



INFORMACIÓN Y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

revista.iaa.es

OCTUBRE DE 2018, NÚMERO 56

La ley de Hubble-Lemaître

rebautizando la ley de la expansión del universo

Dos maneras de mirar al pasado

Guiños estelares desde los confines del Sistema Solar

Imagen fondo: NASA/CXC/M. Weiss

INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

<http://www.iaa.es>

Directora: Silbia López de Lacalle. Comité de redacción: Antxon Alberdi, Carlos Barceló, René Duffard, Emilio J. García, Pedro J. Gutiérrez, Susana Martín-Ruiz, Enrique Pérez-Montero, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle.

Se permite la reproducción de cualquier texto o imagen contenidos en este ejemplar citando como fuente "IAA: Información y Actualidad Astronómica" y al autor o autores.

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

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

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

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).

SUMARIO

REPORTAJES

La ley de Hubble-Lemaître...3

Dos maneras de mirar al pasado...7

Guiños estelares desde los confines del Sistema Solar...10

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Electricidad atmosférica: pasado, presente y futuro ...12

EL "MOBY DICK" DE... Mirjana Povic (IAA) ...14

CIENCIA EN HISTORIAS...El buen linaje y el horror ... 15

ACTUALIDAD ...16

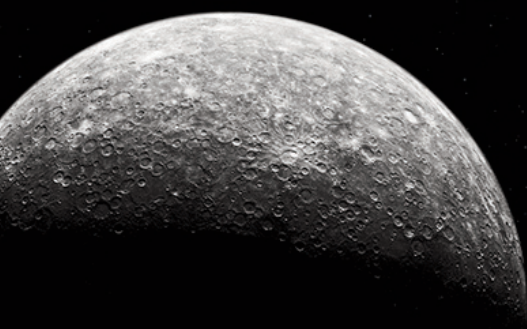
SALA LIMPIA ...21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Segregación espacial en nubes moleculares:
¿masa o densidad? ...22

BEPICOLOMBO, CAMINO A MERCURIO

El 20 de octubre se lanzaba con éxito BepiColombo, una de las misiones clave de la Agencia Espacial Europea (ESA), que busca estudiar la composición, la geofísica, la magnetosfera y la historia de Mercurio, uno de los planetas menos explorados del Sistema Solar.

El IAA participa en la misión BepiColombo desde su inicio como parte del consorcio internacional formado por científicos y técnicos de Suiza, Alemania y España y que ha sido el responsable de desarrollar el instrumento BeLA (acrónimo en inglés de *BepiColombo Laser Altimeter*), un altímetro láser cuyo diseño y construcción recae por primera vez en Europa.



La ley de Hubble–Lemaître

LA ASAMBLEA GENERAL DE LA UNIÓN ASTRONÓMICA INTERNACIONAL (IAU) DEBATE LA PROPUESTA DE CAMBIAR LA LEY DE HUBBLE, RELATIVA A LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO, POR LA LEY DE HUBBLE–LEMAÎTRE, PARA HACER JUSTICIA AL TRABAJO DE GEORGES LEMAÎTRE, UNO DE LOS PADRES DE LA COSMOLOGÍA RELATIVISTA*

Por Emilio J. Alfaro (Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC)

VEAMOS, ¿QUÉ RESULTADOS CIENTÍFICOS COLOCAN A ESTE JESUITA EN EL PARNASO DE LA COSMOLOGÍA? PUES NADA MÁS Y NADA MENOS QUE LA PRIMERA PROPUESTA DE UN UNIVERSO EN EXPANSIÓN, basada tanto en resultados teóricos como observacionales; así como la primera medida publicada de la constante de Hubble¹, y el corolario de un origen temporal del universo, desde lo que él denominó el átomo primordial, y que hoy todos conocemos como el Big Bang. ¡Ah!, ¿pero el de la constante de Hubble no era Hubble? Veremos. A decir verdad, la primera solución de



Arriba, Edwin Hubble. Debajo, Georges Lemaître.

las ecuaciones de Einstein que llevaban a un universo en expansión fueron publicadas por Willem de Sitter en 1917, pero era un universo sin masa. Posteriormente, el físico ruso Aleksandr

A. Friedman publicó, en 1922 y 1924, sendos trabajos en la revista alemana *Zeitschrift für Physik* donde resolvía las ecuaciones de Einstein para diferentes condiciones iniciales, una de las cuales

* En 2016, con motivo del cuadragésimo aniversario del fallecimiento de George Lemaître y de la aparición del libro *Tras el Big Bang: Del origen al final del Universo*, escrito por Alberto Fernández Soto (Observatorio Astronómico, Universidad de Valencia), publiqué sendos artículos sobre la aportación de monseñor Lemaître a la cosmología relativista, en la página web de la Fundación Descubre dedicada a la astronomía *elseptimo cielo*. La Asamblea General de la IAU, celebrada en Viena el pasado agosto, puso sobre la mesa el posible cambio de nombre de la ley de Hubble a ley de Hubble-Lemaître. Con tal motivo, Silbia López de Lacalle sugirió la conveniencia y oportunidad de reproducir ambos artículos (reconvertidos a uno) a la vez que se daba la noticia en la revista IAA. Acepté encantado, sobre todo porque Silbia ha realizado todo el trabajo de síntesis.

1. Entonces obviamente no se denominaba así, pero medía exactamente lo mismo: la relación entre la variación temporal del radio respecto al radio en el universo. Las unidades son (km/s)/Mpc, donde Mpc es un megapársec, es decir, un millón de pársecs (un pársec equivale a 3.26 años luz).

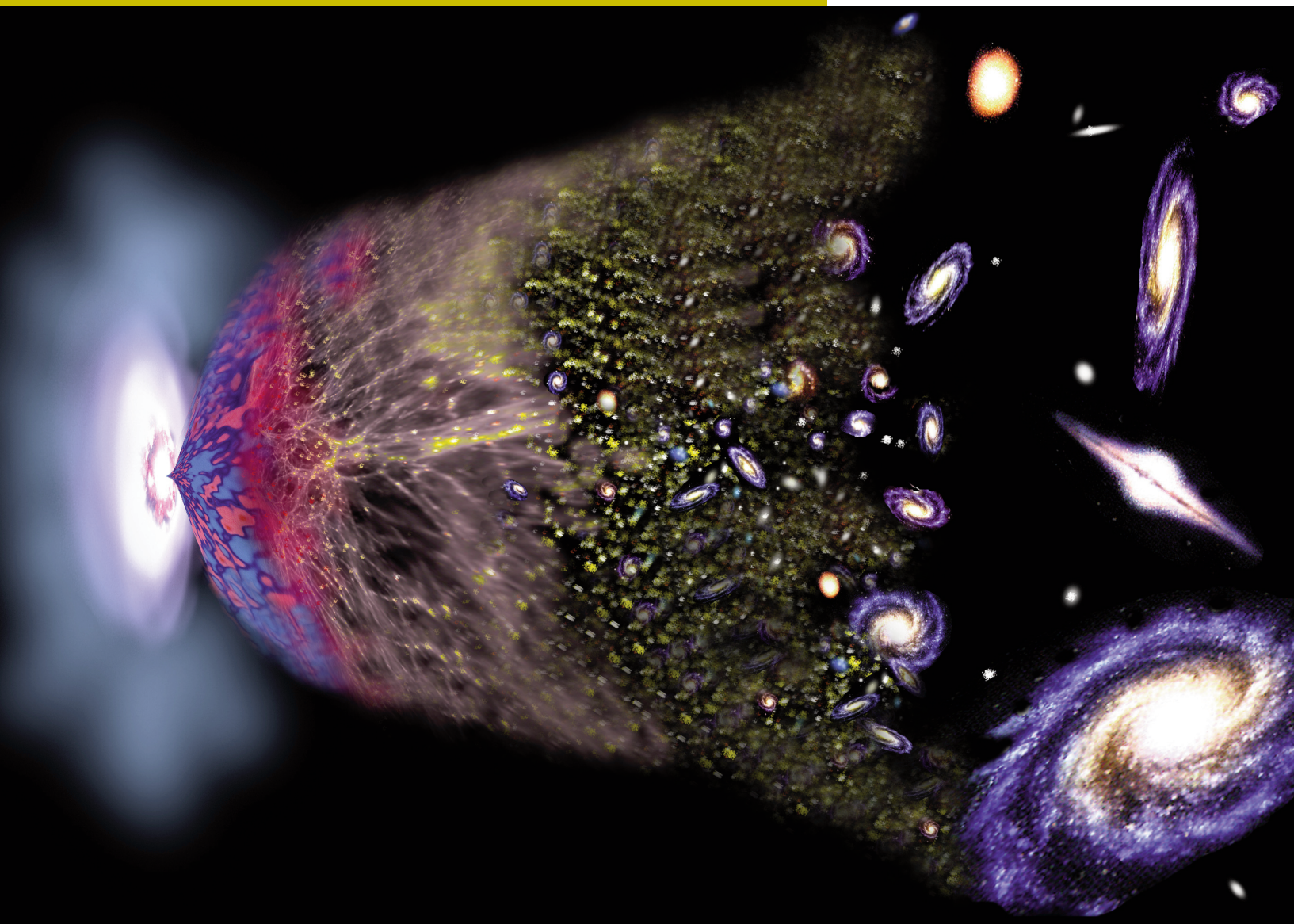


Ilustración de la historia del universo, desde el Big Bang a la época actual.

conducía a la expansión del espacio. Varias causas llevaron a que estos resultados no tuvieran el impacto que se merecían: entre otras, el rechazo visceral de Einstein a un universo en expansión, y la temprana muerte de Friedman a los treinta y siete años, solo un año después de la publicación de 1924. Alguien tomó el relevo.

Lemaître: astronomía y relatividad

Lemaître estudió física y matemáticas en la Universidad Católica de Lovaina, y posteriormente se ordenó sacerdote en 1923. Ese año recibió varias buenas noticias, ya que le fueron concedidas dos becas, una del gobierno belga y otra de una fundación norteamericana, y fue admitido como investigador en astronomía en la Universidad de Cambridge (Inglaterra). Allí conoció a Eddington, a la sazón director del departamento de astronomía, con quien compartió trabajo

Lemaître lleva el método científico a su plena realización y, además, establece el corolario lógico de que tuvo que haber un origen temporal donde el espaciotiempo fuera solo un punto matemático, una fértil singularidad

y amistad. Sus estudios empezaron a aunar astronomía y relatividad, un tema muy querido por su mentor, quien, por así decirlo, fue pionero de esta disciplina: no olvidemos que fue Eddington quien utilizó el eclipse solar de 1919 para comprobar que la luz se curvaba en las cercanías de una estrella (el Sol en este caso), como predecía la teoría de la Relatividad General publicada en 1915. Al año siguiente Lemaître se trasladó a

Cambridge (Massachusetts) donde se introdujo aún más en la astronomía observacional, y conoció de primera mano los trabajos de Shapley acerca del tamaño de nuestra Galaxia y las primeras medidas de velocidades radiales de nebulosas espirales no galácticas obtenidas por Slipher y Strömberg que mostraban un corrimiento al rojo sistemático: todas se alejaban de nosotros. De vuelta a Bruselas, Lemaître acometía la resolución de las ecuaciones de la Relatividad General para un universo con masa (en oposición a de Sitter) y sin la introducción de una constante cosmológica *ad hoc* que necesariamente aboque a un universo estacionario (la solución de Einstein). Así llega a la solución de una expansión cósmica con una métrica bien definida, que hoy recibe el nombre de métrica de Friedman-Robertson-Walker-Lemaître en su forma extendida, o cualquier otra posible combinación de uno, dos, o tres elementos de la misma con permutaciones, dependiendo de quién la cite. Pero lo interesante de este artículo no es solo la solución teórica y el establecimiento de la métrica, que ya había sido propuesta anteriormente por

Friedman, sino que compara su modelo con la realidad física, busca las mejores observaciones disponibles y establece la relación empírica entre velocidad a lo largo de la línea de visión y distancia para medio centenar de galaxias, con el objetivo de mostrar que su solución teórica tiene una contrapartida observable en el cosmos. Lleva el método científico a su plena realización y, además, establece el corolario lógico de que tuvo que haber un origen temporal donde el espaciotiempo fuera solo un punto matemático, una fértil singularidad, un huevo cósmico de dimensión cero. En la introducción a su publicación, que él llama Generalidades, se puede leer, "... parece deseable encontrar una solución intermedia [entre la de de Sitter y la de Einstein] que combinara las ventajas de ambas". Así lo hizo y, además, estimó por primera vez un valor de la constante de Hubble (H) de 575 (km/s)/Mpc.

Dos artículos de distinto calado

Este artículo fue publicado en 1927 en los *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, escrito en francés y sin ninguna referencia al trabajo de Friedman. Dos años más tarde, Hubble publica su célebre trabajo en los Anales de la Academia Nacional de Ciencia de Norteamérica (PNAS en sus siglas inglesas), donde determina un valor de $H=500$ (km/s)/Mpc. No referencia el trabajo de Friedman ni el de Lemaître y la única alusión a las soluciones de la ecuación de Einstein se limita al universo de de Sitter². Solo al final, y levemente, postula una posible explicación cosmológica a la relación que había encontrado: "El hecho asombroso es, sin embargo, la posibilidad de que la relación entre velocidad y distancia pueda representar el efecto de de Sitter y que a partir de ahora podamos discutir con datos numéricos sobre la curvatura general del espacio".

¿Qué diferencias hay entre ambos artículos? Dos bien claras: el trabajo de Hubble es la obra de un astrónomo centrado en la observación y la experimentación, cuya principal preocupación es realizar un análisis adecuado de la correlación observada. Para ello utiliza diferentes modelos de ajuste y distintas técnicas estadísticas que le permiten evaluar la bondad del mismo y la incertidumbre de los parámetros observados,

2. Recordemos que esta solución requiere la hipótesis de un universo sin masa, un universo realmente pobre.

RESOLUCIÓN B4, propuesta por el Comité Ejecutivo de la IAU UNA REPARACIÓN HISTÓRICA



La XXX Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional, considerando:

1. Que el descubrimiento de la aparente recesión de las galaxias, generalmente conocida como la "ley de Hubble", es uno de los principales hitos en el desarrollo de la astronomía durante los últimos cien años y puede considerarse uno de los pilares fundadores de la cosmología moderna;
2. Que el astrónomo belga Georges Lemaître publicó (en francés) en 1927 el artículo titulado *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques*, en el que redescubre la solución dinámica de Friedman a las ecuaciones de relatividad general de Einstein que describe un universo en expansión. También deriva que la expansión del universo implica que los espectros de las galaxias distantes se desplazan hacia el rojo en una cantidad proporcional a su distancia. Finalmente, utiliza datos publicados sobre las velocidades y distancias fotométricas de las galaxias para derivar la tasa de expansión del universo (asumiendo la relación lineal que había encontrado en los fundamentos teóricos);
3. Que, en el momento de la publicación, la popularidad limitada de la revista en la que apareció el artículo de Lemaître y el idioma utilizado provocó que su notable descubrimiento pasara desapercibido para la comunidad astronómica;
4. Que Georges Lemaître y el astrónomo estadounidense Edwin Hubble asistieron a la tercera Asamblea General de la IAU en Leiden en julio de 1928 e intercambiaron opiniones sobre la relevancia, en el marco del modelo evolutivo emergente del universo, del desplazamiento hacia el rojo frente a la distancia en los datos observacionales de las nebulosas extragalácticas;

5. Que Edwin Hubble publicó, en 1929, el documento titulado *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, en el que propuso y derivó la relación lineal distancia-velocidad para las galaxias; en su artículo de 1931 en colaboración con Humanson incluyó nuevos datos de velocidad y, poco después de la publicación de sus artículos, la expansión del universo comenzó a conocerse como la "ley de Hubble";

6. Que, en 1931, por invitación de la revista *Journal Monthly Notices del Royal Astronomical Society*, Georges Lemaître tradujo en inglés su artículo original de 1927, omitiendo deliberadamente la sección en la que obtenía la tasa de expansión, porque no encontró "recomendable reimprimir la [su] discusión provisional sobre las velocidades radiales, que carece de interés real, y también la nota geométrica, que podría ser reemplazada por una pequeña bibliografía de trabajos antiguos y nuevos sobre el tema";

deseando

7. Para rendir homenaje a Georges Lemaître y Edwin Hubble por sus fundamentales contribuciones al desarrollo de la cosmología moderna;
8. Honrar la integridad intelectual de Georges Lemaître, que le impulsó a valorar más el progreso de la ciencia que su propia visibilidad;
9. Destacar el papel de las Asambleas Generales de la IAU en el fomento de los intercambios de puntos de vista y discusiones internacionales;
10. Informar los discursos científicos futuros con hechos históricos;

resuelve

11. recomendar que a partir de ahora la ley de la expansión del universo se denomine Ley de Hubble-Lemaître.



