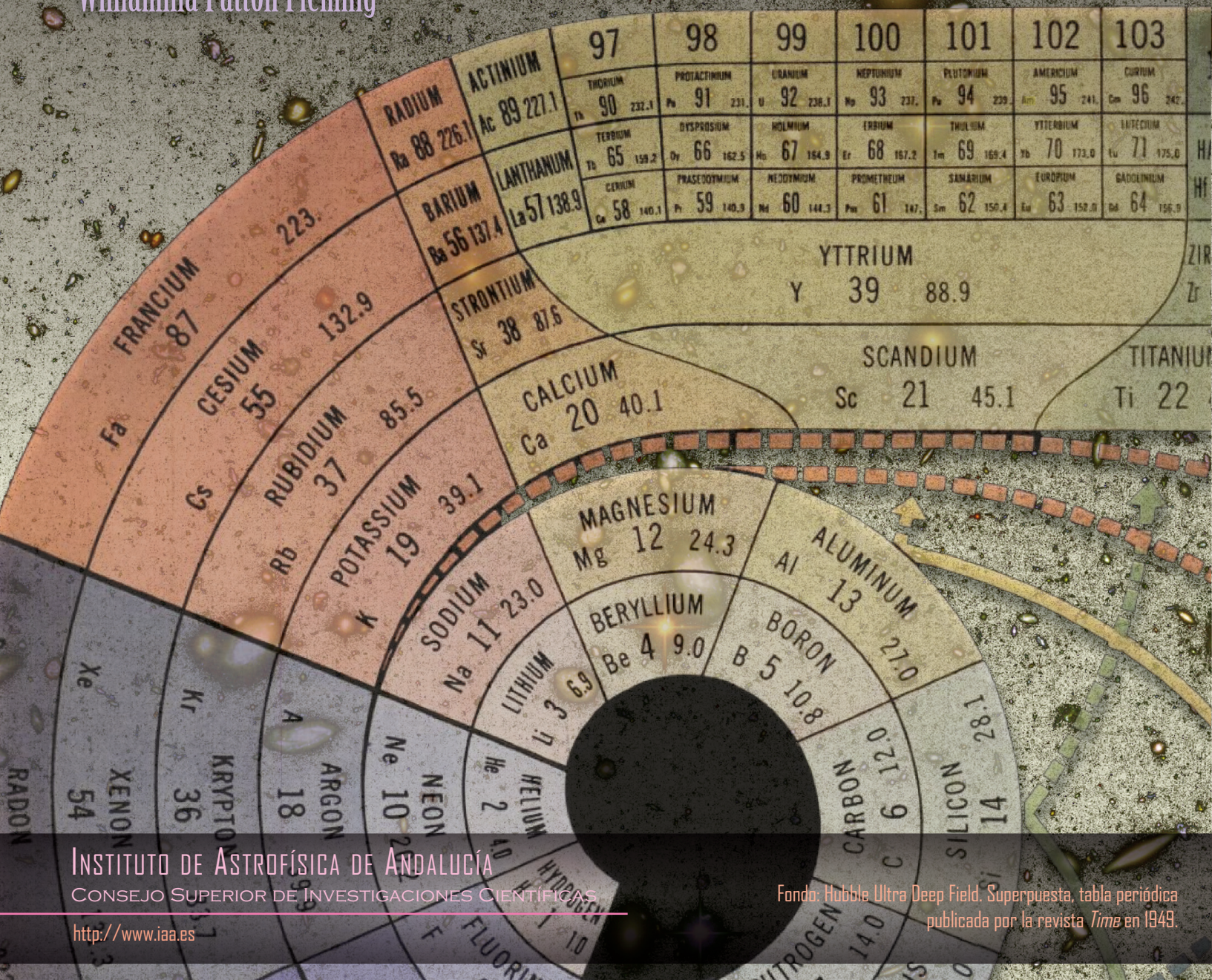


INFORMACIÓN Y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.es/revista>
FEBRERO DE 2013, NÚMERO 39

