomenclatura del Sistema Planetario. Tras pasar con éxito la votación del Grupo de Trabajo, los nombres se consideran aprobados como nomenclatura oficial de la UAI, y se pueden usar en mapas y en publicaciones. La UAI tiene un formulario de solicitud de nombres "para uso de los miembros de la comunidad científica profesional" y deseamos alentar su uso. Así que si tiene algún nombre de mujer en la cabeza que cumpla los criterios del listado anterior, este es su formulario:

https://planetarynames.wr.usgs.gov/FeatureNameRequest

Atardecer desde la Estación Espacial Internacional (ISS). Fuente: NASA

El universo comienza aquí

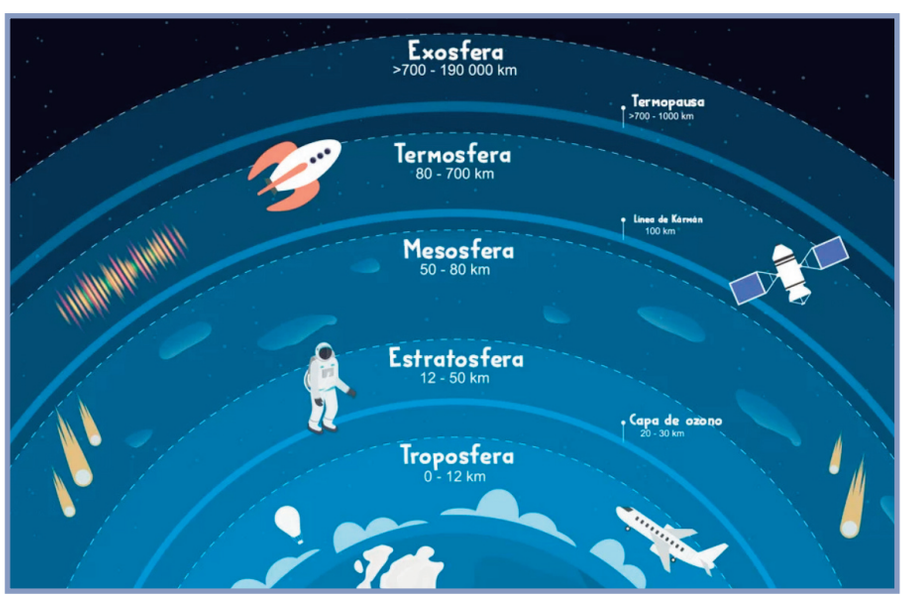
LOS ESTUDIOS DE LA ATMÓSFERA EN EL IAA

Por Manuel González (IAA-CSIC)

Contrariamente a lo que se puede pensar, en el IAA no nos ocupamos solo de la observación de planetas, estrellas, nebulosas o galaxias lejanas. También se estudia la atmósfera de la Tierra, la masa de gas que nos rodea. Esta delgada estructura que apenas ocupa un 1.5% del radio terrestre constituye el nexo de unión de nuestro planeta con el espacio, y forma uno de los escudos protectores de nuestro hábitat, el medio en que vivimos. Pero, sobre todo, cada vez es más evidente que la atmósfera terrestre constituye un entorno extremadamente sensible y vulnerable a fenómenos procedentes tanto del espacio, especialmente los causados por la actividad solar, como los originados desde la superficie terrestre por la acción del ser humano. En el IAA tres grupos de investigación distintos se dedican a desentrañar los misterios de nuestra atmósfera. Uno de ellos estudia las variaciones temporales en composición y temperatura a escalas regional y global con el fin último de aislar el impacto del cambio climático. Otro de los grupos se dedica a analizar la actividad eléctrica en atmósferas planetarias, ya que asociadas a ella se producen fuertes descargas eléctricas en la baja y alta atmósfera que nos proporcionan información muy valiosa sobre el comportamiento eléctrico de la misma. Por último, la Oficina de Calidad del Cielo, gestionada también desde nuestro centro, vela por la protección del cielo nocturno. En este artículo repasaremos los estudios de la atmósfera que llevan a cabo estos grupos, y que nos permiten entender cómo funciona la capa de gas que tenemos sobre nuestras cabezas. Porque, efectivamente, el universo comienza aquí.

EL CIELO SOBRE NUESTRAS CABEZAS

Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, la atmósfera constituye "la capa gaseosa que rodea la Tierra y otros cuerpos celestes". Estudiada desde hace varios siglos, hoy podríamos añadir más información a esa definición. Podemos decir, por ejemplo, que está compuesta por diferentes especies químicas (fundamentalmente nitrógeno y oxígeno, con trazas de argón, dióxido de carbono, agua y ozono). También añadiríamos que tiene una extensión de varios centenares de kilómetros de altura (aunque el 75 % de la masa atmosférica se encuentra confinada en los primeros once kilómetros). Además, sabemos que la atmósfera se encuentra dividida en cinco capas atendiendo a su estructura térmica. Así, la capa que se extiende entre el suelo y la tropopausa (a 10-20 kilómetros) se denomina troposfera, y es donde se generan los fenómenos meteorológicos. Entre la tropopausa y la estratopausa (a 50-55 kilómetros) se encuentra la estratosfera, que alberga la mayor concentración de ozono. La mesosfera está comprendida entre la estratopausa y la mesopausa (a 85-95 kilómetros), siendo esta última la región más fría de toda la atmósfera, con temperaturas que pueden llegar a ciento cuarenta grados bajo cero. Y en la termosfera, que se extiende desde la mesopausa hasta los setecientos kilómetros, la temperatura aumenta con la altura, de ahí su nombre. Más allá nos encontraríamos con la exosfera, la capa más externa. Tradicionalmente se pensaba en estas capas como regiones aisladas sin interacción entre sí. Sin embargo, este concepto ha cambiado drásticamente durante los últimos cincuenta



El satélite Envisat.

El satélite SABER.

años. Gracias a los satélites sabemos que la atmósfera forma un sistema altamente acoplado: lo que ocurre en una zona determinada puede influir de manera crucial en otra. Dicha interacción puede afectar a fenómenos tan importantes como el propio clima sobre la superficie terrestre.

El Grupo de Atmósferas Planetarias Terrestres del IAA-CSIC tiene una larga experiencia en el estudio de atmósferas de cuerpos rocosos del Sistema Solar (principalmente Venus, la Tierra, Marte y Titán) mediante el análisis de sus emisiones infrarrojas y del *airglow* (o luminiscencia nocturna). Uno de los objetivos principales del grupo consiste en conocer a fondo la atmósfera terrestre, así como su variabilidad y la forma en la que evoluciona. Para ello hay que investigar los procesos radiativos, químicos y dinámicos que la gobiernan. Los investigadores e investigadoras del IAA-CSIC miden y analizan tanto las variables físicas, como presión y temperatura, así como la composición química de la atmósfera media-alta, en concreto la región entre los veinte y los ciento cincuenta kilómetros (estratosfera, mesosfera y baja termosfera). A partir de ello son capaces de identificar los procesos que forman y destruyen los distintos compuestos, aquellos que los transportan de unas regiones a otras y los que interconectan las distintas regiones atmosféricas. De esta manera intentan atribuir el origen de estos mecanismos y de sus variaciones en el tiempo, y determinar si son de origen antrópico o natural.

Para poder realizar estas investigaciones es necesario disponer de un buen conjunto de medidas de excelente calidad y, sobre todo, extendidas en el tiempo. Para su obtención el grupo cuenta, principalmente, con dos instrumentos a bordo de sendos satélites de monitorización de la atmósfera terrestre. El primero de ellos, SABER (*Sounding for the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry*), se halla a bordo del satélite

Los procesos atmosféricos y sus variaciones están influenciados por el Sol, y algunos tienen su origen en él

TIMED, de la NASA. SABER efectúa medidas globales de la atmósfera utilizando un radiómetro infrarrojo con varias bandas espectrales que cubren desde 1.27 a 17 micras. Estos datos se utilizan para obtener mapas tridimensionales (altura, latitud y longitud) de temperatura, presión, y composición de gases como el ozono, el dióxido de carbono o el vapor de agua. En este instrumento, el IAA-CSIC viene participando a nivel de co-investigador desde sus orígenes, suministrando gran parte de los códigos para convertir las radiancias medidas en los parámetros atmosféricos mencionados. SABER lleva midiendo la atmósfera durante dieciocho años (casi dos ciclos solares) suministrando una de los mejores bases de datos de nuestra atmósfera y contribuyendo a un avance sin precedentes de nuestro conocimiento de la misma.

El otro instrumento utilizado es MIPAS (*Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding*, que operó entre 2002 y 2012 a bordo de la misión europea Envisat. MIPAS midió la atmósfera terrestre con una resolución espectral sin precedentes, la mejor hasta la fecha, permitiendo la detección de un mayor número de gases atmosféricos (más de treinta). Su objetivo original era desentrañar los procesos causantes de la destrucción del ozono en el hemisferio austral (el problema conocido como agujero de ozono). Sin embargo, para cuando MIPAS se construyó y se lanzó, ya se había resuelto en gran parte ese problema. No obstante, ha contribuido de forma crucial a entender nuestra atmósfera.

Los datos que se obtienen de estos dos satélites permiten determinar la composición atmosférica. Los compuestos que obtienen están asociados a distintos procesos y se podrían agrupar en tres conjuntos. El primero comprende básicamente los óxidos de nitrógeno. Estos gases están fuertemente relacionados con la formación y destrucción del ozono, una molécula esencial para la vida en nuestro planeta, puesto que bloquea en gran parte la radiación ultravioleta. El segundo grupo estaría formado por los denominados gases trazadores de la dinámica atmosférica como, por ejemplo, el monóxido de carbono o el vapor de agua, que permiten desvelar los mecanismos de transporte y acoplamiento atmosféricos. Por último se encontrarían los gases de efecto invernadero, entre los que se incluyen el dióxido de carbono, el vapor de agua y el metano, responsables en gran medida del calentamiento de la superficie terrestre en las últimas décadas (si bien producen enfriamiento de modo simultáneo en la media-alta atmósfera con los consiguientes efectos de contracción atmosférica). Los datos de satélite con los que trabaja el equipo del IAA-CSIC cubren la atmósfera desde el ecuador a los polos y desde la tropopausa hasta unos ciento setenta kilómetros, y lo hacen durante amplios periodos de tiempo. Con esto, y con el apoyo de instrumentación en el Observatorio de Sierra Nevada, disponen de una imagen en cuatro dimensiones de la atmósfera terrestre que les proporciona un cartografiado preciso que permite una visión del estado de la atmósfera media-alta sin precedentes, una evaluación de su evolución y la determinación de los factores desencadenantes de la misma.

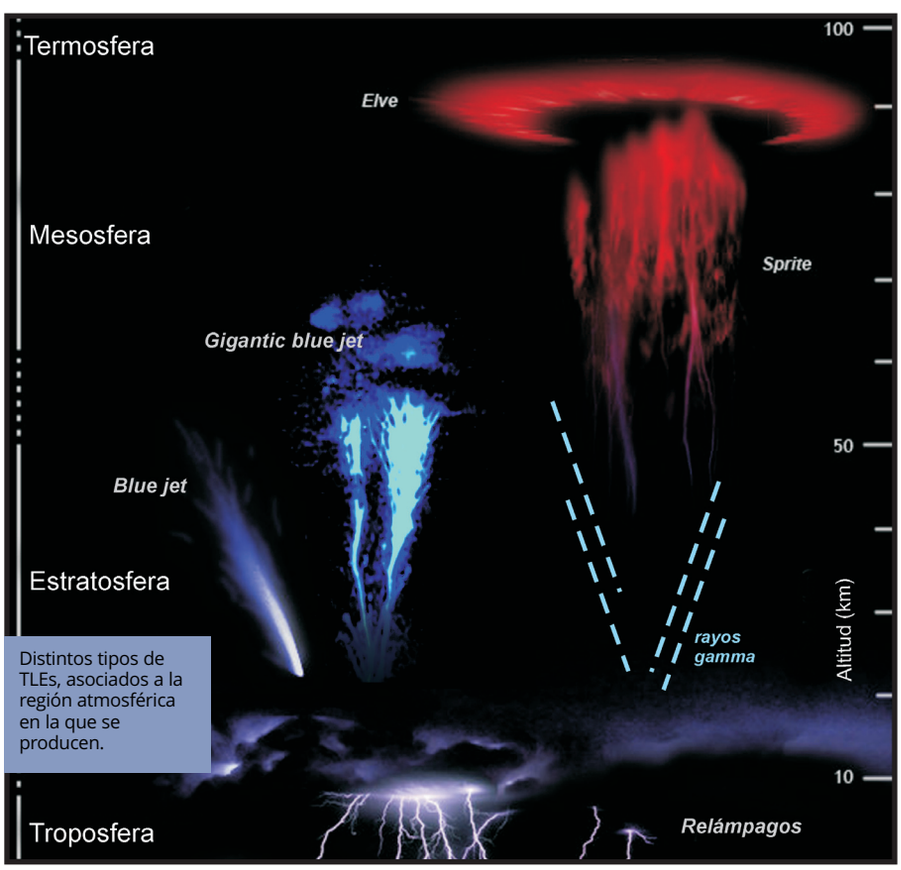
LA RELACIÓN CON EL SOL

Los procesos atmosféricos y sus variaciones están influenciados por el Sol, principal fuente de energía de nuestro planeta (y algunos tienen su origen en él). El efecto más importante del Sol a nivel global es la radiación. Por una parte, la radiación que proviene del Sol cambia la temperatura del mar que, a su vez, afecta a la atmósfera. Este efecto o camino se denomina de "abajo arriba" (*bottom-up*), por tener su origen en las capas inferiores y transferirse a las superiores. Por otra parte, la radiación en el ultravioleta modifica la concentración del ozono en la estratosfera (capas altas), que se traduce en un cambio en la temperatura en esta región que, a su vez, perturba la circulación atmosférica, transfiriéndose esta señal solar a las capas bajas, en la superficie. De ahí su nombre, *top-down,* o camino de arriba abajo. El grupo de atmósferas planetarias terrestres está muy involucrado en distinguir ambos caminos.