Sobre estas líneas, Lemaître con Einstein. A la derecha, Edwin Hubble en el telescopio de Monte Palomar (fuente: Ned/Steer/Huchra/Riess; NASA/ESA).

pero una vez obtenidos estos no parece saber muy bien qué hacer con ellos. De hecho, a la interpretación de los resultados le dedica unas pocas líneas³, mientras que Lemaître desarrolla un programa científico completo. Plantea el problema teórico y sus implicaciones cosmológicas, encuentra la solución más adecuada para un universo con masa, y busca las observaciones astronómicas que pueden permitirle falsar sus predicciones. Tanto los aspectos empíricos como teóricos en el trabajo de Lemaître tienen una gran consistencia interna y una excelente escritura, y su artículo es un ejemplo de lo que podemos llamar literatura científica, si esto existiera. Por otro lado, el diferente valor de la constante de proporcionalidad encontrada por ambos autores proviene principalmente de las diferentes fuentes usadas para la variable distancia. En ambos casos provienen de trabajos de Hubble, pero las distancias utilizadas por monseñor están basadas en un paralaje fotométrico considerando que todas las galaxias tienen el mismo brillo intrínseco, mientras que en el trabajo de Hubble se introducen las distancias derivadas a partir de la relación período-luminosidad de las estrellas

Tanto los aspectos empíricos como teóricos en el trabajo de Lemaître tienen una gran consistencia interna y una excelente escritura; su artículo es un ejemplo de lo que podemos llamar literatura científica, si esto existiera

cefeidas, más representativas de la realidad física.

Uno puede pensar que Hubble nunca leyó un artículo que apareció en una publicación nacional belga de escasa tirada y escrita en francés. No olvidemos que Hubble era norteamericano, antónimo de políglota. Pero tampoco debemos olvidar que Lemaître no era ningún desconocido en la astronomía norteamericana. Pasó más de un año allí y tuvo contactos con lo más granado de los observadores astronómicos de ambas costas, era discípulo de Eddington y cuando publicó su artículo se lo envió a Einstein, que consideró que el autor era un excelente matemático pero sin mucho

fundamento físico. Lemaître estaba en la pomada de la física y la astronomía de su tiempo. El que quizás en ese momento no estaba en el cogollo de la élite mundial era Hubble, excelente observador con un excelente telescopio, pero lejos de la revolución de la física que estaba teniendo lugar en Europa, aunque sus precisas y abundantes observaciones contribuyeran de una manera decisiva al advenimiento de la edad de oro de la astronomía del siglo XX. Está claro que Lemaître fue el primero en medir e interpretar correctamente la denominada ley de Hubble. Puede que Hubble hiciera trampa o que no, pero después de que el trabajo de Lemaître fuera de dominio público quienes no debemos hacer trampa somos nosotros y darle al César lo que es del César, y a monseñor lo que es de monseñor. La asamblea de la Unión Astronómica Internacional acordó que la propuesta para cambiar el nombre a la ley de la expansión del universo se votaría electrónicamente a finales de este año, de manera que se garantice la más amplia participación en la decisión. Mientras tanto, en honor a Lemaître, he comenzado a llamar a H la constante de Monseñor.

3. "Por esta razón, se considera prematuro discutir en detalle las consecuencias obvias de los resultados actuales. Por ejemplo, si el movimiento solar con respecto a los cúmulos representa la rotación del sistema galáctico, este movimiento podría restarse de los resultados de las nebulosas y el resto representaría el movimiento del sistema galáctico con respecto a las nebulosas extra-galácticas. Sin embargo, la característica sobresaliente es la posibilidad de que la relación de distancia-velocidad pueda representar el efecto de Sitter y, por lo tanto, que los datos numéricos se puedan introducir en las discusiones sobre la curvatura general del espacio. En la cosmología de de Sitter, los desplazamientos de los espectros surgen de dos fuentes, una aparente ralentización de las vibraciones atómicas y una tendencia general de dispersión de partículas materiales".

Dos maneras de mirar al pasado

ANALIZAMOS LOS MÉTODOS QUE EMPLEAN LOS ASTRÓNOMOS PARA AVERIGUAR CÓMO ERA EL UNIVERSO EN ETAPAS ANTERIORES

Por Enrique Pérez Montero (IAA-CSIC)

EL ESTUDIO DEL PASADO ES ALGO EMOCIONANTE Y VERTIGINOSO, QUE CONCURRE EN ÁREAS MUY DIFERENTES y abarca tanto el ámbito de las humanidades como el de distintas especialidades científicas. Lo que distingue el objeto de estudio de los historiadores, los geólogos, los paleontólogos o los astrónomos son más las escalas de tiempo involucradas que una diferencia de ánimo real por conocer qué caminos siguieron la naturaleza o nuestros antepasados para que nosotros nos encontremos aquí y ahora en las circunstancias en que estamos, que es común a todos estos campos de estudio. De hecho, aunque la metodología varíe tanto de una especialidad a otra, las estrategias y razonamientos que condicionan el proceder del astrónomo no se diferencian en el fondo tanto de los que siguen, por ejemplo, un bió-

grafo de un emperador romano o un experto en arte rupestre.

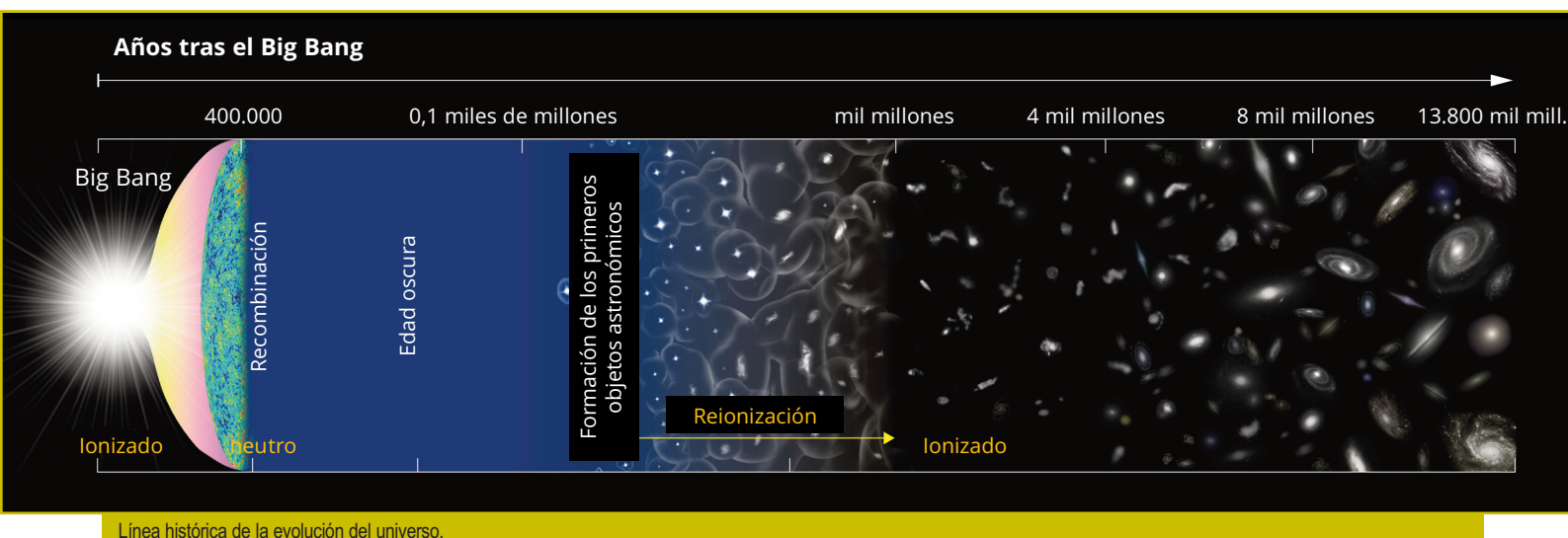
Más lejos, más atrás en el tiempo

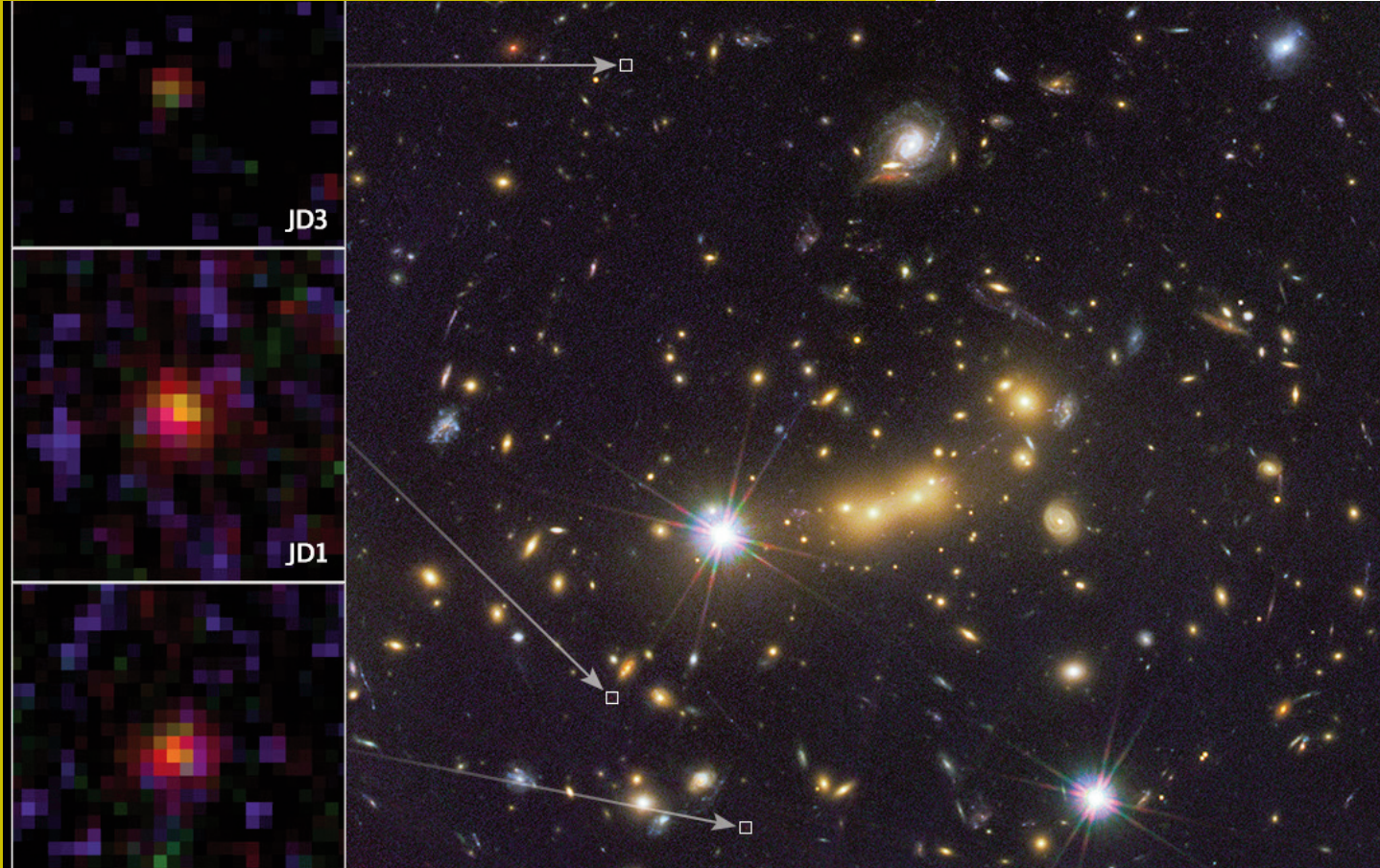
En astrofísica y en cosmología hay dos maneras básicas de estudiar el pasado. La primera y más reconocible en la percepción popular de mirar más y más lejos para ver los objetos tal como eran en el pasado. La principal fuente de información acerca de la naturaleza de los astros es la luz que emiten y que, en su camino hacia nosotros, ha interactuado con otros cuerpos que también pueden ser estudiados por la huella que han dejado en ese patrón luminoso. Dado que la luz tiene una velocidad finita, enorme pero limitada, y dadas las absurdamente grandes distancias que separan unos cuerpos de otros en el universo, la luz de muchos astros tarda largos lapsos de tiempo hasta ser detectada por nuestros telescopios e instrumentos de medida, dándonos una impronta de los cuerpos que la emitieron tal y como eran en el instante de esa emisión.

A veces esa impresión del enorme tiempo transcurrido entre la emisión de luz por parte de una estrella y su llegada a nuestros telescopios da lugar a afirmaciones algo exageradas, como la sentencia atribuida al gran astrónomo y músico, William Herschel, descubridor del planeta Urano y del disco de la Vía Láctea. Herschel dijo que probablemente todas las estrellas que veíamos en el cielo no eran sino fantasmas de sí mismas, ya que en el momento en que su imagen nos

alcanzaba ya habrían perecido. En realidad todas las estrellas del cielo nocturno pertenecen a nuestra propia Galaxia, que tiene un radio de unos cincuenta mil años luz. Es decir, la luz de una estrella que habita en el extrarradio del disco de la Galaxia tarda cincuenta milenios en llegar a su centro, si no es absorbida antes por las densas nubes de polvo y gas que rellenan este disco. Las vidas de las estrellas son muy variables, y pueden oscilar entre los pocos millones de años de las estrellas más masivas y luminosas hasta los cientos de miles de millones de años que pueden llegar a vivir las estrellas enanas rojas. Es decir, que seguramente todas las estrellas que vemos en el cielo nocturno siguen ahí a pesar de los milenios pasados desde que nos enviaron su luz. Además, la mayoría de esas estrellas no están tan lejos en nuestra Galaxia, sino que pertenecen a lo que se llama la vecindad solar, por lo que normalmente es difícil ver a simple vista estrellas que estén más lejos de mil años luz.

Por el contrario, la afirmación de Herschel no se vuelve nada errónea en el caso de las galaxias más lejanas. Las distancias que separan unas galaxias de otras es del orden de los millones de años luz. La galaxia espiral más semejante a la nuestra es Andrómeda, que se encuentra a dos millones y medio de años luz. Así, la luz que estudian los astrónomos de los miles de millones de estrellas de esta galaxia partió de la misma antes de que el propio ser





La galaxia MACS0647-JD, una de las más distantes conocidas, cuya luz fue emitida solo cuatrocientos veinte millones de años después del Big Bang (cuando el universo tenía un 3% de su edad actual). Debido al efecto de lente gravitatoria, generado por un cúmulo de galaxias situado en la trayectoria de la luz de MACS0647-JD, su imagen aparece ampliada y por triplicado. Crédito: NASA/ESA.

humano caminara sobre la superficie de nuestro planeta. No obstante, las galaxias rellenan todo el volumen del universo observable y, por tanto, pueden ser observadas a lo largo de sus distintas etapas evolutivas desde la creación misma del universo, hace trece mil ochocientos millones de años. Esa es justo la barrera observacional que la luz impone a todo estudio basado en ella.