La evolución química del universo

Supervientos estelares
El bosón de Higgs
Williamina Patton Fleming



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

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

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

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

SUMARIO

REPORTAJES

La evolución química del universo ...3

Supervientos galácticos ...7

CIENCIA EN HISTORIAS. Williamina Patton Fleming. De criada a astrónoma ...11

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. El bosón de Higgs ...12

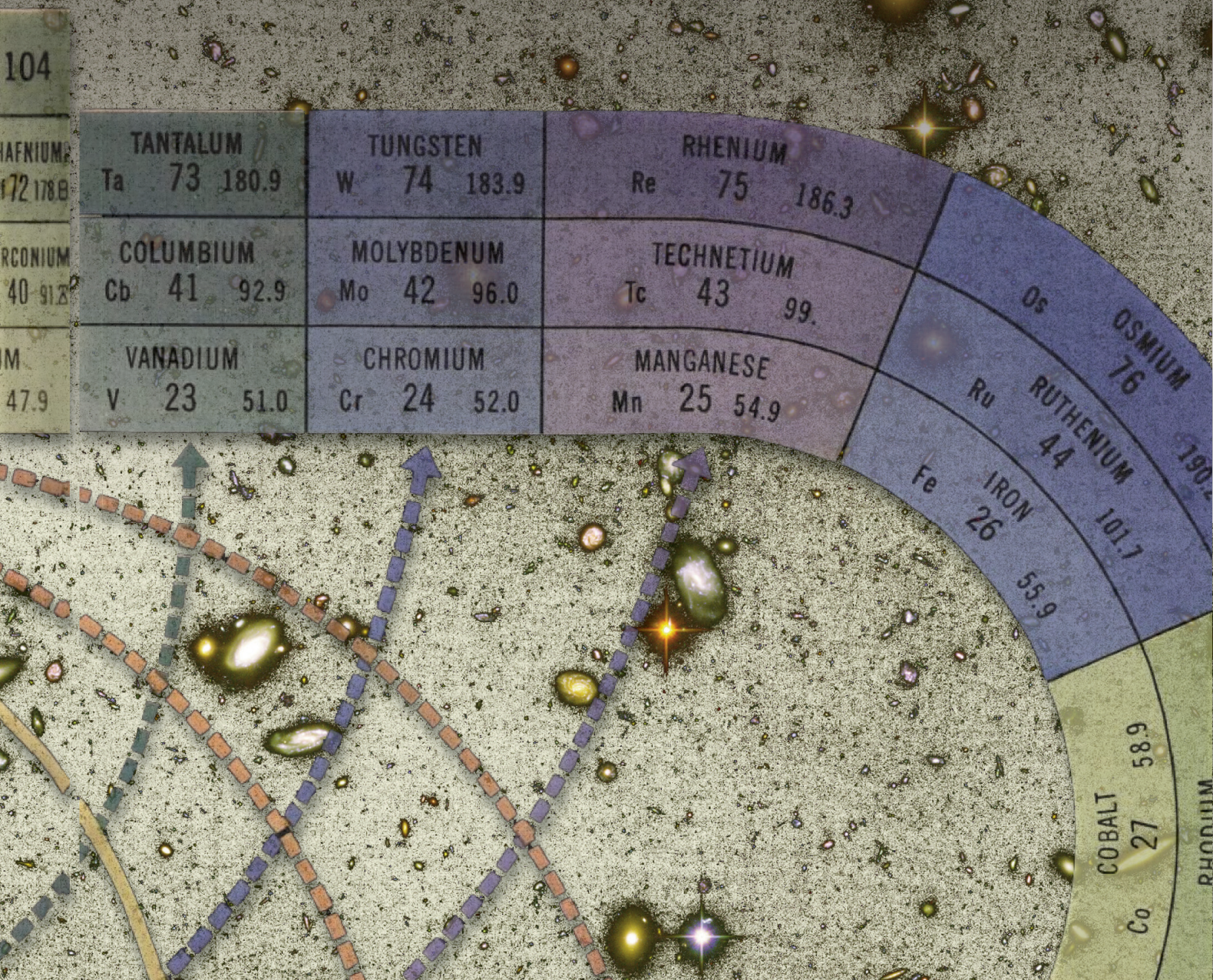
EL "MOBY DICK" DE... Begoña Ascaso (IAA-CSIC)...14

ACTUALIDAD ...15

ENTRE BASTIDORES ...21

SALA LIMPIA ...22

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES. Veinte años de cinturón transneptuniano ...23