Por otro lado, las partículas emitidas por el Sol tienen una influencia notable sobre el sistema atmosférico. Estas partículas, que viajan a gran velocidad, interaccionan con el campo magnético terrestre y son desviadas hacia los polos, regiones en las pueden penetrar y modificar la composición atmosférica. Estos fenómenos pueden ocurrir de manera explosiva, como en las eyecciones de masa de la corona solar, constituidas principalmente por protones que impactan en la atmósfera y con unos efectos inmediatos y muy localizados. También pueden ocurrir de manera más continua, aunque variable y menos explosiva, como en el caso del viento solar, que genera una precipitación de electrones desde las capas más altas de la atmósfera (la magnetosfera), hacia las regiones inferiores (baja termosfera y mesosfera), siempre en las regiones polares. Los científicos y científicas del IAA-CSIC trabajan para entender qué rol juegan las partículas y la radiancia, y en cómo incluir ambos efectos en los modelos atmosféricos.

Tanto la radiación como las partículas son capaces de cambiar la composición química de la atmósfera. Dichos cambios, a su vez, pueden modificar su estructura térmica y su dinámica, y tienen el potencial de variar el clima en la superficie terrestre. Ello ha propiciado la recomendación al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, *International Pannel for Climate Change*) de incluir estos fenómenos en las próximas simulaciones de los modelos climáticos. De esta manera el grupo de atmósferas terrestres planetarias del IAA-CSIC pretende continuar refinando sus modelos y, así, poder predecir el comportamiento del cielo sobre nuestras cabezas.

La atmósfera es una máquina eléctrica cuyas baterías son las tormentas y los rayos



Distintos tipos de TLEs, asociados a la región atmosférica en la que se producen.

ELECTRICIDAD EN LA ATMÓSFERA

Nuestra atmósfera es una gigantesca máquina eléctrica cuyas baterías son las tormentas y los rayos. En efecto, los rayos llevan carga eléctrica negativa al suelo, mientras que la carga positiva de la parte alta de las nubes de tormenta es transportada hacia la ionosfera que, después, en regiones de "buen tiempo", origina una corriente eléctrica positiva aproximadamente constante hacia el suelo. Lo anterior es una versión muy simplificada de la teoría del circuito eléctrico global propuesta por Wilson en 1921 para explicar el origen de las corrientes eléctricas atmosféricas.

Años más tarde, en 1989, se descubrieron accidentalmente las descargas eléctricas en la mesosfera, una región que se creía carente de actividad. Estas descargas, llamadas hoy Fenómenos Luminosos Transitorios (o TLEs, del inglés *Transient Luminous Events*), aparecen debido a la existencia de rayos en la troposfera. Quizá los TLEs más populares son los sprites, eventos luminosos que se producen a unos ochenta kilómetros de altura, duran centésimas de segundo y muestran una parte superior difusa y una región inferior poblada de "tentáculos" que no son sino filamentos de aire ionizado que descienden hasta los cincuenta kilómetros de altura. En 1994 se detectaron, por primera vez y también de forma fortuita, potentes destellos de rayos gamma (o TGFs, del inglés *Terrestrial Gamma ray Flashes*) con origen en la atmósfera y que ocurrían durante ciertos episodios de fuertes tormentas eléctricas. Muy recientemente, a finales de 2017, un equipo japonés aportó pruebas experimentales definitivas de que los rayos también pueden producir reacciones fotonucleares en la atmósfera (había indicios no concluyentes desde 1985).

El descubrimiento de dichos fenómenos, aparte de haber sido parcialmente anticipado por Wilson, ha abierto toda una nueva era en el estudio de la electricidad atmosférica que ha planteado una serie de preguntas cuyas respuestas son hoy día tema de inves-

tigación. En particular, no se conoce en detalle qué influencias tienen los rayos y ciertos tipos de TLEs (como los *sprites* y los *blue jets*) en la química atmosférica global ni si el cambio climático puede alterar la frecuencia e intensidad de los rayos y de los TLEs y TGFs. Tampoco se conocen a día de hoy los mecanismos concretos que producen los rayos y los TGFs.

En respuesta a todos estos nuevos y apasionantes interrogantes, la comunidad internacional ha propuesto y lanzado entre 1995 y lo que llevamos del siglo XXI diversas misiones espaciales para el estudio de los rayos, TLEs y TGFs desde órbitas bajas (entre cuatrocientos y setecientos kilómetros de altura) y geoestacionarias. En el grupo de Electricidad Atmosférica del IAA-CSIC se llevan a cabo investigaciones fundamentales y aplicadas en relación con la microfísica de rayos, TLEs y TGFs, así como sobre su influencia en la química de nuestra atmósfera. El grupo actúa en diversos frentes mediante el desarrollo de instrumentación científica de vanguardia, de estudios experimentales en el laboratorio y de modelos, junto con una activa participación en las recientes y futuras misiones espaciales para el estudio de fenómenos eléctricos en la atmósfera. Toda esta actividad se enmarca en varios proyectos europeos y nacionales, numerosas colaboraciones internacionales y varias tesis doctorales leídas o en marcha.

El futuro de la investigación en el campo de la electricidad atmosférica está lleno de nuevos retos y descubrimientos que vendrán de la mano de las misiones espaciales recién lanzadas por EE.UU., Europa, Japón y China. Así, en febrero de 2018 se lanzó el satélite español PAZ, que lleva a bordo un experimento para estudiar tormentas severas. En abril de 2018 se lanzó ASIM (*Atmospheric Space Interaction Monitor*) de la Agencia Espacial Europea (ESA), en la que España participa como corresponsable científica, aportando parte de un instrumento y con equipos humanos para su explotación científica, entre ellos personal científico del IAA. A mediados de 2020 se lanzará el satélite TARANIS (junto con el satélite español INGENIO) para estudiar la actividad eléctrica atmosférica y en el que también participa el grupo de electricidad atmosférica del IAA. Además, en 2022 se prevé que la Agencia Europea para la explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) lance el primero de cuatro satélites de la tercera generación de satélites meteorológicos europeos equipados por primera vez con sensores de rayos. Los nuevos instrumentos incorporan sensores de incendios para correlacionarlos con la frecuencia de rayos en regiones de alto riesgo de incendio en Europa. Con los datos que nos proporcionen estos nuevos satélites, el grupo del IAA especializado en la actividad eléctrica en la atmósfera terrestre podrá seguir desentrañando sus misterios.

Pese a todos los avances en investigación en contaminación lumínica, quedan muchas incógnitas

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

La Oficina de Calidad del Cielo del IAA-CSIC contribuye también a los estudios atmosféricos. Su objetivo es velar por el cumplimiento de la legislación vigente en España para la protección de la calidad del cielo nocturno y el establecimiento de medidas de ahorro y eficiencia energética. Desde 1960, la contaminación lumínica ha sido una preocupación mayor para la comunidad astronómica internacional. Tanto, que en los años 70 se comenzaron a crear los primeros modelos de predicción de la contaminación lumínica. El primer modelo puramente físico fue desarrollado en 1984. En el año 2001, basándose en este modelo y en imágenes de satélite, se realizó el primer mapa de la contaminación lumínica mundial. Sin embargo, el atlas no contó con una validación intensiva hasta 2012. Unos años antes, en 2005, se descubrió que el ojo tenía un tipo de células fotosensibles que no juegan ningún papel en la visión, pero que regulan el sistema hormonal, lo que abre la puerta a que la contaminación lumínica provoque efectos adversos sobre la salud. Actualmente está probado que el trabajo en turno de noche implica un aumento del 50% de la probabilidad de desarrollar cáncer de mama o próstata. Además, los estudios epidemiológicos relacionan las imágenes de satélite nocturnas con un incremento de casos de este tipo de cánceres. Paralelamente, a lo largo de la primera década de este siglo numerosos trabajos han demostrado un importante impacto en gran cantidad de especies (búhos y rapaces nocturnas, aves migratorias, insectos, luciérnagas o tortugas) producido por la contaminación lumínica, además del incremento de enfermedades transmitidas por mosquitos en lugares iluminados. Trabajos recientes muestran cómo la contaminación lumínica puede estar detrás de algunos fenómenos anteriormente achacados al calentamiento climático, como la floración adelantada de algunas especies. En resumen, la evidencia científica relaciona la contaminación lumínica con graves problemas de salud, económicos y medioambientales.

Sin embargo, pese a todos los avances en investigación acerca de contaminación lumínica, quedan abiertas muchas incógnitas: los estudios realizados hasta el momento prácticamente han ignorado la importancia de los diferentes colores en la contaminación lumínica, principalmente por la falta de herramientas sencillas de calibración del instrumental. Tampoco se ha estimado hasta la fecha cuán importante es el efecto de la contaminación lumínica de tipo LED en futuras investigaciones astronómicas en el visible, dado que su componente principal de emisión es un espectro continuo y no de líneas como las tradicionales lámparas de sodio. Es una incógnita el grado de impacto que tiene el alumbrado público y ornamental en la salud humana, más allá de las correlaciones estadísticas encontradas con imagen de satélite. Por último, también se desconoce la distribución actual en color de la contaminación lumínica. Para solucionar esta falta de conocimiento se creó el proyecto *Cities at Night*, encabezado por el IAA, para localizar, clasificar y georreferenciar las imágenes tomadas por los astronautas de la Estación Espacial Internacional, única fuente de información disponible en órbita sobre el color de la contaminación lumínica.

Por estas razones, en 2015 nace en el IAA-CSIC la Oficina de Calidad del cielo, con el objetivo de convertirse en un referente en Andalucía en términos de protección de la calidad del cielo nocturno. De esta manera, pretende reafirmar el valor de la bóveda celeste como recurso científico, cultural, medioambiental y turístico.

EL MOBY DICK DE...

...PABLO SANTOS SANZ (IAA-CSIC)

Licenciado en físicas por la Universidad de Valladolid, realizó su tesina de licenciatura en el Instituto de Astrofísica de Canarias (Universidad de la Laguna) y su tesis doctoral en el IAA-CSIC. Trabajó en el CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) en el observatorio de París y hoy día trabaja en el IAA, en el marco del proyecto *LEO-SBNAF: Legacy of the Small Bodies Near and Far* para caracterizar con mucho detalle pequeños cuerpos del Sistema Solar.