Más cerca del Big Bang

Los muestreos profundos del cielo realizados con los telescopios espaciales y los grandes observatorios astronómicos con espejos de hasta diez metros de diámetro nos están permitiendo obtener imágenes y detalles de galaxias apenas mil millones de años después del Big Bang. En esta época el universo tenía un aspecto muy diferente al que tiene ahora. El volumen disponible era menor, por lo que el espacio estaba más densamente poblado por estas galaxias jóvenes que interactuaban y chocaban con mucha mayor frecuencia para dar lugar a galaxias aún más grandes. El número de galaxias más pequeñas era mayor por tanto, y eran más luminosas y compactas. Su brillo era mayor en relación a su tamaño porque estaban en la época en que se formaban estrellas con más intensidad, alimentando de manera simultánea al agujero negro supermasivo que todas ellas tienen en su centro y dando lugar a brillantes emisiones en rayos X y en radio.

Las imágenes de las galaxias más lejanas y,

por tanto, más antiguas, se han obtenido también gracias a la combinación del uso de los grandes telescopios actuales con un efecto que se produce de manera natural y que ayuda a mirar aún más lejos. Según la teoría de la relatividad general de Einstein, la luz sufre cambios apreciables en su trayectoria cuando pasa cerca de una distribución muy masiva, como puede ser un cúmulo de galaxias. Eso provoca que la luz de cuerpos más lejanos y que, en principio, se dispersa al alejarse de su lugar de emisión, puede volver a converger tras pasar por una de estas aglomeraciones de masa. Es lo que se conoce como efecto de lente gravitacional. Usando esta técnica se han podido tomar imágenes de galaxias poco tiempo después de su formación. Actualmente el récord lo ostenta la galaxia MACS J0647+7015, que se encuentra a una distancia de trece mil cuatrocientos millones de años luz de la Tierra, apenas cuatrocientos millones de años después del Big Bang.

Esta manera de estudiar el pasado mirando directamente cómo era el universo en cada época podría relacionarse con la manera que los eruditos tienen de estudiar el pasado y la historia a través del legado artístico cuando este no ha sufrido ningún deterioro. Poder leer una novela, admirar una pintura o escuchar una pieza musical tal y como fueron creadas originalmente nos transporta al pasado y nos ayuda a entender la época y la mentalidad de los artistas que las crearon.

Esta es también la manera que algunos antropólogos tienen de estudiar el pasado de las primeras tribus humanas, desplazándose a lugares de África y Sudamérica cuyos pobladores hayan tenido el menor contacto posible con la civilización para analizar su comportamiento y sus tradiciones, que podrían ser comunes a las que nuestros antepasados tenían hace miles de años. No obstante, el estudio del pasado tanto desde el punto de vista estrictamente histórico como del de la historia natural biológica y geológica tiene también otra fuente de información mucho más rica, pero también más difícil de interpretar. Se trata del estudio de los restos que pueden ser analizados no tal y como fueron creados hace muchos siglos o milenios, sino en la época presente, alterado su aspecto y su distribución por el paso del tiempo. Es esta técnica la que emplean los arqueólogos y los paleontólogos y geólogos desde el punto de vista científico. Esta otra manera de estudiar el pasado que, lejos de transportarnos directamente a él, trae sus vestigios a la época presente, también es usada por los astrónomos.

Esta manera de recopilar datos, por ejemplo, es muy habitual en el estudio de los cuerpos del Sistema Solar, que son accesibles mediante el empleo de misiones espaciales capaces de alcanzarlos y tomar muestras de datos. Así es como el rover Curiosity de la NASA ha analizado la superficie del planeta Marte en busca de antiguos restos de formas de vida y del efecto que la presencia de agua pudo tener en este planeta. Otro ejemplo es la exitosa misión de la Agencia Espacial Europea Rosetta, que logró ponerse a la

altura del cometa Churyumov-Gerashimenko e incluso posar el módulo Philae en su superficie para analizar su composición. Se piensa que los cometas son los restos de la época en la que se formó el Sistema Solar, por lo que su estudio es de gran interés para conocer cómo era el Sistema Solar en su origen, cómo se formaron los planetas y por qué son tan diferentes entre ellos.

Estudiar lo cercano para conocer lo lejano

En un entorno algo más lejano, y ya solo alcanzable a partir del estudio de las ondas luminosas, el análisis de los objetos de nuestra propia Galaxia nos ayuda a entender su pasado. Esto tiene la ventaja, en relación a la investigación de las primeras galaxias a partir de sus imágenes directas, en el grado de detalle que podemos alcanzar. Ni siquiera los grandes telescopios son capaces de tomar imágenes de las estrellas individuales de las galaxias más lejanas, sino que solo permiten acceder a la luz integrada de las mismas. Por el contrario, en nuestra propia Galaxia podemos identificar y estudiar en detalle estrellas individuales que quizá empezaron a brillar en la misma época en que la propia galaxia se formó. Este es el caso de la estrella J0815+4729, que ha sido identificada por un grupo de astrónomos del Instituto de Astrofísica de Canarias como una de las más viejas de nuestra Galaxia. Esta estrella no se encuentra en el disco, sino en el halo de nuestra Vía Láctea. El halo es una enorme esfera que rodea el disco y que también contiene estrellas y cúmulos muy antiguos, aunque con una densidad de estrellas mucho menor que el disco, donde se encuentra nuestro Sistema Solar. Según los investigadores de este estudio, la estrella en cuestión es muy deficiente en elementos químicos que solo pudieron producirse en el interior de estrellas de generaciones sucesivas y posteriores y calculan que se formó solo trescientos millones de años después del Big Bang. Es decir, es más antigua que la imagen de la galaxia más lejana a la que hemos tenido acceso hasta ahora.

Otro proyecto que estudia en detalle los objetos cercanos para comprender mejor su pasado y los mecanismos que llevaron a su formación y estado actual es CALIFA, un proyecto con el protagonismo del Instituto de Astrofísica de Andalucía en el que he tenido la gran fortuna de colaborar. CALIFA es un muestreo de varios cientos de galaxias en un volumen del universo no muy lejano a la Vía Láctea y que cubre distancias de hasta treinta millones de años luz, lo que no representa en términos temporales mucho tiempo en relación a la vida de una estrella. Este muestreo se ha llevado a cabo con un instrumento

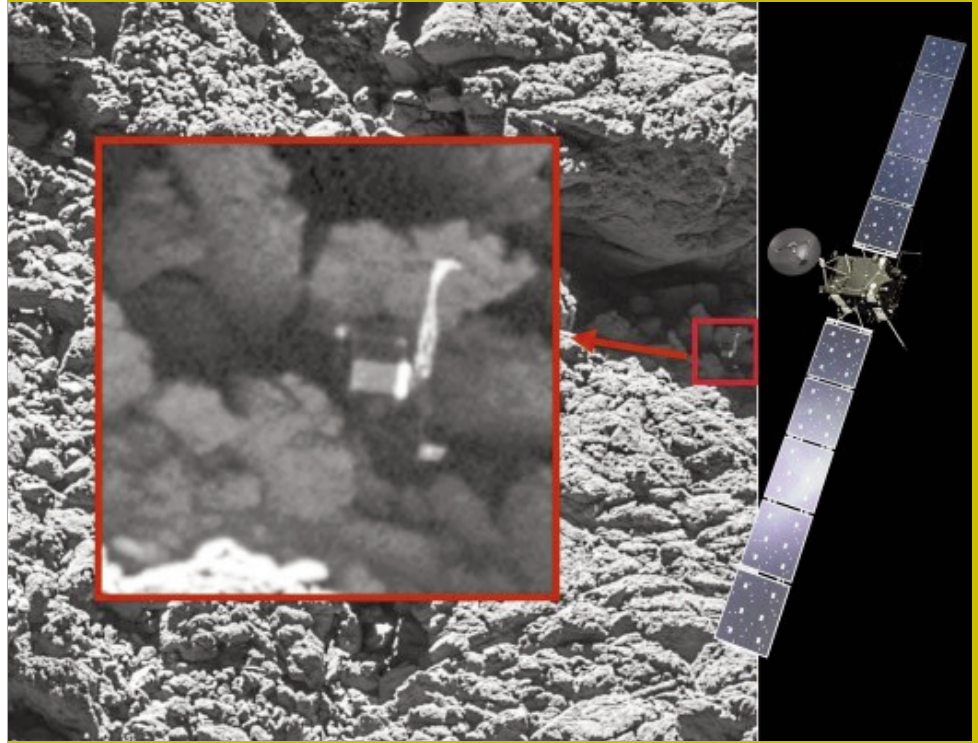


Imagen del módulo Philae sobre la superficie del cometa Churyumov-Gerasimenko, tomada por la misión Rosetta.
Fuente: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

montado en el mayor telescopio del observatorio de Calar Alto, en Almería, que es capaz de desarrollar mapas con la distribución espectral de la luz emitida desde cualquier posición de estos objetos. En la práctica esto significa que se puede estudiar la edad, composición química y velocidad de las estrellas que forman estas galaxias en cualquier lugar de sus discos y relacionar los mapas resultantes de estas propiedades con la forma, brillo y masa de las galaxias mismas, ayudando a desentrañar su historia y su origen.

De esta forma, entre los resultados alcanzados por CALIFA para una muestra de galaxias que nos permite sacar conclusiones con valor estadístico se encuentra la evidencia de que las galaxias espirales se han ido formando desde dentro hacia fuera. La zona central de estas galaxias está compuesta por una región denominada bulbo con forma elíptica y muy antigua, cuyo brillo y masa dependen del de toda la galaxia. Con posterioridad al bulbo se fue formando, de dentro afuera, el resto del disco en aquellas regiones con una mayor densidad de gas; además, se producen movimientos dinámicos del disco que generan cierta redistribución de las poblaciones estelares y los elementos químicos eyectados en las explosiones de supernova tras la muerte de las estrellas más jóvenes. Se da la circunstancia de que, en nuestra propia Galaxia, nuestra falta de perspectiva desde el interior del disco nos ha impedido contestar correctamente a la pregunta

de en qué lugar se formó nuestro Sol, ya que muchas de sus propiedades no coinciden con la posición que actualmente ocupa en el disco de nuestra Galaxia. Otra cuestión que parece que CALIFA ha sido capaz de acotar con observaciones es cómo las galaxias dejan de formar estrellas. Es sabido que, a diferencia de las galaxias espirales, las galaxias elípticas no forman estrellas, ya que consumieron el gas necesario para crear nuevas generaciones de astros y este proceso se podría haber producido en estas galaxias de una manera similar, pero inversa, al de la formación estelar. Todos estos procesos se ven alterados de manera dramática en aquellos entornos en que la interacción entre galaxias y la caída de gas desde fuera de las mismas modifican estos procesos de crecimiento y evolución.

Como podemos apreciar, por tanto, la astronomía hace uso de técnicas muy diferentes cuyo fin no es muy distinto del de otras áreas del conocimiento que tratan de comprender y desvelar el pasado de nuestro planeta y de nuestra especie. Tanto el estudio de los restos que han llegado hasta nosotros a pesar del paso del tiempo como la contemplación de los elementos del pasado tal y como eran en el momento de su creación, son lícitos y se complementan entre ellos y ayudan a definir más lo que sabemos acerca de nosotros mismos y de nuestro origen, cuestiones estas que siempre están entre las que más despiertan la curiosidad y el ansia de saber que son propios de nuestra especie.

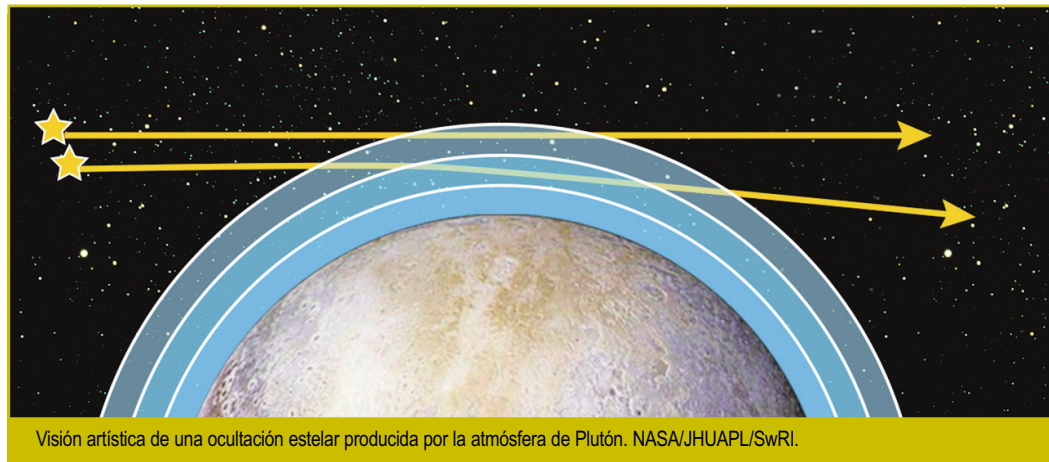


Guiños estelares desde los confines del Sistema Solar

LA TÉCNICA DE LAS OCULTACIONES, AUNQUE COMPLEJA, ESTÁ APORTANDO INFORMACIÓN EN EXTREMO VALIOSA SOBRE LOS OBJETOS DE LOS CONFINES DEL SISTEMA SOLAR

Por Pablo Santos Sanz (IAA)

ENTRE LAS ÓRBITAS DE JÚPITER Y NEPTUNO HABITAN UNOS CUERPOS CONOCIDOS COMO CENTAUROS, que presentan tamaños de hasta trescientos kilómetros de diámetro. Se trata de cuerpos helados relacionados con otros aun más lejanos llamados objetos transneptunianos, situados más allá de la órbita de Plutón, en los confines del Sistema Solar. Los objetos transneptunianos abarcan una gran variedad de tamaños, desde unos pocos kilómetros hasta los miles de kilómetros. Los más grandes se consideran también planetas enanos, como el propio Plutón, Eris o Haumea. Creemos que, tanto los centauros como los objetos transneptunianos, son los ladrillos que sobraron tras la formación de los planetas del Sistema Solar, hace unos cuatro mil seiscientos millones de años. En ese sentido han sido testigos tanto de la formación como de la evolución de nuestro sistema planetario, y conservan en su seno información relevante para entender nuestro sistema e incluso otros sistemas extrasolares. Estudiar estos cuerpos no es tarea fácil: son objetos muy lejanos, y muchos de ellos apenas reflejan la luz solar (tienen lo que los astrónomos llamamos un albedo muy bajo), de modo que para caracterizarlos hacen falta a menudo grandes telescopios, e incluso telescopios espaciales como el Hubble (NASA), el Spitzer (NASA) o el Herschel (ESA-NASA). Estos últimos telescopios (Spitzer y Herschel) trabajan en el rango infrarrojo, es