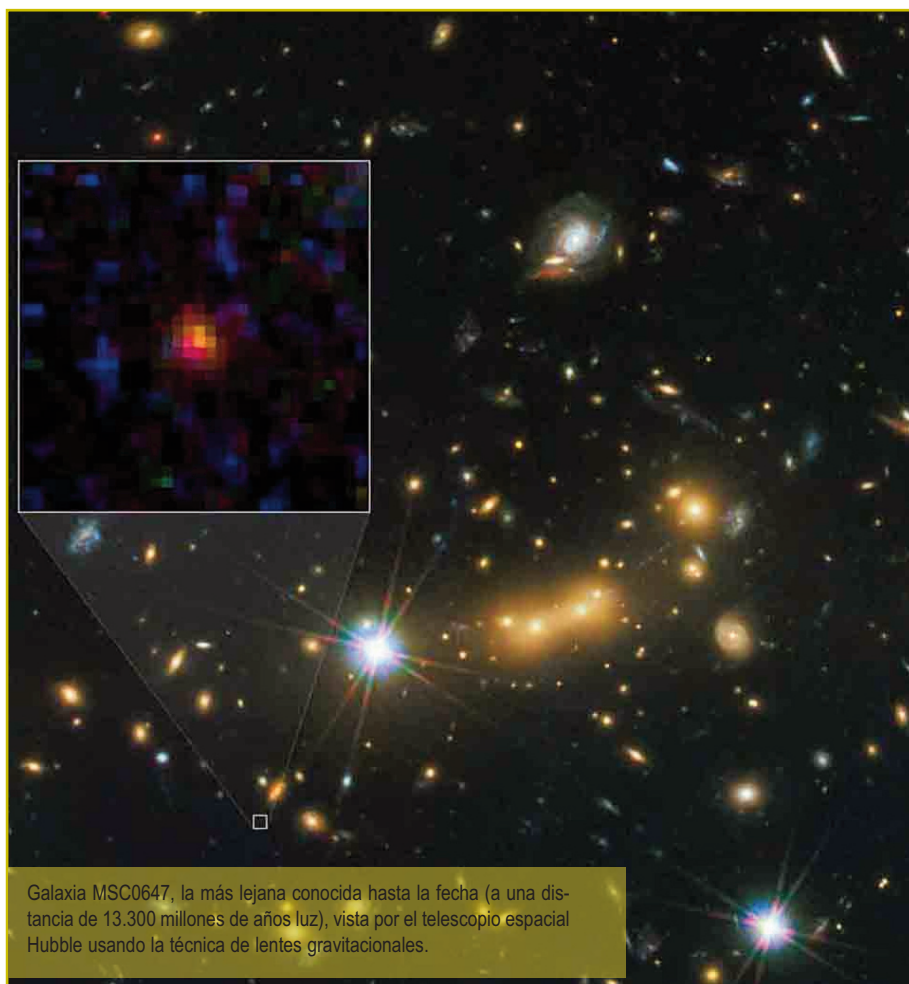
La evolución química del universo

DESDE HACE DIEZ MIL MILLONES DE AÑOS

LAS GALAXIAS DISTANTES TIENEN MENOR PROPORCIÓN DE ELEMENTOS PESADOS QUE LAS DEL UNIVERSO LOCAL, LO QUE CONFIRMA EL MODELO JERÁRQUICO DE FORMACIÓN DE GALAXIAS

Por Enrique Pérez Montero
(IAA-CSIC)

LA NOCIÓN DE UNIVERSO EN LAS DISTINTAS RAMAS DE LA CIENCIA y en el lenguaje cotidiano abarca las más variopintas concepciones. La definición más completa puede tomarse prestada de la filosofía, que afirma que universo es todo lo que compone el mundo real. La física puede ser algo más precisa en esta definición, ya que cualquier tratado riguroso especificará que ese “todo” incluye el espacio, el tiempo, la energía y la materia en todas sus formas, conocidas y desconocidas. Una cuestión que aún solo ha sido planteada desde un punto de vista teórico (y que es difícilmente comprobable experimentalmente) plantea más de un universo, ya sea citando realidades paralelas o universos anteriores al Big Bang (o Gran Explosión), o ulteriores si el proceso de expansión y quizá recesión es cíclico. La astrofísica, al ser una rama principalmente observacional de la ciencia, utiliza planteamientos algo más prácticos cuando se habla del universo y se constriñe en cierta manera a todo aquello que puede ser observado o deducido en la totalidad del espacio. Teniendo en cuenta las vastas distancias que separan unos astros de otros, observar más lejos implica necesariamente observar más atrás en el tiempo, ya que la luz tiene una