EL PLANETA ENANO HAUMEA

Siempre me ha llamado poderosamente la atención el cielo nocturno, desde pequeño, cuando desde la casa en el campo que frecuentaba mi familia en verano podía disfrutar de las estrellas, los planetas, incluso de La Vía Láctea en las cálidas noches estivales de Valladolid. Aparte de la Vía Láctea, las constelaciones y los planetas, había algo que llamaba poderosamente mi atención, y eran esos otros cuerpos que poblaban el espacio, acercándose a veces al Sol y a la Tierra, cuerpos pequeños y helados: los cometas. Recuerdo mi infructuosa búsqueda del cometa Halley, allá por el año 1986, armado de unos pequeños prismáticos y un telescopio refractor de una calidad mediocre. No encontrar el Halley no me desanimó, y poco tiempo después, en 1989, conseguí ver, usando un telescopio reflector algo mejor, el cometa 23P/Brorsen-Metcalf. El cometa era muy pequeño y presentaba un aspecto borroso tras el ocular del telescopio, pero recuerdo que se podía ver una pequeña cola saliendo desde la coma de gas y polvo. Me quedé maravillado contemplando el espectáculo y me fijé, con bastante asombro, en una pequeña estrella que se veía detrás de la cola. Había que forzar mucho la vista para verla, pero ahí estaba. Continué contemplando el cometa con el telescopio unos treinta o cuarenta minutos más, y me di cuenta maravillado de que, poco a poco, la estrella iba emergiendo detrás de la cola del cometa, ¡estaba viendo moverse y evolucionar el universo con mis propios ojos! Esa experiencia de un Sistema Solar vivo y en constante evolución me marcó para siempre y determinó, sin yo saberlo entonces, la que iba a ser mi futura profesión. Unos años después mi pasión por los cometas me hizo viajar de mi Castilla natal a Tenerife, al IAC, para hacer lo que entonces se llamaba una "tesina de licenciatura" sobre el cometa Hale-Bopp, uno de los más espectaculares del siglo XX. En esa época me gustaba decir que había viajado hasta las islas "persiguiendo un cometa", algo que sonaba bastante poético, y que además era totalmente cierto.

Concepción artística de Haumea y su anillo. Fuente: IAA-CSIC/UHU.

CÁPSULAS DEL TIEMPO

Tras unos años desenganchado de la astrofísica se me presentó la oportunidad de hacer una tesis doctoral en Granada, en el IAA-CSIC, sobre unos objetos muy relacionados con mis queridos cometas: los objetos transneptunianos (TNOs de sus siglas en inglés), el primero de los cuales se había descubierto hacía apenas diez años. Estos objetos helados, situados más allá del planeta Neptuno, son verdaderas cápsulas del tiempo conservadas a temperaturas de doscientos veinte grados bajo cero, que guardan información del pasado remoto en el que se formó el Sistema Solar hace cuatro mil seiscientos millones de años. Creemos que algunos de estos TNOs evolucionan convirtiéndose en cometas. Estudiar los TNOs y sus diferentes poblaciones en el llamado cinturón transneptuniano (o cinturón de Kuiper) nos permite hacer lo que a mí me gusta llamar "arqueología del Sistema Solar". Es uno de estos objetos, descubierto en 2005 durante mi tesis doctoral, al que considero mi Moby Dick personal. El objeto fue bautizado como 2003 EL_{61} y lo descubrimos José Luis Ortiz, Francisco Aceituno y yo mismo en imágenes tomadas desde el observatorio de Sierra Nevada. Nuestro descubrimiento fue disputado por otro grupo de astrónomos norteamericanos... pero esa es otra historia. Actualmente, el objeto se conoce con el nombre de Haumea, y está clasificado no solo como TNO, sino también como planeta enano, como Plutón o Eris. Haumea es el TNO conocido que más rápido rota, en algo menos de cuatro horas, lo que hace que esté muy deformado, como si de un balón de rugby se tratase. Sabemos además que posee dos satélites llamados Hi'iaka y Namaka.

Tras mi tesis doctoral tuve la suerte de trabajar en el observatorio de París (Meudon) con datos térmicos de Haumea obtenidos con el telescopio espacial Herschel, de los que obtuvimos su curva de luz térmica y aprendimos más de su superficie. En el año 2017, gracias a la detección de una ocultación estelar producida por Haumea, pudimos obtener una forma tridimensional más precisa para este objeto (2322 x 1704 x 1026 kilómetros): ¡el lado más grande es casi del tamaño de Plutón! Esta forma no se corresponde con la esperada para un objeto en equilibrio hidrostático, por lo que a raíz de este resultado quizá deba revisarse la propia definición de planeta enano. También obtuvimos que la densidad de Haumea es de 1.89 kilos por metro cúbico, menor de lo esperado, y nos llevamos la sorpresa de que el objeto poseía un anillo a una distancia de 2287 kilómetros de su centro. Este ha sido el primer anillo detectado alrededor de un planeta enano (y TNO), cuyo origen, composición y evolución son aún un misterio que estamos intentando comprender (previamente se habían descubierto anillos alrededor de los centauros Cariclo y Quirón). Los resultados obtenidos de esta ocultación fueron publicados en la prestigiosa revista *Nature*.

Quizá dentro de algunos años una misión espacial -parecida a la *New Horizons* que visitó Plutón- despeje todos los misterios que aún rodean a Haumea, con su rápida rotación, su forma tan alargada, sus dos lunas y su sistema de anillos… Entonces sentiré que por fin he logrado dar caza a mi particular Moby Dick.

BÚSQUEDA DE TIERRAS EXOPLANETARIAS CON LA MISIÓN PLATO 2.0

La Misión PLATO 2.0 (*PLAnetary Transits and Oscillation of stars*) de la ESA (Agencia Espacial Europea) tiene como objetivo la búsqueda y caracterización de planetas de tipo terrestre en otros sistemas solares. Los planetas extrasolares empezaron a descubrirse desde tierra y posteriormente con otras misiones espaciales como CoRoT (CNES, ESA) y Kepler (NASA). Actualmente están siendo descubiertos por las misiones espaciales TESS (NASA) y CHEOPS (ESA, Suiza). El objetivo fundamental de PLATO es el descubrimiento de planetas análogos a la Tierra tanto en la distancia a su estrella como en sus características físicas. Es decir, tienen que estar en la zona de habitabilidad de su sistema solar y tener una densidad propia de un sólido. Esto solo se consigue a través de la aplicación de técnicas astrosismológicas a las series temporales generadas por la estrella, cuya luminosidad disminuye periódicamente por el tránsito de un planeta que gira a su alrededor. Para ello se necesita un instrumento que ofrezca la precisión suficiente como para medir tanto las oscilaciones de la propia estrella como la pequeñísima caída de brillo que produce el tránsito.

PLATO 2.0 es una misión de tamaño medio (M3) del programa científico *Cosmic Vision* (2015-2025). Esta misión pondrá a Europa en la vanguardia de la investigación en exoplanetas y astrosismología, donde la experiencia adquirida en otras misiones espaciales como CoRot, Kepler, Cheops y TESS será clave para la preparación y explotación de la misión. Instrumentos como CARMENES (CAHA), HARPS-N (TNG) y Stromgren (OSN) ayudarán a la caracterización de las estrellas alrededor de las cuales estarán orbitando estos objetos tan apreciados por los terrícolas.

El proyecto lo desarrolla un consorcio internacional de países, con la participación de más de quinientos científicos e ingenieros, de los cuales unos ochenta y cinco participan en el consorcio español (CAB, INTA, IAA, UGR e IAC), con el apoyo de numerosos científicos adicionales de otros centros y universidades.

El Instituto de Astrofísica de Andalucía y la Universidad de Granada centran sus actividades científicas en la caracterización de las estrellas que albergan estos planetas y en la detección, caracterización y estudio dinámico de los sistemas planetarios. Su principal actividad tecnológica consiste en el diseño y la construcción de las unidades de la electrónica principal del instrumento, donde se efectuará un primer procesado de los datos en vuelo.

LA CIENCIA: BUSCANDO EXOPLANETAS

En palabras del Comité Científico asesor de la ESA en Ciencia Espacial: "PLATO revolucionará nuestro conocimiento de los sistemas exoplanetarios al proporcionar parámetros físicos para grandes muestras de planetas bien definidos, especialmente aquellos que orbitan más allá de una unidad astronómica (ciento cincuenta millones de kilómetros) y poseen masas similares a la de la Tierra, siendo capaces de encontrar sistemas planetarios análogos al Sol-Tierra". PLATO podrá caracterizar los sistemas planetarios, incluidos los planetas terrestres en su zona habitable, con precisión suficiente como para comenzar a poner a prueba las diferentes teorías de formación y evolución planetaria, lo que supone un importante avance respecto a las misiones actuales para la búsqueda de planetas.

Para ello, PLATO observará estrellas brillantes (de magnitud entre cuatro y once) en grandes regiones del cielo para detectar y caracterizar planetas hasta el tamaño de la Tierra mediante tránsitos fotométricos, cuyas masas serán entonces determinadas por mediciones de la velocidad radial desde tierra. La combinación de estas mediciones con los datos astrosismológicos permitirá obtener los parámetros de los planetas con muy alta precisión: 3% en los radios, 4-10% en sus masas y 10% en su edad. El objetivo clave de PLATO sería encontrar más de diez de estos sistemas. Además, PLATO detectará miles de otros exoplanetas de diferentes tamaños y órbitas.

Las estrellas que observará PLATO deben de ser estrellas lo suficientemente brillantes como para medir con precisión sus variaciones de velocidad radial desde tierra, y lo suficientemente débiles como para no saturar los detectores. Lo que marca la diferencia con respecto a la instrumentación actualmente en curso es la capacidad que tiene PLATO de observar simultáneamente miles de estrellas (tabla página contigua), divididas en varias categorías: P1, las más brillantes y para las que será necesario determinar con alta precisión su radio (<3%), masa y edad (<10%); P2 y P5, con menor brillo, serán caracterizadas con algo menos de precisión pero en un número mucho mayor, lo que permitirá no solo estudiar los sistemas planetarios con alta precisión sino que además proporcionará valiosa información estadística; P4 son estrellas de baja masa (tipo M), de las más numerosas en el universo, que son suficientemente débiles para que sus zonas habitables estén cerca de la estrella y, por tanto, los planetas que en ellas se encuentren tendrán períodos de unas pocas semanas. Aunque para estas estrellas la precisión fotométrica es menor, la gran cantidad de tránsitos medidos contribuirá a mejorar significativamente su señal y permitirá su correcta caracterización.

DECONSTRUCCIÓN

POR ROSARIO SANZ (IAA), JUAN CARLOS SUÁREZ (UGR-IAA), JULIO RODRÍGUEZ-GÓMEZ (IAA), RAFAEL GARRIDO (IAA)

LA TECNOLOGÍA: PARTICIPACIÓN DEL IAA

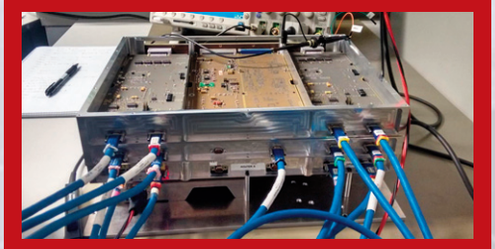
1. INSTRUMENTO

PLATO comprende veintiséis telescopios de gran campo de doce centímetros de diámetro cada uno. Dispone de veinticuatro cámaras "normales" (N), que toman una imagen cada veinticinco segundos, y otras dos cámaras "rápidas" (F) que toman una imagen cada 2,5 segundos, y que además de realizar la adquisición de imágenes de ciencia ayudarán en el apuntado de precisión del satélite. Las dos cámaras rápidas contienen información de color en dos bandas fotométricas, que será útil para identificar falsos positivos en la detección de planetas y para la identificación de los modos de pulsación de las estrellas. Las cámaras normales suman un campo de visión de mil cien grados cuadrados y las rápidas de seiscientos diecinueve grados cuadrados.

Las veinticuatro cámaras normales se organizan en cuatro grupos de seis cámaras que miran el mismo campo de visión, y cada grupo desalineado 9,2 grados del eje central lo que suma un total de dos mil doscientos cincuenta grados cuadrados de campo de visión. Al principio de cada apuntado se envían las imágenes completas a tierra para su identificación y se seleccionan las ventanas (de 6x6 píxeles, llamadas *imagettes*) donde se ubica el objeto a estudiar que es analizado a bordo. Se obtienen los centroides y curvas de luz, que será lo único que se envía a Tierra, de ahí la necesidad de tener un sistema electrónico que albergue un procesado de los datos autónomo.

long pointings	step & stare	mag	Noise in central field	spectral type
P1: 20 000 stars	P1: 66000 stars	V<11	34 ppm	F5/K7
P2: 1 000 stars	P3: 3 000 stars	V<8	34 ppm	F5/K7
P4: 5 000 stars V<16	5000 stars V<15	V<15 V<16	800 ppm	M
P5*: 245 000 stars	P1: 881000 stars	V<13	80 ppm	F5/K7

Muestras estelares de PLATO y las precisiones requeridas. El proyecto constará de dos apuntados de larga duración (*long pointings*) y varios apuntados de corta duración donde variará el campo de estudio (*step & stare*).