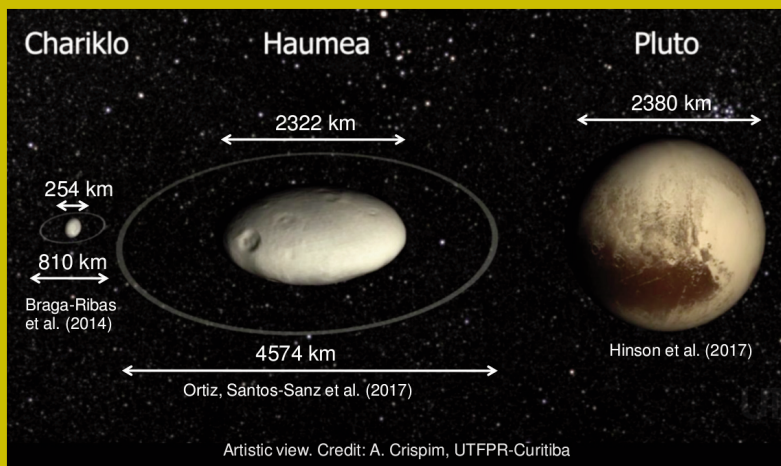
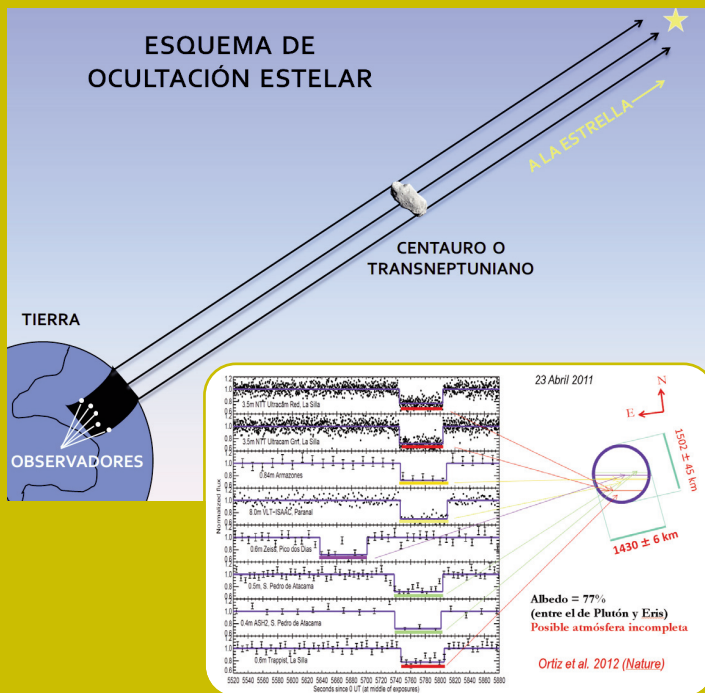
Visión artística de una ocultación estelar producida por la atmósfera de Plutón. NASA/JHUAPL/SwRI.

decir, son capaces de medir la emisión térmica de estos objetos distantes y helados. Esta emisión nos permite calcular, usando un modelo termofísico, los tamaños de los objetos transneptunianos y centauros, así como sus albedos, aunque con errores del orden del 10%. Conocidos el tamaño y el albedo podemos también calcular, para los objetos que tengan satélites, la densidad, que es una de las magnitudes físicas más complicadas de determinar, y que nos da acceso a las propiedades internas de estos cuerpos. Este tipo de medidas térmicas solo son posibles desde telescopios en el espacio, y usando algunos radiotelescopios situados en tierra (muy pocos, y con tiempo de observación muy difícil de conseguir). Una medida mucho más precisa de tamaños, albedos y densidades puede conseguirse mediante sondas espaciales como la New Horizons, que visitó Plutón y sus satélites, y que obtuvo estas y muchas otras medidas *in situ*.

La técnica de las ocultaciones

Otras formas de obtener información de estos objetos es midiendo la luz que nos llega de ellos (fotometría), descomponiendo la luz a la búsqueda de la firma de determinados elementos y compuestos químicos (espectroscopía) o, como ya hemos visto, midiendo la emisión térmica de la superficie de estos objetos (método radiométrico), o visitándolos con naves espaciales. Pero... ¿existe alguna otra técnica que nos permita obtener información “extra” de estos obje-

tos? La respuesta es que sí: la llamada técnica de las ocultaciones estelares. Esta técnica es bien conocida desde hace tiempo en el campo de los asteroides del cinturón principal -los objetos rocosos de hasta mil kilómetros de diámetro que orbitan entre Marte y Júpiter-. La idea es predecir cuándo uno de estos cuerpos oculta la luz de una estrella visto desde un lugar concreto de la tierra; los observadores bajo la sombra producida por el objeto podrán ver un guiño estelar que les permitirá medir con precisión el tamaño del objeto y, si hay más de un observador situado a una distancia adecuada del primero, incluso podrán determinar su forma. Esta técnica también permite detectar la presencia de material alrededor del objeto, como satélites o anillos, y caracterizarlo, e incluso permite descubrir y estudiar con gran precisión atmósferas muy tenues, como en el caso de Plutón, con una atmósfera de entre diez microbares y diez nanobares dependiendo de la altura. La técnica de las ocultaciones estelares es por ello una técnica relativamente directa y muy potente para obtener el tamaño y la forma de cuerpos del Sistema Solar con errores de unos pocos kilómetros, y para detectar y caracterizar detalles muy finos y tenues como satélites, anillos o atmósferas. A partir de esta información es posible obtener también el albedo superficial. Todas estas medidas tendrán además precisiones comparables a las de una misión espacial. A primera vista esta parece una técnica estupenda para aplicar al estudio de objetos transneptunianos y cen-



Arriba izda. Esquema de una ocultación estelar producida por un centauro o transneptuniano. Los observadores bajo la sombra verán el “guiño estelar” que permite hacer la ciencia que se describe en este artículo (adaptada de Santos-Sanz et al. 2016).

Izda. Curvas de luz obtenidas de la ocultación producida por el planeta enano Makemake en 2011. Cada curva de luz define una cuerda, mostrada en diferentes colores, que permite ajustar la forma elíptica mostrada a la derecha de la figura (adaptada de Ortiz et al. 2012).

Arriba dcha. Visión artística de los tamaños del centauro Chariklo y los planetas enanos Haumea y Plutón. Los tamaños y anillos de Chariklo y Haumea se han determinado mediante ocultaciones estelares.

tauros, pero, como se suele decir, el demonio está en los detalles.

Compleja, pero muy eficaz

Veamos los problemas que surgen al usar la técnica de las ocultaciones estelares con estos objetos. En primer lugar, el tamaño angular que subtenden en el plano del cielo es muy pequeño: un objeto transneptuniano de los más grandes como Eris, con unos dos mil trescientos kilómetros de diámetro medio a una distancia de noventa y seis veces la distancia Tierra-Sol, subtende un tamaño angular en el plano del cielo de solo unos treinta milisegundos de arco equivalente, para hacernos una idea, al tamaño angular de una moneda de un euro vista a unos ciento cuarenta kilómetros de distancia. Objetos más pequeños (y más abundantes) tienen tamaños angulares en el plano del cielo de solo diez o quince milisegundos de arco. En segundo lugar, hasta hace muy poco tiempo la precisión en la posición de las estrellas en el cielo era comparable a los tamaños angulares de estos objetos. Este último problema está hoy día siendo superado gracias a las posiciones estelares extremadamente precisas que nos está facilitando el satélite Gaia de la ESA. En los próximos años catálogos estelares incluso más precisos y completos serán posibles gracias a Gaia. El tercer problema a la hora de predecir cuándo un objeto transneptuniano o un centauro pasará por delante de una estrella es la gran incertidumbre en las órbitas de estos objetos. Los primeros transneptunianos (salvo Plutón, descubierto en 1930) se descubrieron en el año 1992, lo que significa que, en el mejor de los casos, hemos observado apenas quince o dieciséis años para órbitas que tardan en completarse varios cientos de años. De todo ello se deriva un gran desconocimiento de sus elementos orbitales, lo que nos impide predecir su posición en el

cielo con la suficiente precisión como para saber cuándo uno de estos objetos ocultará una estrella dada.

A la vista de todo esto, parece tarea muy complicada predecir y observar una ocultación estelar por uno de estos objetos dado su pequeño tamaño angular, la incertidumbre de su posición en el cielo y la incertidumbre en la posición de las propias estrellas susceptibles de ser ocultadas. Pese a todo, finalmente hemos conseguido en los últimos años (y no sin gran esfuerzo), predecir y observar algunas de estas ocultaciones. La primera de ellas (de nuevo exceptuando Plutón, cuya órbita está mucho mejor determinada pues se descubrió hace ya ochenta y ocho años) se observó en el año 2009, y a partir de entonces han podido ser predichas y observadas con éxito treinta y ocho ocultaciones por veinte transneptunianos. Muchas de ellas han sido ocultaciones observadas desde un único lugar (u ocultaciones con una sola cuerda), que solo dan una cota al tamaño y albedo del objeto, pero no dan información de su forma. De las ocultaciones observadas desde varios lugares bajo la sombra (multi-cuerda) se han obtenido algunos resultados muy relevantes: hemos averiguado que el transneptuniano y planeta enano Eris tiene un tamaño comparable al de Plutón, y refleja alrededor del 96% de la luz que recibe del Sol, lo que significa que es más reflectante que un espejo, debido posiblemente al nitrógeno congelado que cubre toda su superficie; también hemos sabido que Makemake puede tener una atmósfera incompleta y muy tenue y que los centauros Chariklo, y posiblemente Quirón, tienen un sistema de anillos cuyo origen es aún desconocido.

Uno de los últimos descubrimientos en este campo ha sido posible gracias al guiño estelar producido el pasado enero de 2017 por el planeta enano Haumea cuando se hallaba a

unos siete mil seiscientos millones de kilómetros de la Tierra. Como principales resultados de esta ocultación, observada desde diez lugares bajo la sombra, destaca que Haumea es menos denso y más grande de lo que se pensaba (su lado mayor mide 2322 kilómetros, comparable al propio Plutón), que su superficie es menos reflectante de lo esperado y que posee un anillo fino y denso a su alrededor. Se trata de la primera vez que se detecta un anillo alrededor de un planeta enano y su origen, aunque hay varias teorías posibles, sigue siendo un misterio. Además, se ha determinado la forma tridimensional de Haumea, y se ha visto que no es compatible con el equilibrio hidrostático para su densidad, lo que sugiere que quizá sea necesario introducir otros conceptos como la física granular, o un interior diferenciado por capas -como la tierra- como posibles explicaciones para la forma obtenida.

Otra ocultación estelar, producida por el centauro 2002 GZ32 en 2017, también apunta a que este cuerpo podría no estar en equilibrio hidrostático, así que anillos y objetos con formas que no cumplen con el equilibrio hidrostático podrían ser mucho más comunes entre los objetos transneptunianos y los centauros de lo que pensábamos. Esto abre una vía de investigación novedosa dentro del estudio de los cuerpos remotos del Sistema Solar. No perdamos de vista además que toda esta nueva información se ha obtenido a partir de la observación de un guiño estelar que, en la mayoría de los casos, dura menos de uno o dos minutos. Por último, es muy importante destacar que el trabajo previo para poder predecir uno de estos guiños estelares puede llevar varios años de intenso y detallado trabajo, porque, como ya hemos visto, el demonio, casi siempre, está en los detalles.

ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

1 ÉPOCA PASADA (1750 - 1925)

El estudio de la naturaleza eléctrica de la atmósfera arranca a mediados del siglo XVIII, con las primeras investigaciones sobre la electricidad de las tormentas realizadas por Benjamin Franklin entre 1749 y 1752.

Poco después de los hallazgos de Franklin, Lemonnier descubrió que, durante condiciones de “buen tiempo”, sin presencia cercana o lejana de tormentas, la atmósfera posee un campo eléctrico (o gradiente de potencial) que oscila a lo largo del día. Ahora se sabe que ese campo tiene un valor medio de unos cien voltios por metro (cerca de la superficie), que está orientado en dirección al suelo y cuya magnitud desciende al subir en altura hasta que, a unos cincuenta kilómetros, su valor es ya muy pequeño. Por lo tanto, la diferencia de potencial eléctrico entre el suelo y la alta atmósfera es de unos trescientos kilovoltios, aunque su mayor variación se produce en las alturas menores.

Coulomb descubrió en 1785 la conductividad eléctrica del aire, que crece con la altura y que, junto con el campo eléctrico ambiental, origina una corriente de “buen tiempo” (de unos dos picoamperios por metro cuadrado) que va del cielo a la tierra. Ese mismo año, Cavendish realizó los primeros experimentos con arcos eléctricos y descubrió la formación de “nitrógeno oxidado” en el aire alrededor del arco eléctrico. En 1828, von Liebig relacionó los resultados de Cavendish con la posible generación de óxidos de nitrógeno por los rayos.

Durante el siglo XIX se hicieron nuevos descubrimientos como, entre otros, que la superficie terrestre está cargada negativamente (demostrado en 1842), o las primeras estimaciones en 1897 de la corriente eléctrica en rayos. Sin embargo, surgían nuevas preguntas: ¿cuál era el origen de la conductividad eléctrica del aire?, ¿cómo se mantienen tanto el campo eléctrico como la corriente eléctrica de “buen tiempo”?, o ¿por qué se mantiene cargado negativamente el suelo que pisamos si no cesa de llegar corriente positiva desde arriba?, ¿cómo se recarga la ionosfera de carga positiva?

2 ÉPOCA RECIENTE (1925 - 1990)

Durante el siglo XX comienzan nuevas investigaciones encaminadas a caracterizar los fenómenos eléctricos de la atmósfera, de la mano de los nuevos desarrollos tecnológicos relacionados con, por ejemplo, la electrónica ultrarrápida y las técnicas de imagen de altísima velocidad.

En esta época se realizan medidas rigurosas del campo eléctrico de “buen tiempo” desde distintos observatorios del Reino Unido. También empieza a surgir un mayor interés por el estudio detallado de la naturaleza de los rayos y su influencia en la atmósfera. En 1925 se publica la primera estimación del número de rayos a nivel global, dándose un valor de cien rayos por segundo (más del doble del valor que hoy conocemos de 44 ± 3 rayos por segundo), que apenas cambia hasta finales de los 90 cuando comienzan a estar disponibles detectores de rayos en el espacio con cobertura global. También en siglo XX se inician estudios sobre la estructura espacial de

Encontrar las respuestas a estos interrogantes fundamentales mantuvo ocupados a muchos científicos hasta el primer tercio del siglo XX. Las respuestas vinieron, literalmente, del cielo. El descubrimiento de los rayos cósmicos por Victor Hess en 1912 clarificó el origen de los iones en la atmósfera que, en presencia del campo eléctrico ambiental, explica la conductividad eléctrica de la atmósfera.

Sin embargo, la existencia de los rayos cósmicos no respondía a todas las preguntas formuladas anteriormente. Nuestra atmósfera es una gigantesca máquina eléctrica cuyas baterías son las tormentas y los rayos. Como sugirió F. Linss en 1887 y después demostró Charles T. R. Wilson en 1920, 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.

Como dato interesante, el velero Carnegie de la Institución Carnegie de Washington realizó entre 1915 y 1921 medidas del gradiente de potencial eléctrico de “buen tiempo” en todos los mares del planeta en función de la hora universal (UT, GMT en aquella época). Encontró lo que hoy se llama la “curva de Carnegie”, que muestra que el potencial eléctrico atmosférico oscila entre un mínimo de ochenta y cinco voltios por metro a las 4 am (UT) y un máximo de ciento veinte voltios por metro a las 7 pm (UT), siendo estos valores ligeramente mayores en invierno que en verano. Esta curva se ha llegado a definir como la expresión del latido eléctrico del planeta, ya que la mayor actividad tormentosa a nivel global (hay unas cuarenta mil tormentas activas al día en todo el globo) se produce justo entorno a las 7 pm (UT).

carga eléctrica en las nubes; se proponen teorías sobre los mecanismos de formación de los rayos y se intentan cuantificar algunas de sus características (energía, carga y corriente eléctrica transportada, campos eléctricos en las nubes). A finales de los años 70 y comienzo de los 80 se ponen en marcha las primeras campañas sistemáticas para determinar la producción de óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) y otros compuestos químicos por tormentas y rayos.

En 1924 y 1925 Wilson publicó un par de trabajos donde reflexionaba sobre, por un lado, la influencia del campo eléctrico de las nubes de tormenta (1924) en la alta atmósfera, por encima de los cincuenta kilómetros; y también sobre la posibilidad de que ese campo eléctrico pudiera acelerar a los electrones libres hasta energías altas (de varios megaelectronvoltios) mediante un mecanismo basado en la aceleración continua de electrones una vez superada la fuerza de fricción del aire. Ese mecanismo se conoce como *runaway breakdown* (podríamos traducirlo como “ruptura por escape”). Estos dos trabajos fueron el germen de los nuevos descubrimientos de finales del siglo XX.



3 PRESENTE Y FUTURO (1990- ...)

En 1989 se descubrieron accidentalmente las descargas eléctricas en la alta atmósfera. Estas descargas, llamadas hoy Fenómenos Luminosos Transitorios (*Transient Luminous Events* por su nombre en inglés o TLEs), como los *blue jets*, *sprites*, halos o *elves*, aparecen debido a la existencia de rayos en la troposfera.