Galaxia MSC0647, la más lejana conocida hasta la fecha (a una distancia de 13.300 millones de años luz), vista por el telescopio espacial Hubble usando la técnica de lentes gravitacionales.

velocidad finita y, por tanto, cuando nos llega nos da información acerca de cómo era el objeto cuando los fotones salieron de él. Estas escalas de tiempo varían desde los ocho minutos que tarda la luz en llegar a la Tierra desde el Sol, los cuatro años desde la estrella Próxima Centauri (la más cercana después de nuestra propia estrella), unos veinticinco mil años desde el centro de nuestra Galaxia o dos millones y medio de años desde Andrómeda, la galaxia de un tamaño similar a la nuestra que se halla más cerca. Más allá de lo que se denomina el Grupo Local de galaxias, que son aquellas más próximas a la nuestra, observar el uni-

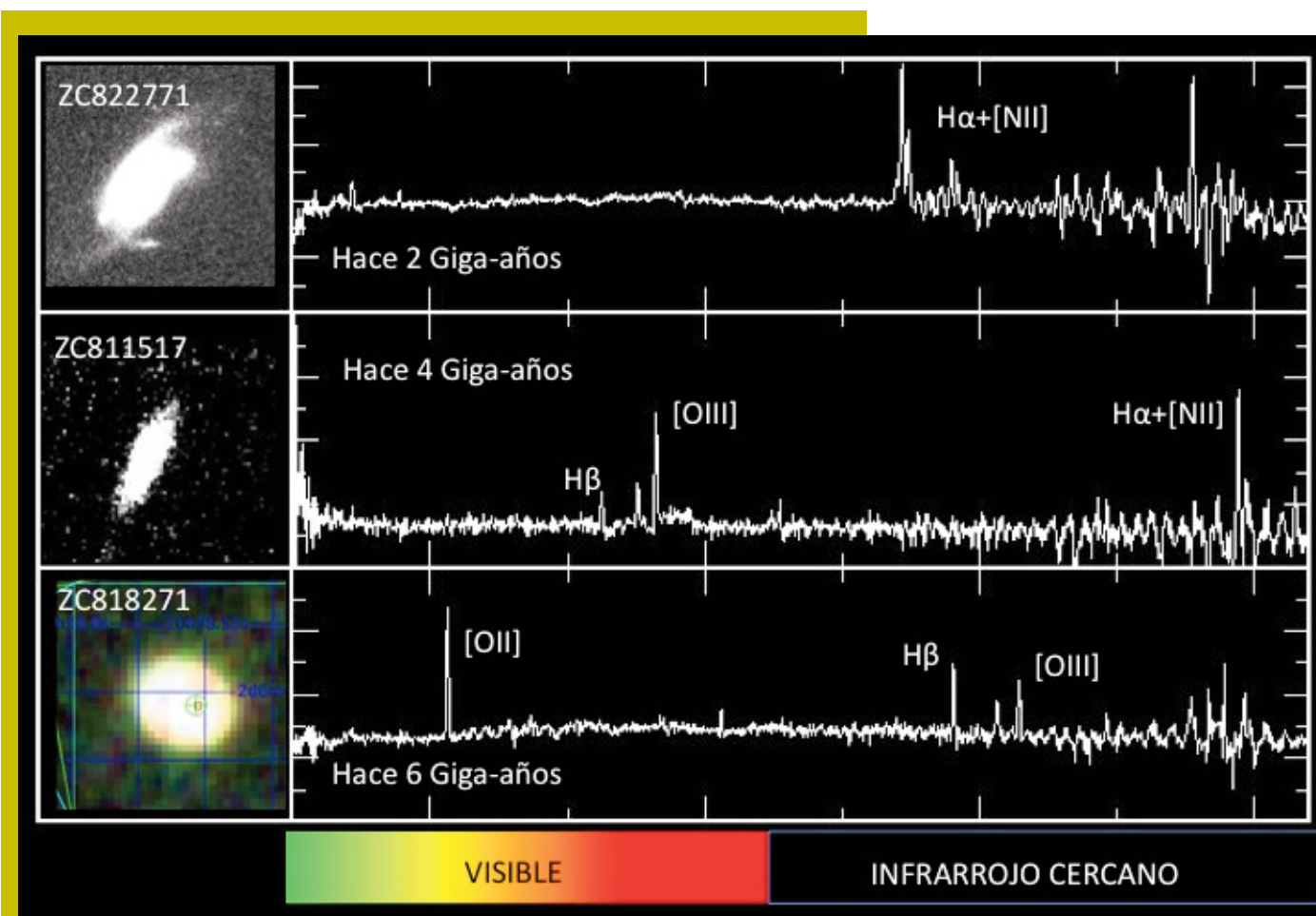
verso es obtener una visión certera de cuál ha sido su evolución en el tiempo. En realidad, hablar verazmente de estudiar la evolución del universo es algo que no ha podido hacerse hasta tiempos muy recientes, cuando la utilización de telescopios suficientemente grandes, detectores lo bastante sensibles y ordenadores lo bastante potentes permitió observar galaxias a una edad del universo en la que este tuviera propiedades totalmente diferentes a las que presenta hoy en día. Los primeros de estos objetos del universo “joven” en ser detectados fueron, en los años sesenta del siglo pasado, los cuásares (neologismo que procede de la