Arriba, integración de la MEU completa, en los laboratorios del IAA en diciembre de 2019 (doce cámaras). Debajo, Modelo de Ingeniería de la MEU que se entregará para el desarrollo del software (cuatro cámaras).

2. ELECTRÓNICA DEL INSTRUMENTO

Cada cámara utiliza como detector un conjunto de cuatro CCDs de veinte megapíxeles cada uno, que se controlan y leen por medio de una electrónica situada junto a las mismas.

Las unidades que reciben los datos de las cámaras normales son las unidades de electrónica principal (MEU: *Main Electronic Unit*). Es el "ordenador" del instrumento, que incorpora electrónica especialmente diseñada para el espacio y otras características que hacen que el instrumento sea único.

Cada caja MEU contiene seis unidades de procesamiento de datos (N-DPUs, de su nombre inglés) para la adquisición de doce cámaras. La fuente de alimentación y los rúters, que reducen la masa del cableado, son redundantes.

Cada N-DPU procesa los datos de dos cámaras normales. El software que se emplea en cada tarjeta es diseñado por un equipo de ingenieros de LESIA (Laboratorio de Estudios eSpaciales y de Instrumentación en Astrofísica del Observatorio de París) y obtiene las curvas de luz y centroides de los objetos.

Para realizar estas tareas, cada MEU va a consumir menos de cincuenta vatios y pesará alrededor de diez kilos.

Las MEUs mandan los datos a la unidad de control del instrumento, formado por dos unidades redundantes en una única caja, que se encargan de controlar el instrumento, comprimir los datos y comunicarse con la nave para el control y envío de datos que finalmente se transmitirán a Tierra.

Las unidades que reciben los datos de las cámaras rápidas son las unidades de electrónica rápida (FEU). La FEU contiene las 2 F-DPUs, una por cámara, con su fuente de alimentación.

Aparte de estas unidades de procesado están unas unidades de electrónica auxiliar (AEU), encargadas de generar la delicada alimentación necesaria para las cámaras y su crítica sincronización, así como del control térmico de las cámaras.

3. EL IAA, RESPONSABLE DE LAS MEUs

Desde 2014, el IAA es responsable del diseño y construcción de las dos unidades de la electrónica principal (imagen izquierda), que se encargan de recibir los datos de las veinticuatro cámaras normales. Para este cometido la Unidad de Desarrollo de Instrumentación Tecnológica del IAA cuenta con un equipo de ingenieros electrónicos, de software y mecánicos con experiencia en otras misiones espaciales.

El Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) se encarga de la fuente de alimentación de dicha unidad, y las empresas Thales Alenia Space España y Airbus-CRISA son los socios industriales, que participan en el diseño y fabricación de los diferentes modelos.

Se han superado ya varias revisiones de diseño por parte de la ESA y actualmente estamos en la fase final de la construcción y verificación del modelo de ingeniería. Este modelo consta de solamente dos N-DPUs, un rúter para las comunicaciones (imagen superior) y una PSU (unidad de fuente de alimentación).

Un gran hito conseguido el pasado mes de diciembre ha sido la integración de una MEU completa, doce cámaras, en la que se ha verificado su funcionalidad. Los próximos pasos relevantes serán la entrega del modelo de ingeniería al Consorcio de PLATO (abril del 2020), del modelo de cualificación (junio del 2022) y de dos unidades de vuelo (2023 y 2024) a la ESA.

El lanzamiento de PLATO 2.0 está planeado para el final de 2026. La nave se enviará al punto de Lagrange 2, donde se mantendrá en la misma orientación Sol-Tierra y que, por lo tanto, constituye un observatorio espacial idóneo. La duración nominal de la misión son cuatro años, con una posible extensión de dos años más.

La mujer más fea del mundo

POR SUSANA ESCUDERO
(CANAL SUR RADIO)

Damas y caballeros, oscuro es el origen de la maravillosa criatura que van a ver. Este híbrido maravilloso tiene pelo por todo su cuerpo y una cara fuera de lo normal.
¿Su linaje? Una de las mujeres de una tribu india desapareció y seis años después apareció con una niña de dos años cubierta de pelo a la que cuidaba con afecto, aunque dijo no ser su madre. También dijo que la había raptado otra tribu enemiga, pero allí no había ni una sola persona a cientos de millas. Sin embargo, sí multitud de monos, babuinos y osos.
Damas y caballeros, ante sus ojos, Julia Pastrana, ¡la mujer babuina!

Esta que estáis viendo es Julia Pastrana. Mujer mexicana nacida en 1834 con una enfermedad rara que le hacía tener pelo por todo el cuerpo y un pronunciadísimo prognatismo. Hablaba tres lenguas, cantaba, bailaba, tocaba la guitarra y la armónica y hasta fue capaz de hacer acrobacias a caballo. Fue una de las mujeres más famosas de su tiempo (aunque no solo). El mismísimo Darwin se interesó por ella y la citó en una de sus obras; también apareció en novelas, en poemas escritos a su nombre e, incluso, ya en pleno siglo XX en programas de radio y hasta en una película.

Su condición física la llevó por todo el mundo, donde fue presentada con todos estos calificativos: la mujer mono, la no-descrita, la sin nombre, el híbrido maravilloso, la mujer barbuda; y también como…. la mujer más fea del mundo. Esta es su historia:

PRIMER ACTO

La vida pública de Pastrana comenzó cuando solo tenía veinte años (1854). Salió de Sinaloa en busca de fortuna cuando se cruzó con un americano que, al verla, le ofreció viajar a los Estados Unidos para exhibirse por dinero.

Nueva York fue el primer lugar en el que se mostró ese mismo año, y comenzó así la atracción por esta mujer tanto por parte del público general como por parte de los hombres de ciencia y medicina de la época. En poco menos de tres años cambió tres veces de representante y recorrió con éxito grandes ciudades de Estados Unidos y Canadá. La gente acudía en masa a ver lo que algunos hombres de ciencia del momento llegaron a

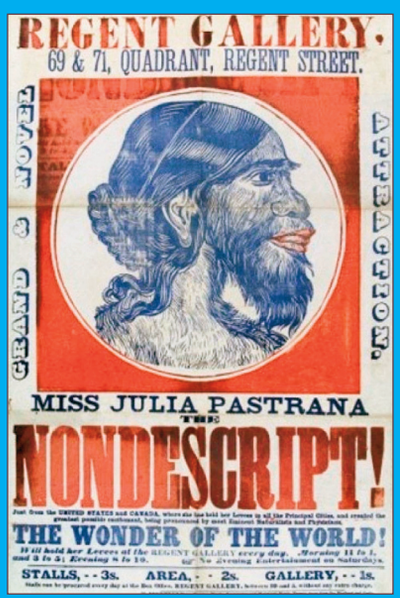
catalogar como una especie distinta e, incluso (expidiendo certificados médicos), como un híbrido entre humano y orangután. En esta época el imaginario pseudocientífico admitía que en Sumatra y Borneo los orangutanes raptaban y poseían a mujeres indígenas.

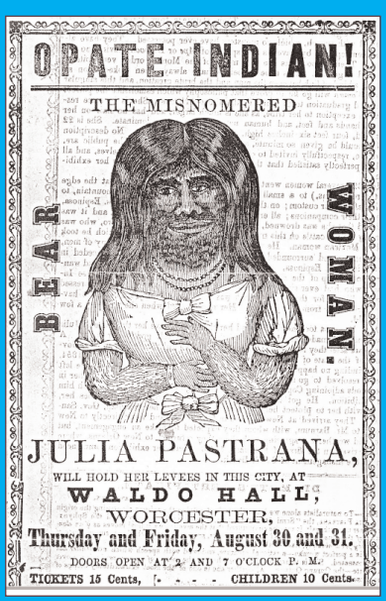
Así, y con el que sería el hombre de su vida, el señor Lent, ya como su agente, Julia llega a Europa 1857. Anunciada como la "no-descrita", un término muy usado para animales extraños y monstruos de ultramar, aparece en Londres calificada como el eslabón perdido justo antes de la teoría de la evolución. En la época victoriana el folklore, la historia natural, la medicina, la moralidad y las curiosidades científicas estaban entremezclados. Los científicos pre-evolucionistas estaban muy interesados en los seres deformes, los abortos, las monstruosidades, ya que creían que podrían ayudarles a comprender la naturaleza de las especies. Y la hipótesis del eslabón perdido era recurrente cada vez que aparecían criaturas aptas de ocupar ese espacio, como fue el caso de Pastrana.

El híbrido maravilloso fue durante seis meses la sensación en Londres. Muchos científicos se interesaron por ella, incluido el médico que encontró y cuidó al Hombre Elefante y llegó a ser incluso materia de la revista médica *The Lancet*. Saltaron al continente a finales de 1857, donde continuó el éxito arrollador, aunque también aparecieron los primeros problemas cuando las autoridades intentaron suspender los espectáculos. Cuando estaban en Alemania, en una obra que se había escrito exprofeso para ella para un importante teatro, la policía secreta escondida entre el público hizo que el espectáculo se suspendiera tras la segunda representación por obsceno. Los obstetras dijeron que si las mujeres embarazadas veían este espectáculo abortarían o, aún peor, tendrían hijos iguales a ella.

De este paso por Europa, dos hechos destacables: el matrimonio con su representante, el señor Lent, y los documentos que nos hablan un poco más de cómo era Pastrana. De nuevo, más estudios médicos y científicos y también una larga entrevista en una revista, la única, en la que el periodista quedó muy impresionado por la humanidad y educación de Julia, que le contó que era feliz y que había recibido hasta veinte proposiciones de matrimonio, que había rechazado porque no eran suficientemente ricos.

Estando en Moscú, de nuevo con gran éxito,





Publicaciones de la época para las presentaciones de Julia Pastrana.

se queda embarazada. Al dar a luz, con un gran número de ginecólogos atendiendo el parto, tiene a un varón con su misma enfermedad que fallece a las pocas horas. A los cinco días Julia, con veintiséis años, muere también. Pero esto no es el fin…

SEGUNDO ACTO.
EMBALMED FEMALE NON-DESCRIPT

Como en esta historia no falta de nada, tenemos hasta un científico ruso con un secreto: El profesor Sukolov, de la universidad de Moscú, que compra al "afligido" marido los cuerpos de ambos para embalsamarlos, lo que hace por un procedimiento secreto de su invención. Tan bien quedaron y tan secreto fue que no publicó los pormenores del proceso, como había acordado con –de nuevo— *The Lancet*. Las momias se exponen en el instituto anatómico y de nuevo comienza a llegar mucha gente para verlas, así que Lent entra de nuevo en el juego y compra los cuerpos al profesor ruso.

Y, si Julia vio mucho mundo en vida, mucho más vieron su momia y la del bebé. Entre 1862 y 1884 Lent las paseó durante años por toda Europa. Le dio tiempo además a casarse con una nueva mujer barbuda a la que cambió el nombre por el de Zenora Pastrana para hacerla pasar por la hermana y exhibirla junto a la momia. Hicieron hasta pases privados para familias reales. En 1884 Lent enferma y muere, Zenora se retira y, cinco años después, vende las momias.

Las momias siguen viajando en circos ambulantes, exposiciones antropológicas y otros lugares, cambiando de mano, hasta que en 1921 las compra quienes van a ser ya sus dueños definitivos: los Lund, una familia de feriantes noruegos que las incluyó en su Cámara de los Horrores.

Como en esta historia no falta de nada, también tenemos a los nazis. En 1943 prohibieron su exhibición, pero Lund hijo les convenció para que continuara, con la promesa de que los beneficios irían para el tesoro del tercer Reich.