En 1994 se detectaron, por primera vez y también de forma fortuita, potentes destellos de rayos gamma (*Terrestrial Gamma ray Flashes* por su nombre en inglés o TGFs) 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 TLEs y TGFs, 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 investigación. En particular, no se conoce en detalle qué influencias tienen los rayos y ciertos tipos de TLEs 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.

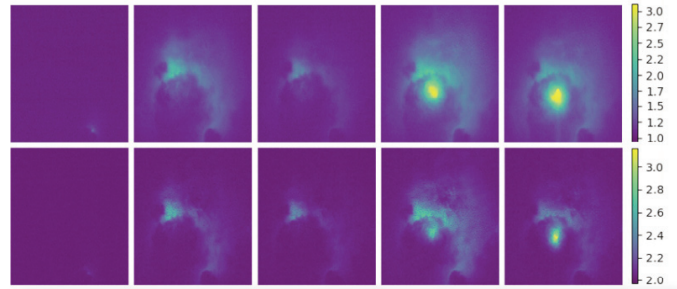
En respuesta a todos estos nuevos y apasionantes interrogantes, la comunidad internacional ha propuesto y lanzado entre 1995 y lo que llevamos del siglo XXI diversas misiones espaciales para el estudio de los rayos, TLEs y TGFs desde órbitas bajas (entre cuatrocientos y setecientos kilómetros de altura) y geoestacionarias (lanzamientos del GOES-R por EE.UU. y del Feng-Yun 4 por China en 2016, así como del MTG por Europa en 2021).

En el grupo de Electricidad Atmosférica del IAA (www.trappa.iaa.es), de cuya fundación se cumplen ahora diez años, llevamos 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 de electricidad atmosférica del IAA actúa en diversos frentes mediante el desarrollo de instrumentación científica de vanguardia (espectrómetros GRASSP y GALIUS), estudios experimentales en el laboratorio, desarrollo 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



GrAnada Lightning Ultrafast Spectrograph (GALIUS). Modo imagen y espectral. Hasta 2.1 millones de imágenes por segundo.



Primeras imágenes del instrumento MMIA de ASIM en el canal 777 nm (arriba) y 337 nm (abajo).

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 Europea del Espacio (ESA) en la que España participa como co-IP, con parte de un instrumento y con equipos humanos como el nuestro para su explotación científica.

En 2019-2020 se lanzará el satélite TARANIS (junto con el satélite español INGENIO) para estudiar la actividad eléctrica atmosférica y en el que también participa nuestro grupo. En 2021-2021 la Agencia Europea para la explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) lanzará el primero de cuatro satélites de la tercera generación de satélites meteorológicos (MTG) europeos equipados por primera vez con sensores de rayos. Los nuevos MTG incorporan sensores de incendios para correlacionarlos con la frecuencia de rayos en regiones de alto riesgo de incendio en Europa.

EQUIPO EN EL IAA:

Científicos: F. J. Gordillo Vázquez, A. Luque, F. J. Pérez-Invernón, D. Li

Ingenieros: J. Sánchez, M. Passas

Estudiantes: A. Malagón, N. Kieu, M. Gomes, A. Schmalzried, S. Soler.



Blue Jet Gigante fotografiado durante el atardecer.



el "Moby Dick" de...

...Mirjana Povic (ESSTI-IAA)

Entre la astronomía y África

Cuando era una niña tenía dos sueños, conocer el universo y conocer África. Los dos parecían tan inalcanzables, tan salvajes y diversos, tan misteriosos y llenos de retos. Quería entender qué son las estrellas y las galaxias, y cuán grande es el universo. ¿Qué es todo lo que hay ahí? Pero también quería explorar y entender África, estar y trabajar ahí para luchar contra la pobreza. Me indignaba y entristecía vivir en un mundo tan desequilibrado, tan loco, respecto a nuestros derechos y acceso a necesidades básicas. A lo largo de mi vida estos dos sueños han ido evolucionando, cogiendo su forma, cogiendo mi corazón y ocupando mi mente, y se han convertido en unas de mis mayores pasiones.

No siempre ha sido fácil vivir juntas estas dos pasiones. Una de las veces que lo sentí fuerte fue cuando por primera vez pisé el continente africano y me fui a Tanzania como voluntaria a dar clases de ciencia en tres orfanatos y a trabajar con niñas y niños de la calle. En aquel momento, en 2006, estaba en mi segundo año de doctorado en el Instituto de Astrofísica de Canarias, estudiando las propiedades de las galaxias activas. Estas galaxias son unos de los objetos más luminosos del universo por tener un núcleo activo o un AGN (del inglés *Active Galactic Nuclei*), un agujero negro supermasivo a cuyo alrededor, a través de acreción del material, se liberan enormes energías en distintas longitudes de onda. Al ser tan luminosos son unos de los objetos más lejanos que podemos observar en el universo, y por lo tanto muy importantes para entender cómo se han formado y han evolucionado las galaxias a través del tiempo cósmico. Me impactó la experiencia, la pobreza y la realidad vivida en Tanzania y, al volver después de dos meses a mi instituto y a mi doctorado, me sentí algo desfasada estudiando la relación entre la masa del agujero negro en galaxias activas y su luminosidad emitida en rayos X. En ese momento era tan fácil caer en la pregunta que muchas veces escuchamos, ¿qué relevancia tiene estudiar algo, aunque maravilloso, tan lejano y tan fuera de nuestra realidad y de las dificultades vividas aquí en la tierra? Pero al mismo tiempo tenía en mi mente las caras de los niños de la calle, y me acordaba de que cuando más ilusionados estaban con las clases era cuando



Trabaja en el *Ethiopian Space Science and Technology Institute* (ESSTI, Etiopía) y es doctora vinculada en el IAA-CSIC. Sus líneas de investigación se refieren a la actividad nuclear y la clasificación morfológica de las galaxias y el papel de la actividad nuclear en su formación y evolución. Participa en proyectos de desarrollo de educación y ciencia en África a través de proyectos en Etiopía, Sudáfrica, Ruanda, Uganda, Kenia, Ghana y Tanzania. En 2018 obtiene el *Nature Research for Inspiring Science Award*, que busca apoyar la igualdad de género y mostrar el trabajo de las mujeres en ciencia.



Tecnología (ESSTI en inglés), un centro de investigación nuevo y el primero de ese tipo en toda Etiopía y África del Este. En el ESSTI estamos empezando casi desde cero con todo el desarrollo institucional, el desarrollo de la capacidad humana en astronomía y ciencias espaciales, y el desarrollo tecnológico y científico en los campos

hablábamos de astronomía. Nadie se quedaba indiferente cuando se hablaba del universo, incluso aquellos que tenían muchísima dificultad para centrarse y estudiar y que habían dejado ya la escuela. Entonces, ¿igual la astronomía es mucho más de lo que parece?, e ¿igual a través de astronomía podemos luchar contra la pobreza a más largo plazo contribuyendo al desarrollo de la educación y de la ciencia en África?

Hoy en día creo profundamente en lo último. La astronomía tiene muchísimas caras y una capacidad impresionante para contribuir al desarrollo de la educación, la ciencia, la innovación y la tecnología. A lo largo de los últimos diez años muchos países africanos han empezado con el desarrollo de la astronomía y las ciencias espaciales con el objetivo de mejorar muchos de sus retos y dificultades en un futuro. He tenido la suerte de observar muy de cerca y participar de forma activa en estos primeros desarrollos en Etiopía, Ruanda, Uganda, Tanzania, Kenia, y Ghana, además de Sudáfrica, dando clases en las universidades, organizando e impartiendo cursos específicos, dando clases para el profesorado a través de NASE (del inglés de Red para la Educación de Astronomía en la Escuela), supervisando estudiantes de máster y doctorado, formando colaboraciones científicas y trabajando en divulgación.

En Etiopía

Desde hace dos años, aparte de ser doctora vinculada en el IAA-CSIC, trabajo en el Instituto Etíope de Ciencias Espaciales y

mencionados. Estamos formando a los primeros expertos en astronomía y ciencias espaciales a través del programa de máster y de doctorado que desarrollamos, donde todos nuestros estudiantes son ya instructores en alguna de las universidades públicas de Etiopía. Estamos trabajando en documentos oficiales del gobierno proponiendo cómo desarrollar la astronomía y las ciencias espaciales en los próximos veinte años y cuáles serán los beneficios para el país y la región. Además, junto con la Sociedad de Ciencias del Espacio Etíope participamos activamente en programas de divulgación. Y, en colaboración con la Sociedad de Mujeres Etíopes en Ciencia y Tecnología, he comenzado con las actividades divulgativas con las niñas en las escuelas de secundaria para inspirarlas y animarlas a trabajar en ciencia. Tenemos el objetivo de alcanzar el mayor número posible de niñas en toda Etiopía. Adicionalmente, mi sueño es crear una red africana de mujeres que trabajan en astronomía y ciencias espaciales para visibilizar, unir, y empoderar a las mujeres en nuestro campo. Estas son solo algunas de las actividades que estamos llevando. Se están consiguiendo ya los primeros resultados, pero hay muchísimo por hacer, en Etiopía y en el resto de países de África.

Estos nuevos desarrollos en África están ahora abriendo todo un espectro de posibilidades para nuevas colaboraciones internacionales, para que así juntos podamos contribuir al desarrollo de la educación y la ciencia y ver, en un futuro, este mundo mucho más equilibrado y justo.

El buen linaje y el horror

POR EMILIO J. GARCÍA (IAA-CSIC)

Marzo de 2015. El octogenario estéril

Por fin, Lewis Reynold, estadounidense de más de ochenta años, recibe una notificación oficial: el Estado le entregará veinticinco mil dólares como medida de compensación. Para el anciano supone sobre todo el final de una lucha que ha marcado buena parte de su vida: el reconocimiento de que el sistema es el responsable de que vaya a morir sin descendencia.

Tras años de intentar infructuosamente dejar embarazada a su mujer, Lewis había descubierto que fue esterilizado forzosamente cuando apenas contaba con trece años de edad en el *Lynchburg Training Center*, una colonia para epilépticos y enfermos mentales situada en el estado de Virginia, donde había ingresado siendo un niño debido a sus ataques epilépticos. Era una práctica que se hacía diariamente en Lynchburg y en otros estados. Entre 1909 y 1979, más de ocho mil personas en Virginia y más de sesenta mil en todo el país fueron forzadas por el estado a quedar sin descendencia. Un programa de esterilización sistemático y a gran escala implantado por Estados Unidos poco después de la I Guerra Mundial para la “mejora” de la sociedad americana, y que fue la inspiración para la “Ley de Prevención de descendencia con enfermedades hereditarias” para la perpetuación de la raza aria. La semilla del horror nazi estaba asentada sobre una ley de la floreciente democracia americana.

2 de mayo de 1927. Tres generaciones de imbeciles ya es bastante

Con esta lapidaria frase, el juez Oliver Wendell Holmes Jr. dictaba sentencia en el caso “Buck contra Bell”. La Corte suprema americana fallaba a favor de la ligadura de trompas que los médicos de la colonia Lynchburg habían efectuado a Carrie Buck, una paciente diagnosticada como débil mental en la modalidad de “imbécil”. El mismo proceso que habían seguido su madre Emma y su hija pequeña Vivian.

En realidad, Carrie Buck nunca demandó por sí misma a John Bell, director de la colonia en aquellos primeros años. Todo estaba orquestado para conseguir un precedente jurídico. La luz verde a una ley nacional para un programa de esterilización masiva de todos aquellos que el estado considerara genéticamente “defectuosos” y cuya progenie incontrolada podía suponer un “suicidio racial”. “Lo hereditario juega un importante rol en la transmisión de locura o imbecilidad”, añadía inapelablemente el juez durante los alegatos.

En la última década, millones de inmigrantes habían llegado a la prometedora América. Había que proteger a la nación de este “deterioro racial”. Los programas de esterilización se implantaban por todo el país. Se realizó una campaña de propaganda sobre las bondades de esta selección controlada. En las ferias agrícolas se establecían concursos en las que “personal científico” seleccionaba los mejores bebés. Posteriormente, las familias podían exhibirlos de feria en feria, orgullosos de sus sanos, robustos y americanos bebés. Ya en 1910, Charles Davenport había creado la Oficina de Registros Eugenésicos, donde se diseñó un formulario de evaluación estandarizado para la valía genética. Era el apogeo de la eugenesia americana.



24 de julio de 1912. El buen linaje

En el suntuoso hotel Cecil de Londres, celebridades y altos cargos políticos de doce países, entre los que se encuentran Winston Churchill o Lord Balfour, se celebra el “Primer Congreso Internacional de Eugenesia” sobre la manipulación genética para la mejora de la especie.

Los alemanes exponen sus primeros pasos teóricos para una futura “higiene” racial. Los americanos, en cambio, exhiben con su habitual pragmatismo las operaciones a gran escala que ya se están realizando para la eliminación de “linajes defectuosos” de los genéticamente no aptos, como epilépticos, esquizofrénicos, discapacitados mentales o delincuentes. Son ocho los estados con leyes eugenésicas a la espera de que esta se convierta en ley nacional.

El congreso está presidido por un extraño cuadro: el árbol genealógico de Francis Galton, un científico inglés, nieto de Erasmus Darwin y primo del mismísimo Charles. Galton, muerto apenas un año antes, había escrito en 1883 “Inquires in Human Faculty and its Development” donde define el término de euge-

nesia o “buen linaje”. Para Galton, que había quedado impactado por la obra de su primo, la idea era sencilla: la cría selectiva de los más aptos podría lograr en unos decenios lo que la naturaleza tardaba una eternidad.

Galton, aunque era consciente de la tremenda influencia del entorno (acuñó la expresión *nature versus nurture*) estaba convencido de que cualidades como la inteligencia, la belleza e incluso la clase y la prestancia, eran puramente hereditarias. Llegó a hacer profusos estudios genealógicos de los nobles británicos para demostrar que con una adecuada reproducción dirigida se podía mejorar la raza humana en pocas generaciones. Galton defendía científicamente el poder de una “eugenesia positiva”. Simplemente era genética aplicada, como la agricultura no era más que botánica aplicada.

Deslumbrada por el desarrollo tecnológico de la revolución industrial, resultado del dominio del hombre sobre la naturaleza, pero también temerosa ante la extensión de la “mediocre” clase obrera, entre la clase intelectual y dirigente no tardó en propagarse la idea de una eugenesia negativa. “Es en la esterilización del fracaso y no en la selección del éxito donde reside la posibilidad de mejora del ser humano” defendía el mismísimo H.G. Wells tras asistir a una conferencia de Galton (absolutamente contrario a esta idea). En 1911, un colega del propio Galton lanza una inquietante metáfora: “Queremos cultivar el sentido del orden, alentar la afinidad y la previsión, arrancar de raíz las malas hierbas raciales. En este menester nuestro símbolo y nuestro guía es el jardinero en su jardín”.

Año 1864. El jardinero en su jardín

En un jardín de un monasterio de Moldavia, un sacerdote poco interesado en vida espiritual y que ha suspendido dos veces el examen de ciencias naturales para el acceso al cuerpo de maestros, descubre la lógica interna de la herencia. Gregor Mendel estudia cómo se propagan características como el color, la altura del tallo o la rugosidad de la piel, entre híbridos de plantas del guisante que él mismo cruza. Las evidencias son indiscutibles: la herencia se transmite por unidades de información discretas.

Mendel publicó sus resultados en los Anales de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brno. En sus líneas se hallaba la fundación de la biología moderna. Nadie lo leyó. Apenas una cita entre 1890 y 1900. Se tardó una década en definir la palabra “gen”. Mientras, en Europa y América ya se discutía cómo manipular la herencia, cómo limpiar el jardín de la vida.