abreviación de “objeto casi estelar”), que emiten una enorme cantidad de radiación en todas las frecuencias durante la formación de un agujero negro supermasivo. Hoy en día, no obstante, se puede obtener una estadística fiable de una gran cantidad de galaxias hasta edades más próximas a la Gran Explosión que al momento actual. El récord actual, por ejemplo, lo ostenta la galaxia MACS0647-JD, que se encuentra a 13.300 millones de años luz. Teniendo en cuenta que la edad del universo se estima en 13.700 millones de años luz, nos encontramos muy cerca del límite máximo observacional que se puede alcanzar.

Galaxias con formación estelar: trazadoras de la evolución del universo
Una de las características más notables de las galaxias que podemos estudiar en el universo más joven es que suelen ser mucho más brillantes que las demás. Este efecto de selección se conoce como “sesgo de Malmquist” según el que, a mayor distancia que miremos, menor será el número de galaxias menos brillantes que un muestreo es capaz de compilar. Entre las galaxias que es más fácil detectar y analizar se encuentran aquellas que están sometidas a diversos

procesos que intensifican la cantidad de luz emitida. Este es el caso de los ya mencionados cuásares y de otros tipos de galaxias activas, que son aquellas en las que su agujero negro central se encuentra en una fase de acrecimiento de materia. No obstante, los procesos físicos que se producen en los discos de acrecimiento aún no son lo bastante conocidos como para usar la distribución espectral de energía de estos objetos para un análisis detallado de las propiedades de las galaxias en que estos eventos se producen. Este no es el caso, no obstante, de aquellas galaxias cuya luz está dominada por la emisión pura de las estrellas, cuya naturaleza y propiedades son bien conocidas ya que se dispone de muchos datos de nuestra vecindad solar y de galaxias cercanas. En aquellas galaxias en que se está produciendo un episodio masivo de formación estelar, las estrellas masivas emiten gran cantidad de radiación ultravioleta que ioniza y excita el remanente gaseoso que no ha colapsado para crear nuevas estrellas. El espectro de emisión del gas ionizado por estrellas masivas es muy brillante en la parte visible del espectro y se caracteriza por la presencia de intensas líneas a longitudes de onda muy definidas que correspon-

den a las diferencias de energía entre los niveles de los iones del gas. Aunque la mayor parte del gas es hidrógeno, las líneas de emisión provenientes de otras especies más pesadas, como el oxígeno, el nitrógeno o el azufre son bien visibles. El estudio de las intensidades de estas líneas de emisión sirve para cuantificar la cantidad relativa de estos iones en la fase gaseosa mediante un parámetro que se denomina “metalicidad”. A diferencia de la química, en que se denomina metales a ciertos elementos que tienen unas propiedades muy definidas debido a la manera en que se combinan unos con otros, en astrofísica llamamos metales a todos los elementos químicos con la excepción de los dos más ligeros: el hidrógeno y el helio. Esto se debe al diferente origen de estos elementos más ligeros, que fueron creados mayoritariamente en la Gran Explosión. Por el contrario, los metales son creados por las propias estrellas durante las reacciones de fusión nuclear que se producen en su interior. Posteriormente, una porción considerable de estos metales es eyectada al medio interestelar durante la muerte de las estrellas, ya sea como explosión de supernova si la estrella es muy masiva, o como restos en forma de nebulos-