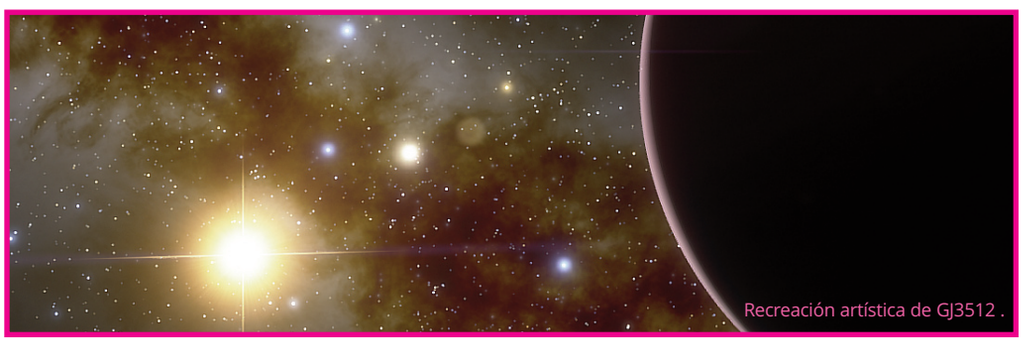
En 1969 Julia Pastrana vuelve, más de cien años después, a los titulares de los periódicos. Un coleccionista americano quiere comprar las momias, y el empieza un regateo que fue seguido por los lectores con gran entusiasmo. El regateo no se remató porque el coleccionista murió de un ictus, pero Lund nieto aprovecha la publicidad para emprender otra gira por Suecia y Noruega en 1970, que incluso tuvo parada en Estados Unidos. En esta gira, igual que en los panfletos de Londres de 1857, se anuncia a Julia Pastrana como un híbrido entre hombre y simio. Fueron tres años de éxito que acabaron cuando las autoridades prohibieron el espectáculo y las momias volvieron a un almacén. Allí sufrieron dos asaltos, que echaron a perder la momia del niño, y en el segundo de los cuales se llevaron el cuerpo de Julia. Durante años no se supo nada más de ella. Hasta que, en 1990, una revista de detectives de Estados Unidos reveló que las momias estaban en el Instituto de Medicina Forense de Oslo. Resulta que, tras el último asalto, la policía encontró cerca del almacén la momia de Pastrana y la llevó directamente a la universidad. Lo curioso es que no se lo comunicó al dueño. La momia estaba desnuda, con un brazo arrancado, pero a buen recaudo en la institución académica. Pero… esto no es el fin.

TERCER ACTO. REPATRIACIÓN

En 2005 la artista mexicana Laura Anderson Barbata estaba haciendo una estancia en Oslo, donde conoce la historia de Julia Pastrana y comienza su lucha por recuperar el cuerpo y retornarlo a México para enterrarlo. Si en vida Julia Pastrana fue parte del debate científico más importante de su momento –la evolución–, en muerte se vuelve a convertir en paradigma de otro amplio debate, este todavía abierto: el de la repatriación. Durante años Laura Anderson pleiteó con la universidad de Oslo para que el cuerpo fuera repatriado a México. Finalmente, en 2013, el cuerpo embalsamado de Julia Pastrana fue colocado en un ataúd de zinc (los que se usan para preservar cuerpos momificados) pero enterrado bajo una capa de cemento de más de un metro para que nunca más pueda ser recuperado.

Este sí parece ser el fin. ¿Fue la de Julia una mala vida? Está registrado que al morir dijo: "muero feliz porque me siento amada por quien soy". Hay quienes dicen que fue su marido quien puso estas palabras en boca de Julia. Lo cierto es que no podemos juzgar los hechos del pasado con los ojos del presente, ni tampoco saber sin pruebas si fue una mujer explotada o una mujer que explotó su físico. El caso de Julia Pastrana es paradigmático de cómo la ciencia está determinada por el pensamiento de la sociedad de su época.

Un sistema planetario que desafía nuestra comprensión de cómo se forman los planetas



Recreación artística de GJ3512 .

EL INSTRUMENTO CARMENES, COLIDERADO POR EL IAA-CSIC, HA DETECTADO UN PLANETA GIGANTE EN TORNO A UNA ESTRELLA ENANA

El instrumento CARMENES, que opera desde el Observatorio de Calar Alto (Almería), ha hallado en torno a la estrella enana roja GJ3512 un planeta gigante gaseoso, así como indicios de la presencia de otro. El hallazgo, publicado en la revista *Science*, pone en tela de juicio el modelo de formación de los planetas gigantes más aceptado, que afirma que nacen a partir de un núcleo sólido que va acumulando gas, y abre la posibilidad de que se formen tras la ruptura en fragmentos de un disco protoplanetario.

"Con este descubrimiento, CARMENES logra la primera detección de un exoplaneta utilizando un instrumento de precisión en el infrarrojo de nueva generación. Vemos así que el brazo infrarrojo de CARMENES, desarrollado en el IAA, ha cumplido sus exigentes requerimientos y muestra un nivel de eficacia muy alto", apunta Pedro J. Amado (IAA-CSIC), co-investigador principal de CARMENES y participante en el hallazgo.

CARMENES emplea la técnica de velocidad radial, que busca diminutas oscilaciones en el movimiento de las estrellas generadas por la atracción de los planetas que giran a su alrededor. Y lo hace en torno a estrellas enanas rojas, más pequeñas que el Sol, que ofrecen las condiciones para la existencia de agua líquida en órbitas cercanas y en las que, a diferencia de las de tipo solar, pueden detectarse las oscilaciones producidas por planetas similares al nuestro con la tecnología actual.

Los astrónomos del consorcio CARMENES observaron que la velocidad de GJ3512 estaba cambiando muy rápida y constantemente en los canales visible e infrarrojo del instrumento, lo que apuntaba a un compañero masivo, algo anómalo para este tipo de estrellas.

"Se está convirtiendo en la norma esperar pequeños planetas alrededor de enanas rojas, por lo que pensamos que este amplio movimiento se debía a la presencia de otra estrella con un período orbital muy largo –explica Juan Carlos Morales, investigador del Instituto de Estudios Espaciales de Cataluña (IEEC, ICE-CSIC) que encabeza el estudio–. Seguimos observándolo, pero con baja prioridad. Para nuestra sorpresa, el movimiento se repitió en la temporada posterior, lo que indicaba que era producido por un planeta. En ese momento, GJ3512 ascendió a la lista de máxima prioridad".

Varios observatorios se sumaron a la campaña para estudiar el sistema. "Observaciones fotométricas de los dos telescopios ópticos del Observatorio de Sierra Nevada (OSN), así como de los observatorios de Montsec y Las Cumbres, permitieron determinar el periodo rotacional de la estrella y descartar de forma independiente que la actividad estelar fuera el origen de la señal", señala Cristina Rodríguez-López, investigadora del IAA-CSIC que participa en el estudio y directora del OSN.

UN SISTEMA DIFÍCIL DE ENCAJAR

A día de hoy, existe un modelo de formación de planetas gigantes que explica el nacimiento de Júpiter y Saturno en nuestro Sistema Solar, así como el de muchos otros planetas gigantes gaseosos descubiertos alrededor de otras estrellas. Conocido como "modelo de acumulación de núcleos", plantea que el proceso comienza con la formación de núcleos rocosos de unas pocas masas terrestres dentro del disco protoplanetario que rodea la estrella; cuando se alcanza una masa crítica, comienzan a acumular grandes cantidades de gas hasta que alcanzan la masa de los planetas gigantes.

Sin embargo, este modelo no sirve para GJ3512. Las estrellas enanas muestran discos de baja masa, de modo que la cantidad de material disponible en el disco para formar planetas también se reduce significativamente.

La presencia de un gigante gaseoso alrededor de una estrella de baja masa indica que el disco original era anormalmente masivo, o que el modelo dominante no se aplica en este caso. Además, este planeta se halla en una órbita excéntrica, lo que suele interpretarse como el indicio de que, en el pasado, la interacción con otro planeta masivo produjo una alteración de la órbita (este segundo planeta habría sido expulsado del sistema como consecuencia).

UN MODELO ALTERNATIVO

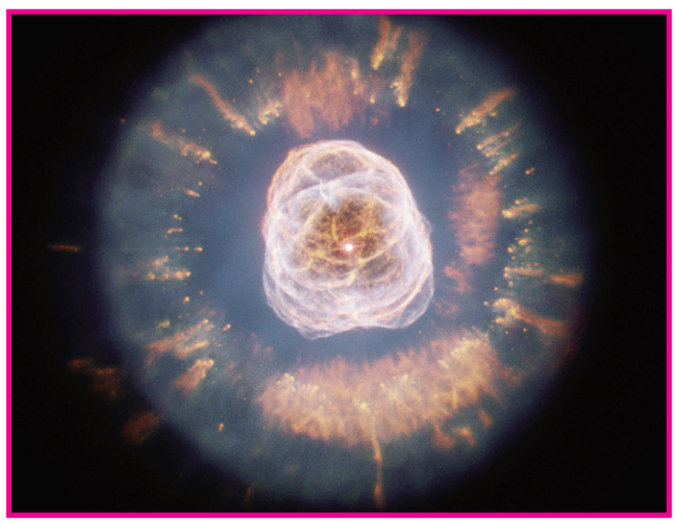
El consorcio CARMENES trabajó en estrecha colaboración con varios grupos internacionales líderes en dinámica y formación planetaria, pero los modelos más actualizados no permitían la formación de un planeta como el hallado en torno a GJ3512, y mucho menos dos.

Así se retomó otro posible escenario de formación de planetas, el "modelo de inestabilidad de disco", que defiende que los gigantes gaseosos pueden formarse directamente a partir de la acumulación de gas y polvo en el disco protoplanetario en lugar de requerir un núcleo "semilla". Un modelo que, hasta ahora, solo era compatible con un grupo reducido de planetas jóvenes, calientes y muy masivos situados a grandes distancias de su estrella anfitriona.

El hallazgo en torno a GJ3512 constituye el primer candidato de fragmentación de disco alrededor de una estrella de baja masa, y también el primero en ser descubierto por mediciones de velocidad radial.

La Nebulosa del Esquimal podría tener una compañera invisible

SE ENCUENTRA UNA VARIACIÓN PERIÓDICA EN LA EMISIÓN EN RAYOS X DE LA ESTRELLA CENTRAL DE LA NEBULOSA DEL ESQUIMAL



Las nebulosas planetarias constituyen una de las etapas finales en la vida de estrellas de masa baja e intermedia, como el Sol. Tras agotar su combustible, estas estrellas se desprenden de sus capas externas, que forman una envoltura de gas ionizado en torno a una estrella de tipo enana blanca. La Nebulosa del Esquimal (NGC 2392) no se trata solo una de las nebulosas planetarias más icónicas, sino también una de las más peculiares y enigmáticas: aparte de presentar una doble envoltura de gas, su estrella central es la más energética de entre todas las estrellas centrales de nebulosas planetarias con emisión en rayos X. Dicha emisión es muy difícil de explicar si su estrella central no se encontrara en un sistema binario (o múltiple). Sin embargo, las observaciones directas muestran una única estrella.

Mediante métodos de detección indirecta se han encontrado variaciones en la velocidad radial de la estrella central de NGC 2392, lo que indicaría que hay una compañera invisible orbitando alrededor de ella. Se han propuesto dos periodos orbitales distintos, uno de tan solo tres horas y otro de casi dos días.

Dicha emisión de rayos X presenta un periodo de 0.253 días (unas seis horas) que no coincide con los periodos previamente propuestos. El origen de esta modulación no resulta claro, pero podría indicar procesos de caída de material sobre una estrella compañera invisible o un disco de acreción en un sistema binario en el que cada periodo estaría relacionado con la rotación o la órbita de distintos componentes.

"Pareciera como si la estrella central de la Nebulosa del Esquimal tuviese una compañera mucho más caliente y con un viento estelar más poderoso" afirma Martín Guerrero (IAA-CSIC) investigador principal del estudio.

"Procesos de intercambio de materia entre las estrellas podrían explicar el chorro de gas que emana de la estrella central a doscientos kilómetros por segundo". De esta manera, este trabajo podría suponer una confirmación de la hipótesis de que en el centro de NGC 2392 existe un sistema múltiple.

Récord en producción de fotones de muy alta energía

SE PRODUJERON EN UNA EXPLOSIÓN DE RAYOS GAMMA (GRB), PRODUCTO DE LA MUERTE DE UNA ESTRELLA MUY MASIVA

Imágenes de la galaxia anfitriona y su compañera en interacción obtenidas con el telescopio espacial Hubble.

Las explosiones de rayos gamma (GRB) son estallidos cósmicos breves, repentinos y extremadamente potentes producidos por el colapso de estrellas masivas o por la fusión de estrellas de neutrones en galaxias distantes. Comienzan con un destello inicial muy intenso cuya duración varía entre una fracción de segundo y los cientos de segundos, seguido de un resplandor menos brillante en una amplia gama de longitudes de onda. El primer GRB detectado por los telescopios MAGIC, denominado GRB 190114C, revela por primera vez los fotones más energéticos detectados en estos eventos.