Astrónomas y astrofísicas en España: una situación singular

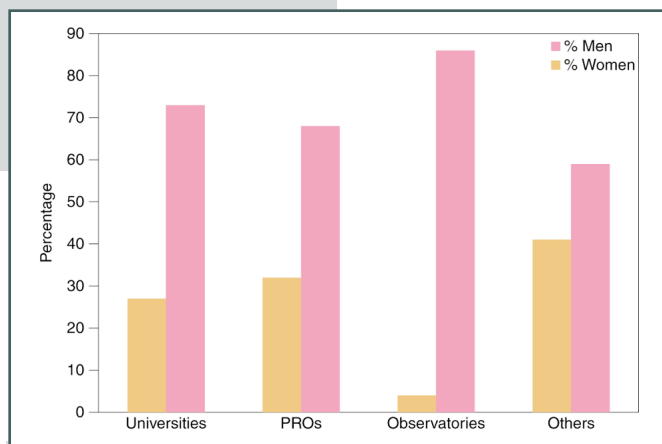
La baja presencia de las mujeres en ciencia y tecnología es un problema mundial, cuya solución depende de comprender las razones subyacentes

► Es de sobra conocido el aumento en cantidad y calidad de la astronomía española desde los años 70, debido a diferentes factores, como los planes nacionales de investigación científica y desarrollo tecnológico o la creación de diversas instituciones de investigación y la creación de puestos de astronomía en las universidades.

Por otro lado, el 8 marzo 2005, el gobierno español aprobó una serie de “medidas para promocionar la igualdad entre mujeres y hombres” que serían reforzadas por la “ley orgánica 3/2007 del 22 marzo para la igualdad real entre mujeres y hombres”, popularmente conocida como la ley de igualdad. Tanto en uno como en otro, se abocaba por un tratamiento igual y por la igualdad de oportunidades en el acceso al empleo, a la educación y a la promoción en las condiciones de trabajo.

En agosto de 2018 se publicó en *Nature Astronomy* el artículo *A sociological study of gender and astronomy in Spain* (Pérez Sedeño, Kiczkowski, & Márquez Pérez, 2018). En él presentamos nuestra investigación sobre la situación de las mujeres en el campo de la astronomía y astrofísica en España, cuyos primeros resultados se publicaron en español en el año 2010 (Pérez Sedeño & Kiczkowski).

En el trabajo que ahora reseñamos presentamos los datos estadísticos obtenidos en ese momento y una actualización a 2016. A la vez, presentamos los resultados de las entrevistas en profundidad con profesorado e investigadores y con grupos de estudiantes predoctorales y postdoctorales que realizamos entonces. Nuestra investigación pretendía indagar en la



Porcentajes de mujeres y hombres trabajando en astronomía en España en 2009. Fuente: *A sociological study of gender and astronomy in Spain*, *Nature Astronomy*.

situación de las mujeres astrónomas y astrofísicas en España y fue una de las muchas actuaciones que llevamos a cabo dentro del grupo de trabajo “Ella es una astrónoma” que se organizó con ocasión del Año Internacional de la Astronomía 2009, y que fue uno de los proyectos pilares de esa celebración.

Números y porcentajes

Para el estudio cuantitativo, recopilamos datos de cuarenta y seis instituciones: veintiún universidades con departamentos de astronomía o astrofísica, otras diez universidades con personal no adscrito a un departamento especializado, ocho centros de investigación pertenecientes a Organismos Públicos de Investigación (OPIs), cuatro observatorios y, finalmente, otras instituciones como un planetario o el Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental en el Centro Europeo de Astronomía Espacial. En ese momento, setecientas noventa y cuatro personas trabajaban en el campo de la astronomía y la astrofísica en España, de las cuales el 70% eran hombres y el 30% mujeres: este es un porcentaje inferior al de las mujeres investigadoras que había en España, que ascendía al 37,02%. La distribución por instituciones era la siguiente: en universidades, ochenta y

seis mujeres frente a doscientos veintinueve varones (27,3% de mujeres), en OPIs ciento treinta y ocho de trescientos (31,5%) y en observatorios y otras instituciones quince mujeres y veintiséis hombres (36,5%).

La situación no ha cambiado mucho en los últimos años, pues en la actualidad solo un 29% de mujeres ocupan puestos en la astronomía y astrofísica (frente al 39% de investigadoras en general), siendo solo un 34% quienes tienen una posición permanente. Y, como sucede en otras ciencias e ingenierías, hay que señalar que sigue funcionando el techo de cristal, pues el porcentaje de mujeres que tienen cátedra universitaria tan solo es del 15% y en los OPIs es aún menor, un 4%.

Más allá de las cifras

También presentamos el estudio cualitativo realizado en España en el año 2009 y publicado en 2010 (Pérez Sedeño y Kiczkowski). El propósito de este estudio cualitativo era ir más allá de las cifras, que pueden ser muy indicativas pero muchas veces no nos dan pistas sobre los factores que pueden influir en que haya desigualdades en el desarrollo de las carreras profesionales de mujeres y hombres en el campo de la astronomía. En este caso entrevistamos tanto a mujeres como a hombres y analizamos y comparamos sus discursos. Además, eso nos permitía contrastar y evaluar las diferentes y respectivas trayectorias profesionales

y ver en qué aspecto coinciden investigadores e investigadoras y en cuáles difieren, tanto desde un punto de vista personal como profesional.

Efectuamos catorce entrevistas en profundidad (ocho mujeres y seis hombres) a personas con posiciones permanentes y pertenecientes a universidades o centros de investigación de Barcelona, Granada, La Laguna y Madrid, es decir, los lugares donde se encuentran los centros astronómicos más importantes. Los criterios utilizados para elegir a los entrevistados fueron su experiencia investigadora y docente, que dirigieran proyectos de investigación financiados y que tuvieran o hubieran tenido puestos de toma de decisiones. Estas entrevistas eran semiestructuradas, es decir, contaban con un guión previo pero los y las entrevistadas tenían completa libertad para responder e introducir nuevos temas. El análisis se basó en unos ejes temáticos que trazaban una línea temporal que coincidía con los hitos más importantes de su carrera académica o científica (su camino educativo, profesional y personal), cuestiones sobre la situación de la astronomía en España y observaciones sobre la situación de las mujeres en ella.

También llevamos a cabo grupos de discusión constituidos por personal predoctoral y postdoctoral. Estos grupos nos proporcionaban una información general más amplia y mayor cantidad de opiniones y contrastes. En total se hicieron seis grupos de discusión con treinta y seis participantes en total: doce mujeres y doce hombres en su etapa predoctoral y seis mujeres y seis hombres que estaban en su etapa postdoctoral. Estos grupos de discusión se reunieron en organizaciones de Barcelona, Granada y La Laguna y resultaron ser una fuente de información muy interesante que creó un espacio de encuentro, reflexión y de puesta en común de experiencias muy rico.

Este estudio reveló que había una opinión general muy clara en el sentido de que las condiciones de trabajo de

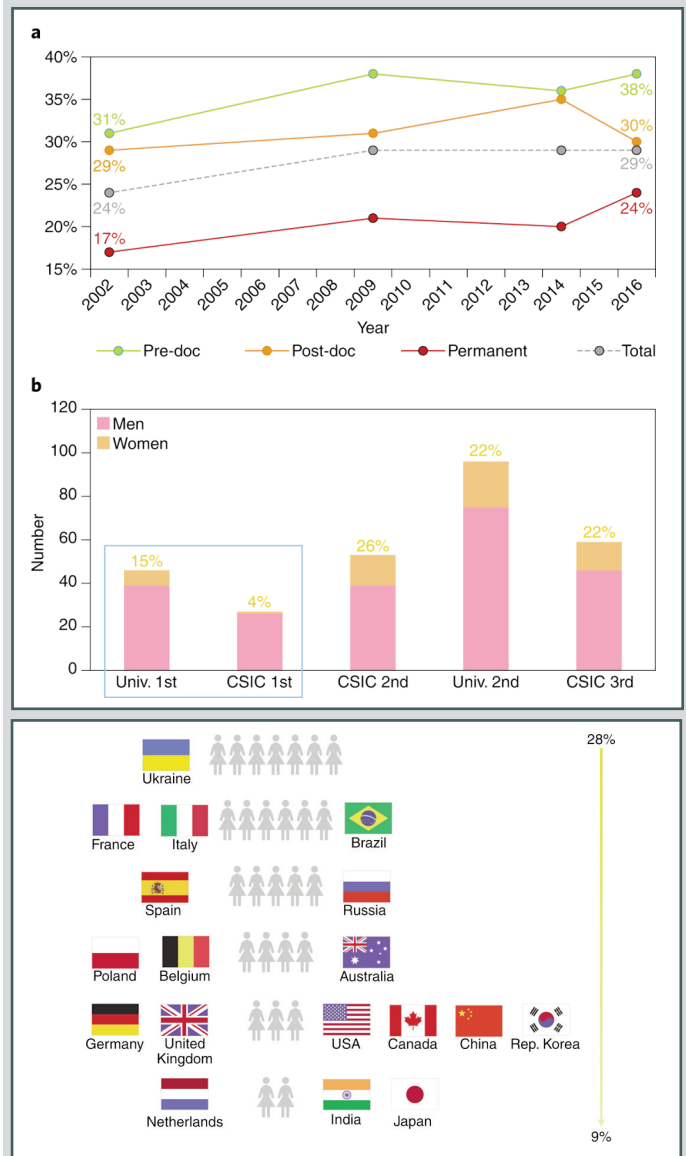
las astrónomas habían mejorado sin duda alguna y que, en consecuencia, se habían superado desigualdades, desequilibrios y discriminaciones no solo en el caso de la astronomía, sino también en otras muchas áreas científicas. También existía el sentimiento unánime de que, a pesar de estos avances, todavía había diferencias y desequilibrios, pero también se pensaba que esas diferencias desaparecerían en el futuro. En muchas ocasiones se expresaba la opinión de que si cambiaba la sociedad, también cambiaría el estatuto profesional de las mujeres y, por tanto, se lograría el equilibrio de género en todas las instituciones y en todos los escalafones profesionales, en astronomía y astrofísica.

La percepción de la desigualdad

Sin embargo, a pesar de la impresión general de mejora, todos los participantes señalaban que todavía no se había logrado la plena igualdad. Las desigualdades se presentan especialmente en las categorías más elevadas, en los puestos de toma de decisión y en todos aquellos con responsabilidad directiva o política. Las opiniones obtenidas en las entrevistas y los grupos de discusión indicaban que las estadísticas no explicaban de manera adecuada las razones o las causas por las que se mantenía la desigualdad, en especial en los niveles más altos. Y no se entendía que las situaciones de discriminación fueran consecuencia directa de procesos locales que se daban en su entorno, es decir, en los lugares en los que desarrollaban su actividad o a los que pertenecían. Incluso aunque no lo dijeran explícitamente, tenían la idea subyacente de que las discriminaciones internas no eran el resultado de acciones discriminatorias directas en su entorno más cercano. Por ejemplo, no se consideraba que la maternidad fuera un aspecto relevante para la profesión. Por tanto, si las mujeres decidían ser madres, tendrían que intentar conciliar trabajo y maternidad, y, aunque entendían que eso era difícil, no pensaban que tuviera nada que ver con el sistema de ciencia y tecnología. Por otro lado, había una convicción casi general, tanto entre mujeres como

entre hombres, en especial entre los de menor edad, de que la infrarrepresentación de las mujeres en astronomía era una consecuencia lógica del inferior número de mujeres que había en la universidad en las carreras que dan acceso a la profesión.

En este sentido, es importante subrayar que mujeres y hombres postdoc consideraban que la desigualdad sufrían las mujeres era parte del pasado de España y que por tanto era irrelevante en la actualidad. También es interesante que hombres y mujeres jóvenes expresaran la idea de que el problema de la paridad en la universidad y en otras esferas estaba resuelto. De manera similar se expresaban las generaciones mayores, aunque había más hombres que mujeres que consideraban esto y que la situación era muy diferente de cuando estudiaban. Sin embargo, después de reflexionar, admitían que esta cuestión no estaba resuelta y tendían a justificarlo de la siguiente manera: los entrevistados, pero especialmente los hombres, decían que las cosas iban por buen camino y que, dado que las mujeres se habían incorporado masivamente a la universidad, ese crecimiento conllevaría definitivamente a la igualdad; era simplemente una cuestión de tiempo. Este problema está vinculado con otro que aparece como un eje de tensión en el estudio: la naturaleza de los mecanismos que mantienen o producen la discriminación o desigualdad de las mujeres en las profesiones científicas. Por lo general, las personas entrevistadas tendían a creer que la desigualdad tenía que ver con procesos de naturaleza ideológica o política, social, externa y global, que se dan en la estructura general de la sociedad. Dicho de otro modo, la discriminación en la esfera investigadora o académica es un reflejo de una situación más amplia. Muchas mujeres, tanto en las entrevistas como en los grupos de discusión, coincidían inicialmente en que las dificultades no se debían a acciones directas relacionadas con los individuos en el campo de la astronomía pero, después de reflexionar, comenzaban a percibir y a señalar experiencias de primera mano de discriminación, falta de interés, olvido y falta de mecanismos con los que resolver problemas dentro de la comunidad científica. Admitían que había sido un des-



Arriba, porcentaje de mujeres en investigación en España. Debajo, porcentajes de mujeres astrónomas afiliadas a la Unión Astronómica Internacional en 2017. Fuente: *A sociological study of gender and astronomy in Spain*, Nature Astronomy.

año situarse “en un mundo de hombres”. Por lo general, los hombres entrevistados se resistían a admitir que pudieran actuar directa o indirectamente como agentes discriminadores. Sería deseable desarrollar un nuevo estudio sociológico en los años 2019-2020, diez años después del primero, para pulsar posibles cambios en una década. Y sería especialmente interesante seguir las carreras de quienes estaban comenzando en el año 2009. Eso podría ayudar a explicar los efectos directos de las condiciones culturales y sociales concretas ya establecidas que afectan a las mujeres y que pueden tener un impacto negativo en sus carreras. En el año 2010 se constituyó la Comisión Mujer y Astronomía en la Sociedad Española de Astronomía (SEA), que se comprometió a presentar informes anuales sobre la situación de las mujeres, por ejemplo el porcentaje de mujeres que lideran proyectos de investigación, la asignación de tiempos

de observación, el porcentaje de mujeres presidentas de sesión o de comités de congresos, etc. La producción de estadísticas anuales ayuda a monitorizar posibles cambios, a cuantificar su impacto y llevar a cabo acciones de apoyo. En 2016, la SEA aprobó su Plan de Igualdad, que suponemos tendrá un impacto profundo, pues contempla acciones específicas; se prevé su evaluación cada dos años y sus resultados proporcionarán la base para acciones posteriores.

Eulalia Pérez Sedeño (Dpto. Ciencia, Tecnología y Sociedad, Instituto de Filosofía, CSIC)

REFERENCIAS:

Pérez Sedeño, E. & Kiczkowski, A. 2010. *Un Universo por Descubrir. Género y Astronomía en España*. Plaza y Valdés.
 Pérez Sedeño, E., Kiczkowski, A. & Márquez Pérez, I. 2017. *A sociological study of gender and astronomy in Spain*. Nature Astronomy. VOL 2, 2018.

Una región del universo muy densa pone a prueba la teoría de formación de estructuras en el cosmos

Muestra que debe haber mecanismos muy eficaces, no contemplados hasta ahora, para la acumulación de materia en torno a las grandes estructuras que pueblan el universo

► Según la teoría cosmológica más aceptada, antes de que se formaran las galaxias ya había concentraciones de materia oscura que sirvieron de aglutinante: el gas que daría lugar a las primeras galaxias se concentró en los grumos de materia oscura (un tipo de materia que no emite luz y solo interacciona gravitatoriamente), y este tipo de materia sigue siendo mayoritario en galaxias y cúmulos de galaxias, en forma de enormes halos en torno a la materia luminosa. Ahora, un grupo de investigadores, con la participación del IAA, ha hallado un halo de materia oscura tan denso que pone de manifiesto la existencia de mecanismos de crecimiento no contemplados.

“La estructura a gran escala del universo es como una especie de tela-ña en tres dimensiones, con grandes vacíos salpicados por filamentos y nodos densos de galaxias y cúmulos de galaxias -señala Mauro Sereno, investigador del Instituto Nacional de



Imagen del cúmulo de galaxias PSZ2 G099.86+58.45 obtenida utilizando tres imágenes distintas del telescopio espacial Hubble (fuente: Anna Serena Esposito y Luca Izzo).

Astrofísica (INAF, Italia) que encabeza el estudio-. Su estudio resulta complicado, porque los principales componentes del universo, la energía y materia oscuras, no se conocen con certeza y la materia ordinaria, que forma estrellas y planetas, apenas constituye un 5% del total”.

De hecho, en los cúmulos de galaxias, las mayores estructuras del universo, la proporción de materia oscura y ordinaria está en torno al 5 a 1. El grupo de investigadores estudió una muestra de cúmulos para comprobar si, además de una relación ya conocida, según la que las regiones muy densas albergan halos de alta masa -y, al contrario, las de menor densidad albergan

halos menores-, pueden existir otros mecanismos, relacionados con el entorno de los halos, que puedan influir en la cantidad de materia que contienen.

Y hallaron un sistema extraño. “Estudiamos el entorno alrededor del cúmulo PSZ2 G099.86+58.45 hasta distancias de millones de años luz y comprobamos que presenta una densidad de materia seis veces mayor de la que cabría esperar”, apunta Luca Izzo, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSCI) que participa en el trabajo.

Los investigadores aplicaron una técnica conocida como lente gravitatoria: la materia del cúmulo y su entorno, en

su mayor parte materia oscura, desvía los rayos de luz de las galaxias de fondo y actúa como una lupa, o una lente deformadora. A mayor densidad de materia, mayor será la deformación de las galaxias de fondo, y el estudio de 150.000 galaxias permitió determinar la densidad de PSZ2 G099.86+58.45, muy superior a la esperada.

“Este hallazgo revela un entorno muy raro en el actual paradigma de formación de estructuras en el universo e implica que, en efecto, existen mecanismos de aumento de masa en los grandes halos que pueden resultar muy eficaces”, concluye Mauro Sereno (INAF). S.L.L (IAA)

Kelt-9b, el exoplaneta más caliente conocido, está perdiendo su atmósfera

Similar a Júpiter, Kelt-9b es más caliente que algunas estrellas

► Las condiciones de Kelt-9b son infernales: gira extremadamente cerca de su estrella anfitriona, Kelt-9,

cuya temperatura dobla la del Sol. Se trata del exoplaneta más caliente descubierto, y un estudio con el instrumento CARMENES, del Observatorio de Calar Alto, ha revelado la presencia de una atmósfera de hidrógeno en torno a Kelt-9, que

está siendo arrastrada y capturada por la fuerza gravitatoria de su estrella.

La temperatura de la estrella Kelt-9 asciende a unos diez mil grados (el Sol alcanza los cinco mil quinientos grados), y su planeta gira alrededor

de ella en una órbita diez veces más pequeña que la de Mercurio en torno al Sol. Descubierto en 2017, este planeta, que tiene tres veces la masa de Júpiter y casi el doble de su diámetro, muestra una temperatura diaria de cuatro mil trescientos gra-

dos, más caliente que muchas estrellas.

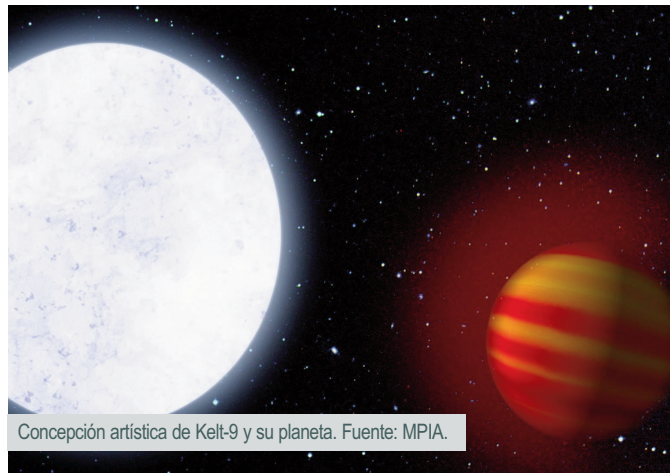
Kelt 9-b se halló mediante el método de los tránsitos, que consiste en observar las pequeñas variaciones que se producen en el brillo de las estrellas cuando sus planetas pasan por delante de ellas.

Al observar la estrella Kelt-9 con el espectrógrafo CARMENES, instalado en el telescopio de 3,5 metros en el Observatorio de Calar Alto, se encontraron rastros de la atmósfera del planeta: cada vez que el planeta se hallaba frente a su estrella podían detectar cómo su atmósfera rica en hidrógeno absorbía parte de la luz de su estrella anfitriona. "CARMENES ofrece una vista particular-

mente detallada y de alta resolución del espectro estelar, lo que la convierte en una excelente herramienta para este tipo de observación", apunta Pedro J. Amado, investigador del IAA-CSIC que ha codirigido el desarrollo del instrumento.

La atmósfera de hidrógeno que rodea KELT-9b es sorprendentemente extensa, equivalente a más de la mitad del radio del planeta. Los modelos que simulan cómo la gravedad de la estrella tira del gas del planeta muestran que se halla cerca de su tamaño máximo, y se estima que el planeta está perdiendo hidrógeno a una tasa de más de cien mil toneladas por segundo.

"Este resultado constituye un claro



Concepción artística de Kelt-9 y su planeta. Fuente: MPIA.

ejemplo del potencial de CARMENES para este tipo de estudios, que son la base del siguiente proyecto

que llevaremos a cabo con el instrumento", adelanta Pedro J. Amado (IAA-CSIC).

El extraño caso de HuBi1, un cadáver estelar vuelto del revés

La estructura física de una nebulosa planetaria producida por la muerte de una estrella similar al Sol es opuesta a la habitual en estos objetos

► 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. En esta envoltura, las regiones más próximas a la estrella, más calientes, muestran una ionización mayor que las más lejanas y frías. Exactamente lo contrario que en HuBi1, que presenta una estructura de ionización invertida producto de su peculiar evolución: se trata de una estrella renacida.

HuBi1 aparenta ser una nebulosa planetaria doble típica, con una envoltura de gas difusa exterior y un cascarón central brillante, pero esta investigación ha revelado sus peculiaridades: la envoltura de gas exterior se está

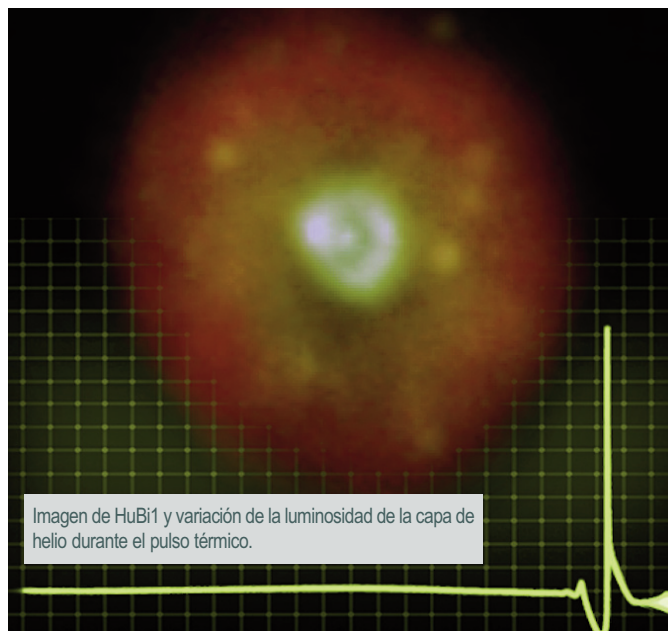


Imagen de HuBi1 y variación de la luminosidad de la capa de helio durante el pulso térmico.

recombinando, un hecho inédito en una nebulosa planetaria, y la estrella central se ha apagado en apenas cincuenta años (era diez mil veces más brillante en 1971 que en 2017).

"Lo más sorprendente es la estructura de ionización del cascarón brillante central, cuya región interna, más fría que la más externa, desafía las leyes más básicas de la termodinámica y apunta a un episodio peculiar en la evolución estelar", señala Martín A.

Guerrero, investigador del IAA-CSIC que ha liderado el trabajo.

Esta estructura es, de hecho, típica de las ondas de choque producidas por material en rápida expansión a través de un medio circundante lo que, unido a que la estrella no emite suficientes fotones ionizantes, dibuja un escenario poco habitual.

"En unas decenas de miles de años las planetarias se dispersan en el medio interestelar y la estrella central se va

extinguendo. La estrella central de HuBi1, en lugar de apagarse progresivamente, revivió gracias a un pulso térmico tardío que fusionó el helio de su superficie", apunta Marcelo M. Miller Bertolami, investigador del Instituto de Astrofísica de La Plata (Argentina) que participa en el estudio.

HuBi1 ha sido capturada en el momento en el que su estrella central se ha transformado en una estrella pobre en hidrógeno de tipo [WC]. El origen de estas estrellas, presentes en un 15% de nebulosas planetarias, no había podido ser identificado hasta ahora. En este proceso se produjo la expulsión de grandes cantidades de gas a una velocidad superior a la de la nebulosa primigenia, y la interacción de ambos tipos de material generó choques y la doble estructura que se observa en la nebulosa.

Los investigadores continuarán estudiando la evolución de HuBi1, ya que se trata de uno de los escasos ejemplos de estrellas renacidas observados. "Además, viniendo de una estrella progenitora similar al Sol, la nebulosa HuBi1 constituye un ejemplo de un posible episodio final para nuestra estrella", concluye Martín A. Guerrero (IAA-CSIC).

Silbia López de Lacalle (IAA)

Cultura con C de Cosmos (C³)

En la intersección entre la ciencia y el arte, la cultura roza la perfección

► Durante milenios, la inmensidad del cosmos y los acontecimientos celestes que podíamos observar han fascinado al ser humano, sea por el terror que algunos fenómenos astronómicos inspiraron, por la creencia irracional de que nuestro destino pudiera estar escrito en las estrellas, o por la propia inquietud científica que surgió en el mundo clásico y cristalizó en el Renacimiento. Todo ello ha quedado plasmado en un maravilloso legado de obras de arte pertenecientes a diferentes épocas y tradiciones culturales, que nos muestran cómo ha ido evolucionando nuestra concepción del universo y el lugar que ocupamos en él. Pintura, escultura, literatura, teatro, música, cine, danza... todas las áreas del arte y del conocimiento humanista tienen fascinantes intersecciones con las aproximaciones científicas al estudio del cosmos.

Los museos guardan multitud de tesoros relacionados con la astronomía, a menudo desconocidos para el gran público: cerámicas prehistóricas, mosaicos romanos, libros incunables, grabados medievales, pinturas renacentistas, partituras musicales... que dejan constancia de las creencias y el conocimiento sobre el universo de cada época, e incorporan en ocasiones los descubrimientos astronómicos contemporáneos de cada artista.

Cultura con C de Cosmos (C³) es un proyecto de Cultura Científica que tiene como objetivo divulgar la astronomía y la astrobiología a través de acciones en una quincena de museos y entidades culturales de Madrid y, en paralelo, difundir sus colecciones empleando una mirada científica. Las actividades, con formatos diversos en cada una de las instituciones participantes, están destinadas al público general. En colaboración con su propio personal de educación y difusión, abordaremos el diálogo entre "ciencias", "artes" y "humanidades" con el vocabulario y el nivel adecuados para inspirar a sectores del público que no suelen acercarse a la investigación y están alejados del entorno científico. C³ se presentaba el 23 de octubre en



la sede central del CSIC en Madrid. Sus actividades tendrán lugar entre octubre de 2018 y marzo de 2019, aunque habrá iniciativas que perduren más allá de esta fecha. Se organizarán itinerarios didácticos, conciertos, tertulias, cine fóruns, ciclos de conferencias... todo ello inspirado en la fascinación por el cosmos y sus misterios. Todas las actividades de C³ se actualizarán regularmente en la web del proyecto (culturacosmos.es), y serán difundidas a través de Twitter (@CulturaCCosmos) y otras redes sociales. Esperamos que sirvan para estimular a muchas personas de formación e inquietudes variadas, pero siempre interesadas por esa maravillosa obra colectiva que es la cultura.

Montserrat Villar Martín (coordinadora de Cultura con C de Cosmos) y Carlos Briones (coordinador adjunto). Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)

EL PROYECTO:

Cultura con C de Cosmos está coordinado desde el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA). El equipo responsable lo integran ocho personas, investigadores y divulgadores del propio CAB y de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid.

Para la realización de las numerosas actividades programadas, C³ cuenta además con la colaboración de doce científicos y comunicadores de la ciencia del Área de Cultura Científica del CSIC, el Instituto de Física Fundamental (CSIC), el CAB, el Observatorio Astronómico Nacional, el Instituto de

Geociencias (CSIC), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la revista *Astronomía*.

El proyecto ha recibido financiación de FECYT, CSIC e INTA. Cuenta, además, con el respaldo institucional de la Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica del CSIC, la Oficina para la Divulgación de la Astronomía de la Unión Astronómica Internacional a través de su nodo español, la Sociedad Española de Astronomía y la Real Academia de Doctores de España. Colaboran también RNE, la revista *Astronomía*, la galería de arte AC y las tertulias Diálogos del Conocimiento.

Museos y centros participantes:

Ateneo de Madrid, Conservatorio de Música Arturo Soria, Fundación Telefónica, Museo Arqueológico Nacional, Museo Geominero, Museo Nacional de Artes Decorativas, Museo Nacional de Ciencia y Tecnología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, Museo del Traje, Museo del Romanticismo, Museo Naval y Fundación Museo Naval, Naves Matadero, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Real Sociedad Económica Matritense de Amigos del País, Real Jardín Botánico.



Crédito: Lucía Villar.

CULTURA CON C DE COSMOS

SALA limpia

por Miguel Abril (IAA)



la respuesta:

¿Cuánto tiempo se ha pasado Pedro Duque en el espacio?

- a) Tres semanas
- b) Tres meses
- c) Doscientos tres días
- d) Lunes y miércoles de cinco y media a siete. Es una actividad extraescolar.

Lo primero que hacen los cosmonautas rusos cada día justo después de levantarse es someterse a una sesión de centrífuga, que es justo lo que uno se imagina por su nombre: como una centrifugadora de lechuga gigante, con un contrapeso en uno de los extremos y un sillón en el otro, para someter al desgraciado que se siente en él a vueltas y más vueltas a toda velocidad. Viene a ser un instrumento diseñado para optimizar la capacidad de marear a alguien. El propio autor de estas líneas ha tenido la oportunidad de experimentarlo. ¿A que ninguno de los lectores de esta sección se imaginaba que este humilde articulista pudiera haber sido en algún momento de su vida aspirante a astronauta? Bueno, tengo que reconocer que mi experiencia no tuvo lugar en el *Johnson Space Center*, ni en la Ciudad de las Estrellas, ni en ninguna otra de las instalaciones donde se entrenan los astronautas, sino en las tazas de Alicia de Disneyland Paris. Las tazas de Alicia son inofensivas hasta que tu cuñado culturista se pregunta para qué es el volante que tienen en el centro y empieza a girarlo con toda la fuerza que le dan sus brazos, que son como tus piernas. No sé cómo será la experiencia en la centrífuga, pero doy fe de que el mareo de las tazas de Alicia dura todo el día, como una resaca mal llevada. Y eso es precisamente lo que se pretende con la primera actividad diaria del entrenamiento de los cosmonautas: acostumbrar al cuerpo al malestar continuo que se experimenta en el espacio ante la falta de gravedad. Esto da una idea de la exigencia

mental y física que tienen que soportar los candidatos durante el entrenamiento.