Los fotones detectados por MAGIC se hallan en el rango de los teraelectronvoltios (TeV), y son un billón de veces más energéticos que los de la luz visible.

DETECCIÓN CON MAGIC

El 14 de enero de 2019 los satélites espaciales Swift y Fermi descubrieron independientemente el estallido GRB 190114C. En veintidós segundos sus coordenadas en el cielo se distribuyeron a través de una alerta electrónica a astrónomos de todo el mundo, incluida la colaboración MAGIC, que opera dos telescopios de diecisiete metros de diámetro ubicados en La Palma.

Los telescopios MAGIC, que destacan por su rápida capacidad de apuntado, comenzaron a observar el GRB solo cincuenta segundos después del comienzo. El análisis de los datos obtenidos durante las primeras decenas de segundos convirtió a este evento en la fuente más brillante de fotones en el rango de los teraelectronvoltios (TeV).

El nivel de energía está muy por encima de lo que puede aportar la radiación sincrotrón, responsable de la

emisión observada a energías más bajas en estallidos anteriores y que es producida por electrones moviéndose a velocidades próximas a la de la luz en presencia de campos magnéticos.
El origen más probable de la emisión en teraelectronvoltios es el llamado proceso compton inverso, donde una población de fotones eleva significativamente su energía al chocar con electrones muy energéticos.

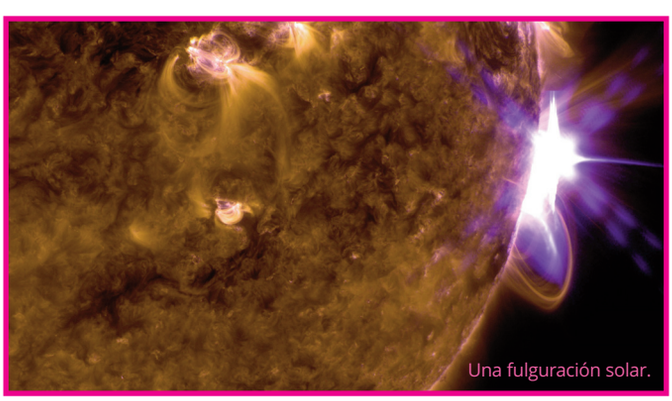
ENTORNO DEL ESTALLIDO

Investigadores del IAA han aportado una panorámica completa del entorno donde se produjo el GRB. "Hemos combinado datos de algunos de los observatorios más potentes del mundo, como el telescopio espacial Hubble, el Very Large Telescope (VLT) y ALMA –el mayor radiotelescopio del mundo– para explicar la radiación observada por MAGIC y para comprobar si la emisión de fotones tan energéticos en este GRB está relacionada con el entorno de la estrella que, al colapsar, produjo el estallido", señala Antonio de Ugarte Postigo, investigador del grupo HETH del IAA-CSIC que coordina el estudio.

Este grupo de investigadores pudo así determinar que el GRB se produjo en la región central de una galaxia que se halla en proceso de interacción con otra galaxia algo mayor y muy próxima, un proceso que desencadena intensos brotes de formación estelar. No solo la galaxia anfitriona del GRB es más masiva de lo habitual en estos fenómenos, sino que el entorno inmediato de la estrella en colapso es también más denso que el que presentan de media este tipo de estallidos. "Necesitamos estudiar el sistema en más detalle aún, pero un entorno tan denso ha podido ser crucial en la producción de los fotones ultraenergéticos detectados con MAGIC. Esperamos poder confirmarlo en los próximos estudios en los que estamos trabajando", indica de Christina Thöne, investigadora del grupo HETH del IAA que participa en los artículos divulgados hoy.
Además, investigadores del grupo ARAE del IAA-CSIC participaron en la campaña de seguimiento del evento con Gran Telescopio Canarias (GTC), y con su red de telescopios BOOTES.

Fulguraciones millones de veces más intensas que las del Sol

LA ESTRELLA KIC 9716385 PRESENTA, OCULTAS ENTRE SUS PULSACIONES, FULGURACIONES MILLONES DE VECES MÁS INTENSAS QUE LAS SOLARES


Una fulguración solar.

Las estrellas se clasifican en distintos tipos según su temperatura, en una secuencia –OBAFGKM– donde la O corresponde a las estrellas más calientes, con hasta treinta mil grados, y la M a los astros más fríos, cuya superficie no supera los tres mil grados. Hasta hace poco se pensaba que las estrellas más calientes no presentaban actividad estelar superficial como el Sol, que muestra manchas o fulguraciones (eventos explosivos que liberan, en minutos, la energía de millones de bombas de hidrógeno). Ahora, se ha hallado una estrella pulsante de tipo A que presenta, ocultas entre sus pulsaciones, fulguraciones varios millones de veces más intensas que las del Sol.
Se cree que el campo magnético solar, responsable de la actividad de nuestra estrella, se produce por una mezcla de factores, entre ellos la presencia de una zona convectiva, una capa que abarca el 30% más externo de radio del Sol, así como el distinto ritmo de rotación entre esta región y la contigua y más interna (la región radiativa).
"Hasta hace poco se pensaba que las estrellas con una temperatura por encima de los siete mil grados no podían presentar actividad estelar superficial ya que sus capas convectivas son demasiado delgadas para generar campos magnéticos suficientemente intensos", apunta Eloy Rodríguez, investigador del IAA que encabeza el trabajo.
Sin embargo, las observaciones proporcionadas por la misión espacial Kepler (NASA) han permitido detectar la existencia de actividad estelar superficial en gran número de estrellas calientes de tipo A, e incluso de tipo B, que en principio carecen de zona convectiva. Estas observaciones no solo sugieren la existencia de manchas en las superficies de estos tipos de estrellas calientes, sino que también se han detectado fulguraciones en algunas de ellas. "Esto indica la existencia de campos magnéticos superficiales en estos objetos, lo que contradice la teoría y nuestro conocimiento actual sobre estrellas con envolturas totalmente radiativas", señala Rodríguez (IAA).

FULGURACIONES ESCONDIDAS

El estudio, encabezado por investigadores del IAA-CSIC, se ha centrado en una muestra de estrellas observadas con Kepler en el cúmulo estelar NGC 6811, con observaciones en alta cadencia, de una observación cada minuto. Esto ha permitido detectar actividad estelar en un gran porcentaje de estrellas de tipo A presentes en el cúmulo, pero, además, ha revelado por primera vez fulguraciones ocultas entre las pulsaciones de una estrella variable, conocida como KIC 9716385.
Las pulsaciones estelares son variaciones periódicas en la luminosidad de una estrella, producidas por ondas de presión o de gravedad propagándose en su interior. En el caso de ID36, estamos hablando de una estrella variable de tipo Delta Scuti que muestra más de cien modos de pulsación.
"Solo cuando extrajimos, de las curvas de luz originales, las variaciones de luminosidad debidas a las pulsaciones, vimos claramente las fulguraciones. Detectamos diez fulguraciones a lo largo de los dieciocho meses de observación con Kepler, con una distribución irregular en el tiempo: pueden ocurrir dos o tres fulguraciones en pocos días seguidas largos periodos de inactividad", apunta María José López-González, investigadora del IAA-CSIC que participa en el estudio.

Por Matilde Fernández (IAA-CSIC)

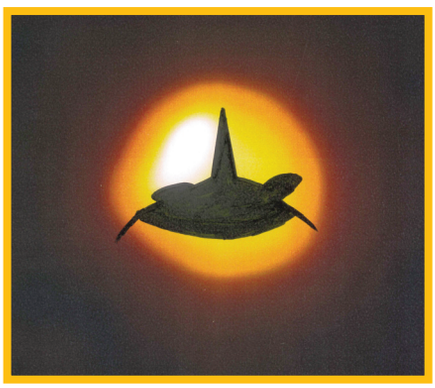
Un ejercicio de trigonometría

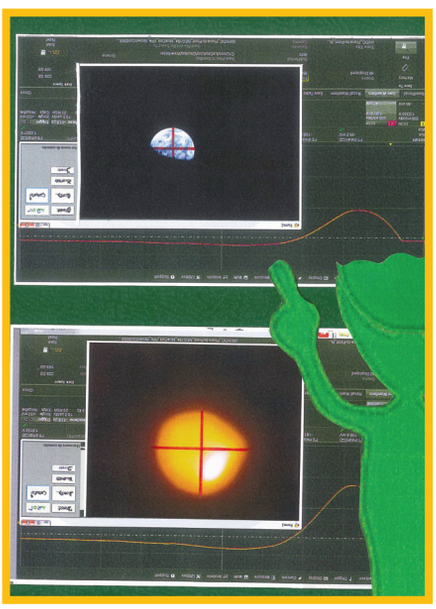
— Recuerden: a partir de ahora queremos una alineación perfecta —. Su voz resonaba en la cabina de la nave—. De esta forma, todos los terrícolas dirigirán sus telescopios hacia nosotros, pero nadie nos verá.

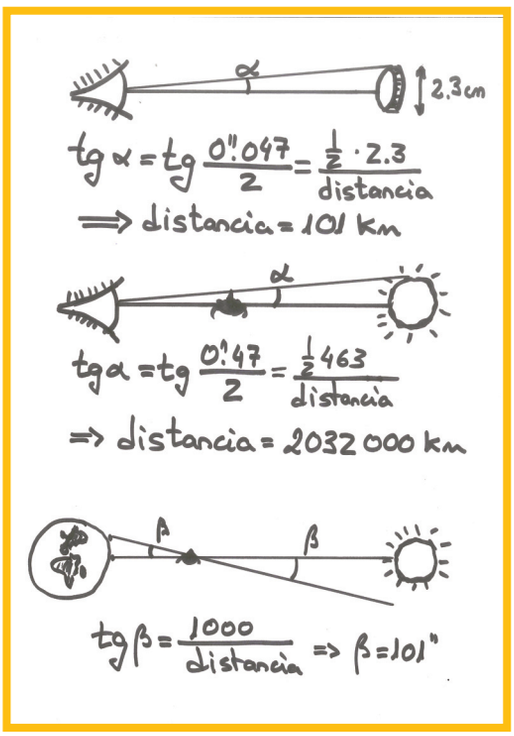
— Ha sido un plan perfecto, jefe. ¡Qué listos somos!

La nave mantenía ya su rumbo de forma automática, vigilando en todo momento la imagen de Betelgeuse en uno de los monitores y la de la Tierra en el otro. Los retículos iluminados tenían ambos astros en el centro de sus imágenes. Betelgeuse, por detrás, alejándose cada vez más, y la Tierra en frente.

— Solo van a notar que el brillo de la estrella se atenúa cada vez más, pero nosotros pasaremos desapercibidos.







En enero de este año, la estrella Betelgeuse había reducido su brillo en un factor 2.5 ¿A qué distancia de nosotros tendría que estar la nave de los alienígenas, que pretenden atacar la Tierra por sorpresa, para que la nave tape más o menos la mitad de la imagen de Betelgeuse? Supongamos que la nave tiene unas dimensiones parecidas a las de *Enterprise* de Star Trek: unos 700 metros de largo, 463 de ancho y 195 de alto. Solo nos interesan su anchura y su altura, porque vemos la nave de frente.

Betelgeuse es una supergigante roja cuyo diámetro aparente en el cielo es de unos 0.047 segundos de arco. Este diámetro se da en segundos de arco, que es una unidad usada para un ángulo, porque en realidad estamos hablando del ángulo que subtiende un objeto a cierta distancia. Por ejemplo, una moneda de un euro situada a unos cien kilómetros subtiende ese mismo ángulo de 0.047 segundos de arco. Es un ángulo muy pequeño. Recordemos que la Luna llena subtiende un ángulo de medio grado y que en un grado hay sesenta minutos y cada minuto tiene sesenta segundos. ¿Cómo se calcula lo de la moneda? Sabiendo que la tangente del ángulo alfa, marcado en el triángulo de la figura, es el cociente entre el cateto opuesto al ángulo y el cateto adyacente, que es la distancia que separa al observador de la moneda. Conocemos el ángulo, que es la mitad de 0.047 segundos de arco, y el tamaño de la moneda, que tiene 2.3 centímetros de diámetro, así que podemos despejar la distancia.