Pero... ¿en qué se basa el proceso de selección de astronautas? Cuando yo estaba en la facultad vino a dar una conferencia alguien de una gran empresa tecnológica, de hecho una de las más punteras en aquel momento. En el debate posterior alguien le preguntó que hasta qué punto era importante el expediente

(vale, en Gran Hermano también y no son los más listos, pero es que ahí se valoran otras cosas). Sin embargo, como dijo aquel conferenciante, se buscan muchos otros aspectos que pueden resultar más importantes que las notas: creatividad, capacidad de trabajo y de liderazgo, espíritu de cooperación, ingenio, empatía... Incluso la humildad, como narra el astronauta canadiense Chris Hadfield en el capítulo

sesiones y más sesiones de simulador en las que se recrean todo tipo de fallos críticos. El aprendizaje de las bases teóricas y prácticas de los experimentos científicos que se llevan a cabo en la ISS. Entrenamiento con trajes espaciales en piscinas para recrear las EVA o *ExtraVehicular Activity* (los paseos espaciales, vamos). Y, por supuesto, ruso, especialmente desde que se canceló el programa del transbordador espacial y es la agencia espacial rusa la responsable de los viajes tripulados de la NASA y la ESA.

A todo esto, la respuesta correcta es la a. Sí. Menos que la a, de hecho, porque Pedro Duque no ha llegado a estar ni tres semanas en el espacio. Ha volado en dos misiones, la STS-95 y la Soyuz TMA-3, contabilizando en total dieciocho días fuera de nuestro planeta. Después de todo lo que hemos contado aquí, es inevitable preguntarse: ¿vale la pena un entrenamiento y una preparación tan exigentes para pasar menos de un mes aplicando todo lo aprendido? La respuesta, en mi opinión, es que sí. Porque, como cuenta Chris Hadfield en su libro, un astronauta no lo es solo en el espacio, sino que el camino recorrido durante su largo aprendizaje aporta, además del evidente bagaje científico y tecnológico, una visión filosófica y global de nuestro mundo y de las relaciones humanas que permite desenvolverse en cualquier situación también en la Tierra. Incluso en las procelosas aguas de la política.



Las tazas de Alicia, ese invento del demonio.

para entrar a trabajar en una empresa como aquella, y él respondió que no tanto como se pensaba, y que a veces se planteaban contratar a gente que había sacado algún notable si lo compensaban con otras aptitudes como espíritu de trabajo en equipo, creatividad, compañerismo o incluso sentido del humor. Uno de mis compañeros de carrera, que estaba sentado a mi lado, me susurró orgulloso al oído: «yo una vez saqué un notable». Tuve que aclararle que con lo del notable el conferenciante se refería a la nota mínima, no a la máxima. En el caso de la selección de astronautas sí están los mejores expedientes. La excelencia académica viene garantizada por el hecho de que se presentaban miles de candidatos por plaza

“Procurar ser un cero” de su maravilloso libro “Guía de un astronauta para vivir en la Tierra”. Luego, en el entrenamiento, se trabajarán otras muchas disciplinas específicamente orientadas al viaje y estancia en el espacio, tales como entrenamiento de supervivencia en entornos hostiles, por si el aterrizaje o el despegue se tuercen y hay que pasar una semanita en el Himalaya o en el desierto del Sáhara mientras te buscan. Una preparación física intensiva, incluyendo muchas horas de vuelo en reactores militares y vuelos parabólicos suborbitales para simular las condiciones de microgravedad y habituar al cuerpo a las condiciones del viaje espacial. Un conocimiento profundo de todos los sistemas de la ISS, a base de

la pregunta:

¿A quién quiero engañar? Es imposible que me organice de forma que me quede espacio para hacer una pregunta en condiciones. Así que, a partir de ahora, cambiamos de formato: no hay adelanto del próximo artículo. Esperad un par de meses, que tampoco os pasa nada...

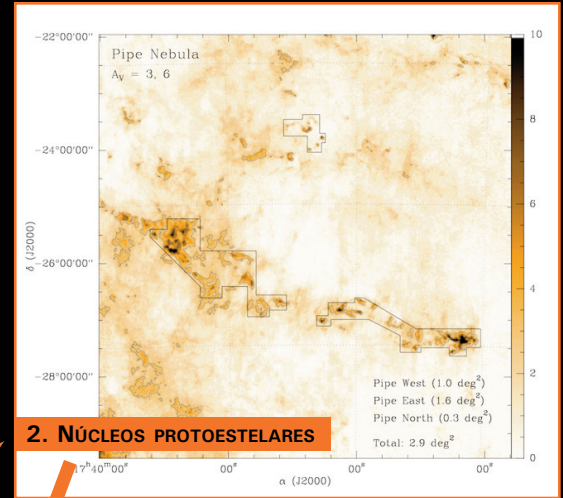
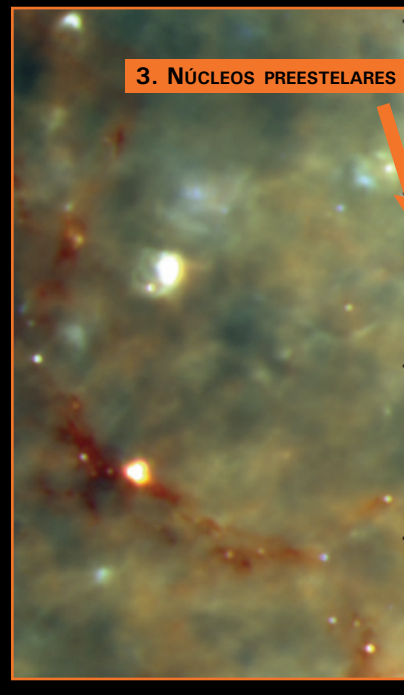
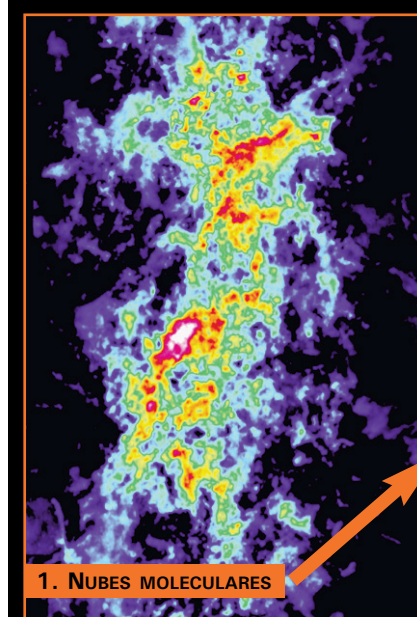
SEGREGACIÓN ESPACIAL EN NUBES MOLECULARES: ¿MASA O DENSIDAD?

Pilares científicos

Si dejamos a un lado la formación del universo como un todo, si ponemos aparte el objeto de estudio de la cosmología, el resto de la astronomía gira alrededor de la transformación de gas en estrellas, de la evolución y muerte de estas, retornando de nuevo el gas procesado al espacio interestelar, en un ciclo finalmente regido por las leyes de la termodinámica.

El conjunto de procesos físicos que llevan a una gran nube de gas a convertirse en un agrupamiento de estrellas es lo que denominamos formación estelar. En un esquema simple podemos diferenciar cinco fases desde la nube de gas molecular hasta la aparición de un cúmulo estelar visible en el rango óptico (ver imagen).

Las nubes moleculares gigantes, las que dan lugar a sistemas estelares, tienen masas entre diez mil y un millón de soles y temperaturas entre 10 y 30 grados kelvin (o entre -243 y -263 grados centígrados). La distribución interna de masa está lejos de ser uniforme, y presenta un alto grado de subestructura mostrando una geometría fractal. La física que domina esta fase es la magnetohidrodinámica. Perturbaciones internas o externas pueden romper el equilibrio de la nube y dar lugar a concentraciones de gas denso (núcleos protoestelares) distribuidos a lo largo de hilos que a su vez forman filamentos que, entretejidos, generan un complejo y transitorio tapiz natural. Cuando en un núcleo protoestelar la gravedad vence a la presión gaseosa y magnética se produce el colapso. La contracción gravitatoria calienta el gas y este empieza a emitir en infrarrojo, así notamos el primer llanto del recién nacido, el anuncio de la formación de un núcleo preestelar. Si la masa de este núcleo supera las trece masas de Júpiter tenemos una estrella. La física nuclear, el electromagnetismo y la termodinámica dominan esta fase a nivel individual y la primigenia nube de gas molecular (o lo que queda de ella) luce como un árbol de navidad en un salón oscuro tacho-



Imágenes de las distintas fases de la formación estelar.
Fuente (4): NASA/JPL-Caltech/E. Mercer (Boston University). (5a) NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), A. Nota (ESA/STScI), and the Westerlund 2 Science Team. (5b y c) ESA/Hubble y NASA.



nado por la emisión de las primeras estrellas recién formadas. Estamos viendo un cúmulo estelar embebido en el gas y solo observable en infrarrojo. A nivel individual cada estrella sigue un complicado modelo de formación, con acreción de material y generación de chorros y vientos estelares capaces de disipar el gas remanente y desvelar la nueva hornada a nuestros ojos. En ese instante, cada sistema estelar puede considerarse un conjunto de masas puntuales sometido a la mutua

interacción gravitatoria de sus componentes dentro de un potencial galáctico más suave y de mayor alcance espacial. El cúmulo estelar puede sobrevivir como un objeto bien definido, observable como una sobredensidad estelar en el campo, por períodos que van desde unos pocos millones hasta miles de millones de años, pero su destino está sellado, se disolverá finalmente en el disco galáctico formando un fondo uniforme mezclado con el resto de escombros de anterior-

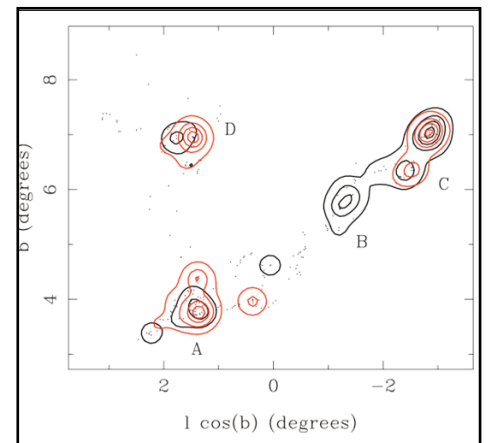
tos mecanismos físicos actuando a la vez en una interacción no lineal que resulta imposible establecer un cuerpo teórico coherente que nos permita siquiera atisbar una solución. ¿Estamos entonces en posición de descanso? Tampoco. Existe todo un programa científico completo para abordar la formación de cúmulos estelares que incluye desarrollos teóricos, simulaciones numéricas y observaciones a diferentes longitudes de onda que nos permitan establecer cotas empíricas a los diferentes aspectos fenomenológicos.

El grupo de Sistemas Estelares del IAA lleva trabajando varios años en la geometría de la formación estelar, en la búsqueda de patrones estructurales en el espacio fase de las diferentes etapas del proceso de formación de cúmulos que permitan establecer restricciones empíricas a los diferentes modelos teóricos propuestos para explicar la variada fenomenología observada.

A los físicos siempre nos han encantado los invariantes, esos observables de los sistemas naturales que en determinadas condiciones permanecen constantes a lo largo de toda su vida. Los principios de conservación del momento y la energía que estudiamos en la escuela secundaria son un ejemplo de lo que hablamos. En la formación de cúmulos estelares tenemos al menos dos invariantes empíricos. Las estrellas de un cúmulo recién nacido muestran una distribución de masa que parece seguir un modelo universal (la función inicial de masa); y la mayoría, por no decir todos los cúmulos jóvenes, con edades inferiores a diez millones de años, muestran una distribución espacial controlada por la masa de sus componentes, de tal forma que las estrellas masivas aparecen principalmente rodeadas de estrellas masivas. A este patrón espacial lo denominamos segregación de masa y se puede explicar por la dinámica estelar como un mecanismo de equipartición de la energía que necesariamente conlleva un tiempo de actuación. En algunos casos este tiempo dinámico es claramente superior a la edad de los cúmulos donde se ha observado este patrón. Así pues, esta teoría no puede explicar todos los casos, lo que conduce a la pregunta

de si la segregación de masa pudiera ser un fenómeno asociado, no a la dinámica de las estrellas sino a la magnetohidrodinámica del gas. En otras palabras, que tuviera un carácter primordial.

Para constatar esta hipótesis analizamos, en colaboración con Carlos Román Zuñiga de la UNAM (México), la distribución espacial de los núcleos gaseosos de la nebulosa de la Pipa. El 90% de ellos no emite en el infrarrojo,



Distribución de núcleos protoestelares de la Pipa en el plano galáctico. En negro los contornos de isodensidad de los cuarenta objetos más masivos, en rojo los de los cuarenta núcleos más densos. La densidad volumétrica muestra una mayor segregación espacial con tres grandes concentraciones en los extremos de los filamentos.

lo que parecería indicar que estamos observando las primeras fases del colapso de la nube. El análisis de la distribución espacial mostró una segregación por masa, corroborando así nuestra hipótesis, pero lo que resultó verdaderamente sorprendente fue encontrar que la principal variable que segregaba espacialmente los núcleos no era la masa, sino la densidad volumétrica de los nódulos (ver imagen superior).

Incertidumbres

El trabajo a seguir está bien definido: analizar si la segregación por densidad es el comportamiento habitual en las nubes moleculares de la vecindad solar, y estudiar qué mecanismo conlleva el paso de una segregación por densidad a una segregación por masa cuando las estrellas ya se han formado.

res sistemas estelares.

A la vista de este guión cualquiera podría pensar que está todo hecho. Bastaría con conocer las propiedades del gas molecular para, a partir de ahí y siguiendo las leyes de la física, deducir el momento de formación de las estrellas y las características fundamentales del sistema estelar recién nacido. Nada más lejos de la realidad. El proceso de formación estelar es un sistema complejo en el sentido científico y popular de la palabra. Hay tan-

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

LA INVESTIGADORA MIRJANA POVIC, DOCTORA VINCULADA AL IAA, GANA EL PREMIO NATURE RESEARCH AWARD

El pasado 30 de octubre se anunciaban las ganadoras de los premios *Nature Research Awards*, que buscan apoyar la igualdad de género y mostrar el trabajo de las mujeres en ciencia. En la categoría de "ciencia inspiradora", que celebra la excelencia de investigadoras en etapas tempranas, ha sido premiada Mirjana Povic, investigadora y profesora asistente en el Instituto Etíope de Ciencia y Tecnología Espaciales y doctora vinculada al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).

Su principal campo de investigación es la formación y evolución de galaxias, centrada en la actividad nuclear en galaxias. Ha participado en más de diez proyectos internacionales (siendo co-investigadora principal e investigadora principal de dos) y cuenta con más de ochenta publicaciones. Trabaja en el desarrollo de la ciencia y la educación en Etiopía, Ruanda, Uganda, Tanzania, Sudáfrica, Kenia y Ghana, a través de colaboraciones de investigación conjunta, supervisiones estudiantiles, capacitaciones, conferencias, desarrollo de normativas y divulgación (ver página 14 de este número).



EL RADIOSCOPIO

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

<http://radioscopio.iaa.es>

GRANADA. CIENCIA PARA UNA CIUDAD

En marzo de 2017, la ciudad de Granada recibió el nombramiento de "Ciudad de la Ciencia y la Innovación" otorgado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Este nombramiento sitúa a la ciudad de Granada como un referente de la investigación multidisciplinar, gracias a la labor de excelencia de su universidad y de todo el conjunto de centros, fundaciones, institutos de investigación y empresas de desarrollo tecnológico que la ciudad alberga. A raíz de este nombramiento, el Ayuntamiento de Granada y las principales instituciones científicas de la ciudad están elaborando un programa de actividades de divulgación científica dirigidas especialmente para la ciudadanía, englobadas en el proyecto *Granada. Ciencia para una ciudad*, coordinado desde el Instituto de Astrofísica de Andalucía.

<http://granadaciencia.es>



GRANADA
CIENCIA E INNOVACIÓN

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

CSIC