De la misma manera podemos colocar la nave a la distancia a la que subtiende el mismo ángulo que Betelgeuse. Tomaremos la anchura de la nave como dimensión de referencia, al igual que hicimos antes con el diámetro de la moneda. Como la nave es más ancha que alta tapará solo parcialmente la estrella, que es lo que queremos. El ángulo es alfa, que ya conocemos, y ahora la distancia que obtenemos es de 2.032.000 kilómetros, que es cinco veces la distancia a la Luna. La verdad es que para los estándares espaciales los alienígenas están a la vuelta de la esquina. Pero un momento: cuando un asteroide oculta una estrella, numerosos astrónomos aficionados y profesionales tratan de observar la ocultación y, desafortunadamente, el evento solo es visible desde una franja sobre la superficie de la Tierra (ver Santos Sanz 2018, IAA 56, p.10).

¿Qué pasaría si un observador situado mil kilómetros al norte de nuestra posición mirase en la dirección de la nave alienígena? ¿La vería también proyectada sobre Betelgeuse? Hagamos los cálculos. Ahora tenemos la distancia a la nave y el lado menor del triángulo y queremos calcular el ángulo. Ese ángulo es de unos 101 segundos de arco, que es mucho, mucho mayor que el diámetro aparente de Betelgeuse, es decir, la imagen de la nave quedaría proyectada en el cielo mucho más al sur que Betelgeuse. No la taparía. Es decir, que la nave alienígena no puede ocultar parcialmente Betelgeuse para todos los observadores de la Tierra al mismo tiempo, si está a cinco veces la distancia que nos separa de la Luna. Para que apareciese proyectada sobre la estrella para todos los terrícolas a la vez, la nave tendría que estar cien veces más lejos que el Sol, pero a esa distancia su tamaño aparente en el cielo sería tan pequeño que ocultaría una fracción minúscula de Betelgeuse y ni siquiera con los satélites espaciales más precisos seríamos capaces de medir, hoy en día, la disminución de brillo de la estrella.

¡Que no te engañen! ¡Haz los números!

Por Josefa Masegosa (IAA-CSIC)

Los objetos más luminosos del universo: las galaxias activas

PILARES

El descubrimiento de los cuásares, el primer tipo de galaxia activa observado, guarda relación con la evolución de la radioastronomía. En 1932, Karl Jansky detectó señales de radio de origen desconocido, pero su falta de formación en astrofísica (era ingeniero) y el freno a la inversión que supuso la Gran Depresión impidieron nuevos progresos en el campo. Finalmente, Jansky pudo demostrar que dichas señales estaban asociadas al centro de la galaxia y, en 1946, Hey, Parsons y Phillips mostraron que también había fuentes en el espacio que emitían señales en radiofrecuencias, como Cynus A. Algo más tarde, en 1954, Baade y Minkowsky hallaron la contrapartida óptica a Cygnus A, situada a unos seiscientos millones de años luz, que constituyó la primera radiogalaxia descubierta.

A partir de entonces, los radioastrónomos emprendieron campañas frenéticas para buscar más objetos, y Brown dividió las radiofuentes en dos categorías: Clase I para las que mostraban emisión extendida, a las que atribuyó un origen galáctico, y Clase II para las más compactas, de origen extragaláctico. El primer catálogo de fuentes de radio se lo debemos a Edge y Bennett. Este grupo, de la universidad de Cambridge, se propuso confirmar la naturaleza de las radiofuentes en el catálogo 3C, y en 1960 Alan Sandage descubrió que el objeto 3C48 mostraba un espectro con líneas muy anchas que no fue capaz de identificar, y que describió como una estrella cercana con propiedades muy particulares. Aunque 3C48 fue el primer cuásar detectado, fue Marteen Schmidt quien, en 1963, se dio cuenta de que el espectro de 3C273 era parecido al de 3C48, y que estas líneas anchas podrían ser líneas de hidrógeno, pero desplazadas al rojo (el corrimiento al rojo viene provocado por la expansión del universo y el distanciamiento progresivo de las galaxias: la luz tiende al rojo del espectro en caso de distanciamiento y al azul si emisor y receptor se acercan). El descubrimiento de Schmidt suponía que 3C48 se alejaba de nosotros a una velocidad de 47.000 kilómetros por segundo -más de un décimo de la velocidad de la luz- y se encontraba a tres mil millones de años luz de distancia.

Seis semanas después, la revista *Nature* publicó tres artículos con dicho descubrimiento. En su momento, este hallazgo fue tan relevante que Maarten Schmidt fue portada de la revista *Time*. Estas fuentes eran, como mínimo, diez veces más brillantes que la galaxia más brillante conocida, lo que motivó una fuerte controversia sobre el origen del corrimiento al rojo protagonizada por el grupo de Cambridge, con sus máximos exponentes Margaret Burbidge y Geoffrey Burbidge. La cuestión que se discutió era que, para poder rebajar la luminosidad de los cuásares, la única alternativa era que el corrimiento al rojo no tuviera un origen cosmológico, sino que fuera de origen gravitacional. Resultó demasiado provocativa la pretensión de los Burbidge de que las galaxias estuviesen viviendo fenómenos explosivos en sus núcleos, algo que para ellos resultó inmediatamente evidente al publicarse el hallazgo de las galaxias seyfert, similares a los cuásares.

Cuando yo comencé mi carrera en astronomía, en 1983, ya se habían descubierto unas pocas galaxias con núcleos activos, se hablaba de que tenían minicuásares en el núcleo y empezaba a usarse el término núcleo activo de galaxia (o AGN, del inglés *Active Galactic Nuclei*). Y se constató que las galaxias activas son los objetos más energéticos del universo: sus luminosidades eran desde miles hasta millones de veces más brillantes que las de las galaxias normales y sus núcleos, muy compactos (no resueltos en las placas fotográficas), eran mucho más luminosos que toda la galaxia. Algunos de ellos eran fuertes emisores en radiofrecuencias y mostraban chorros y lóbulos de material muy extendidos y, lo que yo considero su propiedad más fascinante, emitían en todo el espectro electromagnético. De forma que se unificaron los *lambda-astrónomos* (astrónomos que solo estudian un rango del espectro electromagnético, a saber astrónomos ópticos, radioastrónomos, astrónomos de rayos X, etc) y el hecho de que emitan hasta en frecuencias X y gamma nos indica que estamos ante fenómenos que implican grandes cantidades de energía, con temperaturas asociadas de millones y billones de grados. Todas estas emisiones son además variables en periodos muy cortos, lo que nos da una idea de que la zona emisora es muy reducida, del tamaño del Sistema Solar. Así pues, a lo largo de estos años se han identificado mayoritariamente usando todo el espectro electromagnético.

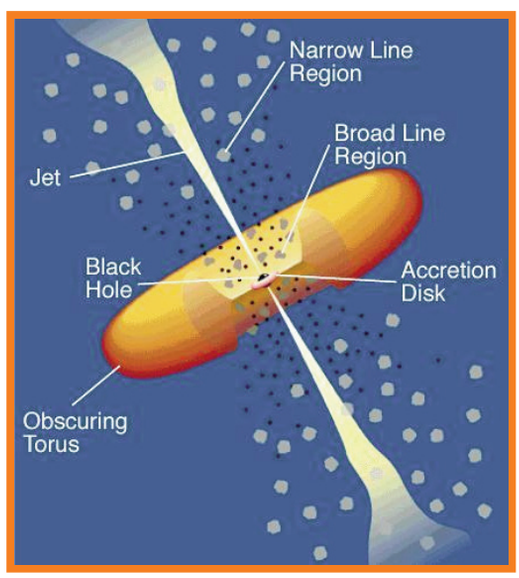


Imagen compuesta que muestra el

Desde el comienzo, la dificultad principal ha residido en la gran cantidad de nombres usados para el mismo fenómeno, que también tiene que ver con el lambda-astrónomo correspondiente y encontramos esta variedad de objetos. Así que la pregunta a plantearse era sobre la fuente de energía, y solo el acrecimiento de material sobre un agujero negro es lo bastante eficiente para emitir

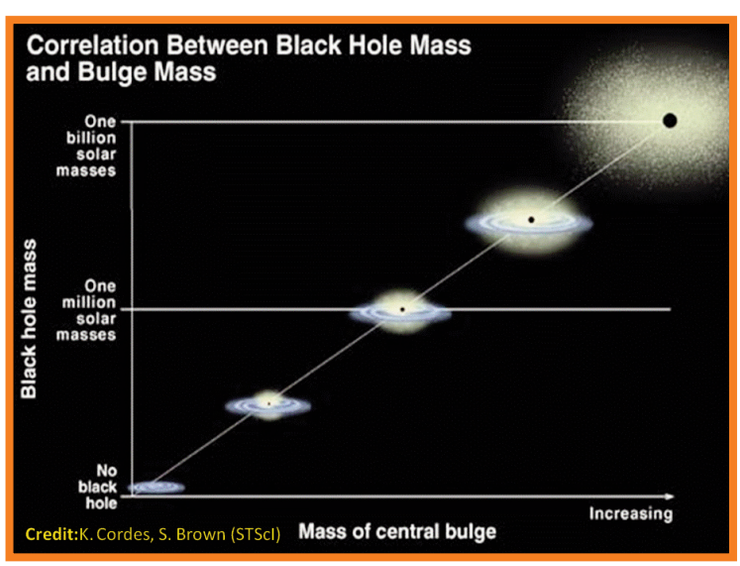
tanta luz, un escenario que explicaba además la emisión en frecuencias muy energéticas. Alrededor del agujero negro hallaríamos un disco de materia que gira a velocidades relativistas y que alimenta el agujero negro, aumentando su masa.

Al encontrarnos esta amplia variedad de nombres y situaciones astrofísicas se trabajó para entender por qué se veían diferentes: unos tenían líneas más anchas que otros, unos emitían mucho en radiofrecuencias y otros no… El astrónomo infrarrojo Michael Rowan-Robinson propuso que habría que tomar en cuenta la presencia de polvo y, en 1987, Andy Lawrence explicaba la dicotomía entre las galaxias seyfert 1 y seyfert 2 con efectos geométricos y de oscurecimiento por polvo. En el trabajo de Megan Urry y Paolo Padovani se visualiza como un dónut (imagen página contigua): un agujero negro supermasivo rodeado por un disco de acrecimiento del que, si las condiciones son las adecuadas, podría emerger un chorro relativista magnéticamente confinado observable en radiofrecuencias y que, dependiendo del ángulo de visión, lo clasificaríamos como seyfert 1 o seyfert 2. Las observaciones multifrecuencia de Centaurus A indican que estamos bastante cerca de la realidad (imagen izquierda).

Así pues, consideraremos como evidencias de la existencia de un núcleo activo (AGN) la dinámica de la materia cerca del núcleo, la variabilidad, los chorros de material en radiofrecuencias y las anchuras de las líneas de emisión.

INCERTIDUMBRES

Y por qué son tan importantes los AGNs. Por un lado, nos permiten tener acceso al universo temprano. El cuásar más lejano conocido se encuentra a unos 29 000 millones de años luz, y emitió su luz cuando el universo tenía solo 690 millones de años, en torno a un 5% de su edad actual. Así, estos objetos nos permiten conocer épocas remotas de la historia del universo. La segunda razón importante reside en la constatación, en el año 2000 por Laura Ferrarese y David Merritt, de la relación más importante en los cuásares desde su descubrimiento, la relación entre la masa de las galaxias y los agujeros negros supermasivos de los núcleos (ver imagen). Este descubrimiento ha puesto de manifiesto que todas las galaxias albergan agujeros negros en sus núcleos. En unos casos están activos y detectamos su presencia, y en otros se hallan en letargo y no muestran evidencias de su existencia.



Las razones por las que se enciende la actividad es uno de nuestros objetos de estudio, lo que impone fuertes limitaciones a los modelos de formación y evolución de las galaxias. Para que el agujero negro esté activo se tienen que dar dos condiciones: que exista material para alimentarlo y que haya un mecanismo eficiente para transportar dicho material hacia el núcleo. La interacción gravitacional entre galaxias ha sido sugerida como uno de los mecanismos posibles. El otro modelo propuesto es la evolución secular de las galaxias: una galaxia empieza como espiral y, debido a perturbaciones, se podrían generar inestabilidades tales como barras (estructuras alargadas que se extienden a ambos lados del núcleo) que dan lugar a la pérdida de momento angular y a la acumulación del gas en el núcleo, lo que alimentaría el agujero negro.

Este aspecto de las galaxias activas, es decir, su relación entre galaxias muy activas tipo cuásar y las normales ha hecho que enfoquemos nuestra atención en las galaxias tipo LINER, que de alguna manera podrían resolver este puzle. Después de largos años de debate desde su descubrimiento, por Timothy Heckman en 1980, se ha puesto de manifiesto que comparten la mayoría de las propiedades asimilables a una galaxia activa: variabilidad, emisión de alta energía en rayos X y gamma o chorros relativistas en radiofrecuencias. La mayor diferencia con sus parientes activos, las galaxias seyfert y los cuásares, hay que buscarla en el mecanismo de acrecimiento, que es altamente ineficiente para los LINERs y muy eficiente para las galaxias más activas, aunque comparten agujeros negros de masas similares. Representan, por tanto, en la actualidad uno de los mayores retos de estudio ya que entender este proceso nos haría entender por qué se apaga y se enciende la actividad galáctica y, por lo tanto, la evolución general de las galaxias.

por Miguel Abril (IAA)

La bella bioquímica

Los caminos de un articulista que escribe cada tres meses son inescrutables. Para este número me estaba debatiendo entre un espectacular "¿Por qué Elon Musk va a llevarnos a Marte y la NASA no?" y una presentación de la tecnología que ha conseguido la fabulosa hazaña de hacerle una foto a un agujero negro que queda, hablando en términos astronómicos, en la Cochinchina. He utilizado esta expresión, en lugar de las más descriptivas "donde Cristo dio las tres voces" o "donde Napoléon perdió el gorro" para hacer hincapié en que he puesto Cochinchina, que es una región de Vietnam, y no Conchinchina, que no existe. Para que luego vayáis diciendo por ahí que no aprendéis nada en esta sección. Sin embargo, antes de ponerme a escribir entré en una página web de ciencia y tecnología y encontré una noticia que claramente relegaba a las otras dos ideas a la lista de espera. El titular era: "Por primera vez, una científica es elegida Miss América". Y esto había que comentarlo, aparte de como homenaje a Camille Schrier, que es el nombre de la bella a la par que inteligente ganadora, como reflexión sobre el alcance de los medios de comunicación en la divulgación del conocimiento. Llevo unos quince años hablando de ciencia y tecnología en distintos medios y formatos, y en este tiempo espero haber conseguido hacer atractivas lo que ahora se conocen como disciplinas STEM a diez o doce jovenzuelos. Como contrapartida, hace unos meses mi hijo me anunció que había decidido estudiar Derecho con matices de Filosofía, Política y Economía, y como de pequeño le iban las ciencias presiento que el cambio se produjo cuando vio a su padre vestido de calamar alienígena. Espero que este sea un caso aislado y que las vocaciones que he ayudado a crear superen a las que he destruido. En cualquier caso, no cabe ninguna duda de que me muevo en unos números ínfimos comparados con cualquier emisión de una cadena nacional en horario de máxima audiencia.

Mientras sus competidoras bailaban o cantaban, Camille presentó en su concurso de talentos la reacción altamente expansiva del agua oxigenada al descomponerse. Puede sonar un poco a trampa, porque eso más que ciencia es efectismo, pero probablemente esos pocos segundos grandiosos sirvieran para atraer hacia el lado oscuro a muchos niños (en este caso, especialmente niñas) que de otro modo ni se lo habrían planteado. Igual que sucede con otros programas de corte generalista en los que se presenta ciencia primando la espectacularidad sobre la rigurosidad, pero que gracias a sus audiencias despiertan más vocaciones que muchos esforzados profesores de instituto durante toda su carrera. Sí, es cierto que la vida real de un científico no es provocar explosiones, sino pelearse con artículos, fórmulas, revisores, directores de tesis, noches sin dormir… pero cuando esos inocentes jovenzuelos se den cuenta ya habremos echado la llave del laboratorio con ellos dentro (¡MUA JA JA JA JAAAAAAAÁ…!). Y es posible que, una vez metidos en faena, descubran que sí, que vale la pena pasar por tantos sacrificios si al final todo ese esfuerzo y perseverancia les sirven para entender un trocito de cómo funciona el universo.

En su alegato final, la ganadora dijo que "ya no hay que ser guapa para ser Miss América". Y, aunque por estos lares nos parezca muy lejano ganar un concurso de Miss Loquesea sin ser al menos mona, es posible que en los Estados Juntitos no sea así, ya que el concurso se orienta cada vez más hacia el talento y el desempeño profesional y menos hacia la belleza puramente física.

Pero, ya que estamos con concursos de belleza, vamos a hablar de la tecnología aplicada al aspecto físico y a la salud del ser humano. Para ello, os propongo un sencillo ejercicio mental: imaginaos que sois un vendedor de repollos de la Edad Media y os teletransportáis a la actualidad por una brecha espacio-temporal. ¿Cómo nos veríais a los humanos de hoy en día? Probablemente os sorprendería la gran cantidad de ancianos caminando por la calle. Pero ancianos ancianos, no como los vuestros de cuarenta años. Os pareceríamos muy altos, y probablemente gordos en general, aunque os quedaríais impresionados por el porte de alguno de esos que van al gimnasio y no comen roscón en Navidad. Os llamaría la atención ver tanta gente con gafas, incluso si en vuestro tiempo ya había privilegiados que las usaban. Pero sobre todo os pareceríamos muy guapos, no solo por lo altos y saludables, sino por nuestros cabellos limpios y bien peinados, por

Figura en 3D del autor caracterizado como Mariano el Calamariano, más que probable causa de que su hijo decidiera estudiar letras puras.

nuestros dientes blancos y ordenaditos y por la sorprendente redondez del pecho de algunas mujeres. Todo esto gracias a una mejor higiene (Pasteur ya demostró que un buen lavado de manos puede salvar más vidas que una vacuna, y en la Edad Media sois bastante guarros, perdonad que os diga), investigaciones en salud y longevidad, avances en medicina estética y desarrollo de las tecnologías necesarias para aplicar todo esto.

Y, ¿cómo veríamos nosotros a los humanos si nos teletransportaran milagrosamente al año 2200? Seguramente nos sorprendería la cantidad de dispositivos electrónicos que llevarían implementados en su propio organismo, aunque espero que no hasta el punto de que los cíborgs se conviertan en una nueva raza dominante, como vaticinan algunos visionarios. También nos llamaría la atención, igual que a nuestro visitante de la Edad Media, el gran número de ancianos. Según aseguran los expertos, no solo habrá muchos más que ahora, sino que serán mucho mayores. "Me temo que, por desgracia, pertenezco a la última generación que va a morir", ha llegado a decir el profesor Gerald Sussman, del MIT. Vale, igual se pasó un poco. Además, a pesar de ser uno de esos expertos-en-un-montón-de-cosas, sus campos de investigación no están directamente relacionados con la medicina, sino con la inteligencia artificial. Pero hay muchas otras declaraciones por el estilo, como que vamos a asistir a la muerte de la muerte, o que esta será opcional en 2045. Y eso lo dijo José Luis Cordeiro, que sí que es una autoridad mundial en la materia (al menos se hace llamar a sí mismo "futurista y transhumanista", que suena a muy experto). En cualquier caso, incluso si no se consigue vencer a la muerte, es seguro que habrá, como diría Rajoy, *muchosh ancianosh y muy ancianosh*. Aunque tal vez ya no se les llamará así, ya que el objetivo no es solo aumentar la esperanza de vida sino hacerlo conservando el vigor de la juventud. Para ello no existirá una fórmula mágica, sino una combinación de distintas tecnologías. Así, se utilizarán células madre e ingeniería de tejidos para crear nuevos órganos (en muchos casos utilizando impresoras 3D biológicas) cuando estos se desgasten o enfermen. Además se utilizarán terapias génicas para modificar los genes que pueden frenar el proceso de envejecimiento. También se utilizarán nanosensores para detectar enfermedades como el cáncer años antes de que se conviertan en un problema, y nanomáquinas capaces de identificar las células malignas (o los virus o bacterias invasores de otras enfermedades) y atacarlas con la dosis precisa de medicamento, eliminando los efectos secundarios de las agresivas terapias actuales. Estas tecnologías se complementarán con la ingestión regular de cócteles de proteínas y enzimas diseñados para potenciar los mecanismos de reparación celular, regular el metabolismo, poner en hora el reloj biológico y reducir la oxidación. Claro que para sacarle el máximo rendimiento a toda esta tecnología que ya está en marcha, además será necesario –hay cosas que no cambian– mantener un estilo de vida saludable, basado en el ejercicio y la dieta sana. Lo siento.

Ni que decir tiene que, además de jóvenes y lozanos, seremos cada vez más guapos. Las consultas estéticas, igual que las médicas, serán virtuales, y se utilizará inteligencia artificial para dar con el tratamiento personalizado más adecuado a cada paciente. Los tratamientos dentales y ortodoncias, que hasta hace pocos años no estaban al alcance de cualquier bolsillo, cada día serán más eficaces y asequibles. La cirugía estética, sin embargo, se irá reduciendo poco a poco para dar paso a métodos menos agresivos. La que se siga practicando será menos invasiva y utilizará tecnologías avanzadas, como microimplantes para el hueso de la mandíbula, que se abren al ser inyectados produciendo un efecto tensor en la piel. En definitiva, llegaremos a viejos, muy viejos… pero no lo pareceremos. Entre otras cosas, porque no quedará ni un calvo. Por lo menos en Turquía. ¿Las malas noticias? En el año 2200 la edad de jubilación igual es de 180 años. ¿Qué pensabais, que los políticos no se iban a dar cuenta de todo esto?

Camille Schrier, durante el experimento que presentó en el concurso Miss América. La investigadora, que realiza su doctorado en farmacia en la *VCU School of Pharmacy*, dedicará el próximo año a abogar por la educación en ciencia y tecnología (especialemente en niñas) y a divulgar sobre la prevención del abuso de medicamentos.

AGENDA ...

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA CICLO LUCAS LARA

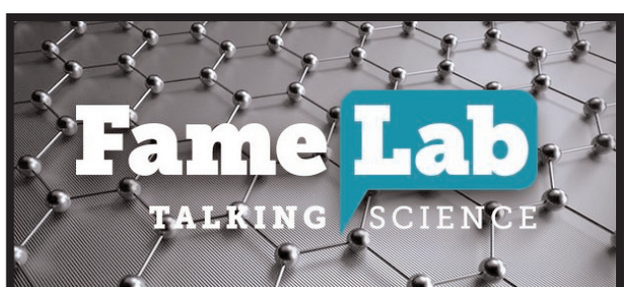
Sesiones de divulgación que se celebran, cada último jueves de mes, en el Instituto de Astrofísica de Andalucía. Pueden seguirse por streaming a través de: www.youtube.com/iaaudc
Todas las sesiones están disponibles en la web del IAA.

http://www.iaa.es/lucas_lara

DESTACADOS ...

EL IAA, EN FAMELAB

FameLab España, el certamen internacional de monólogos científicos organizado en nuestro país por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) y el British Council, ya tiene a sus doce semifinalistas, entre quienes se encuentra Alicia Pelegrina, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).
La semifinal se celebrará el 13 de marzo y se retransmitirá en directo en los canales de Youtube y Facebook de FECYT.

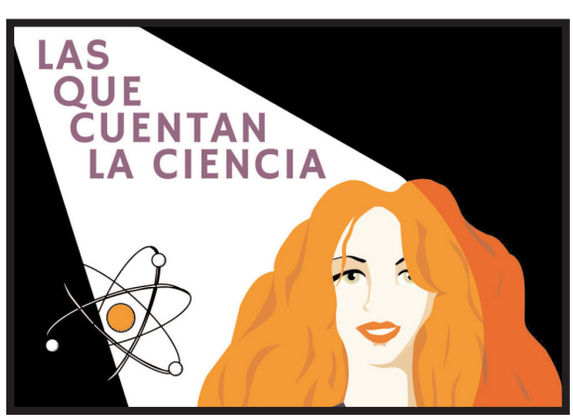


www.famelab.es

NAUKAS CÓRDOBA

Ya están disponibles todas las sesiones de Naukas Córdoba de la edición 2020. Coorganizado por la Unidad de Cultura Científica de la Universidad de Córdoba (UCO) y por la plataforma de divulgación Naukas, once científicas y divulgadoras desarrollaron un programa de actuaciones en las que se siguieron los principios de la plataforma Naukas -ciencia, escepticismo y humor-, en una edición en la que el hilo narrativo han sido "los finales".

https://bit.ly/39othN2



EL RADIOSCOPIO

radioscopio.iaa.es

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

CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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