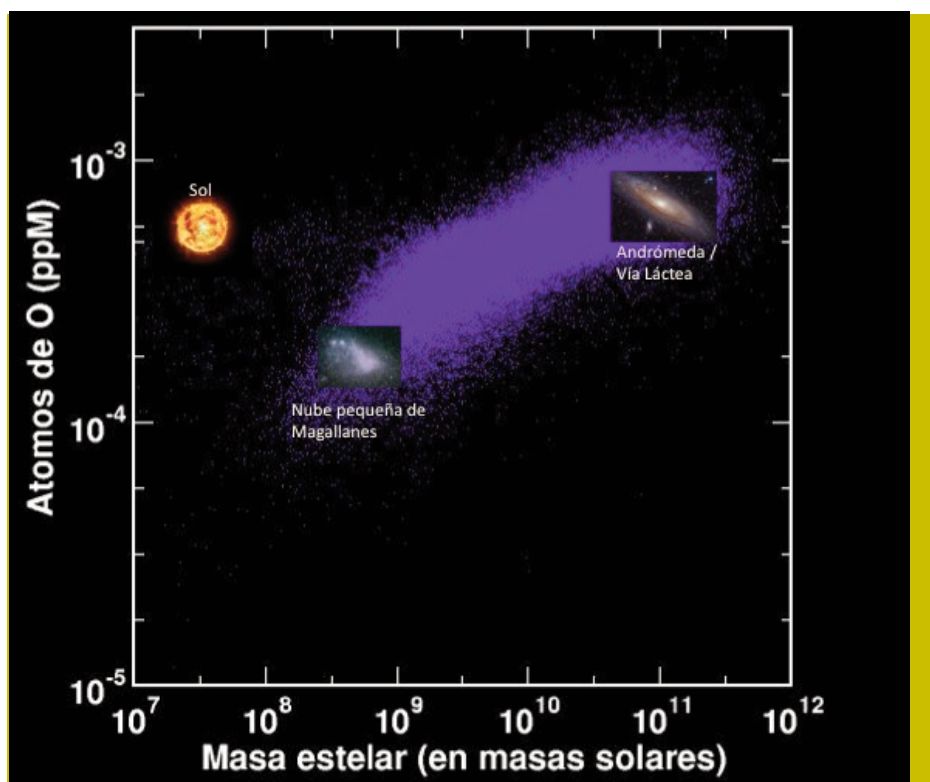
Imágenes del telescopio espacial Hubble y espectros en la zona visible e infrarroja del espectrógrafo VIMOS, en el VLT, de tres galaxias del catálogo zCOSMOS a distintos desplazamientos al rojo.

sa planetaria si la estrella tiene una masa similar a la de nuestro Sol o menor. Así pues, poder medir la metalicidad de una galaxia supone una importante pista para saber cuántas generaciones de estrellas se han creado y han muerto para enriquecer el medio. Esos metales formarán parte de una nueva generación de estrellas que enriquecerá a su vez el medio interestelar. Por tanto, una galaxia de alta metalicidad equivale a una galaxia con historia de formación estelar muy intensa. Conocer la metalicidad de una región también es importante porque los metales son los elementos con los que se construyen las moléculas que dan lugar a la formación de cuerpos rocosos, como los planetas, y a los elementos primordiales que dan lugar a la vida.

Otra de las ventajas que presenta el análisis de las líneas de emisión en el espectro de una galaxia con formación estelar reside en que permiten medir la velocidad de esa galaxia. Como la longitud de onda en reposo de estas líneas es conocida, medir una de estas líneas a una longitud de onda mayor equivale a poder medir a qué velocidad se aleja esta galaxia de nosotros. El principio físico que rige este fenómeno es el efecto Doppler, por el que la frecuencia de las ondas luminosas disminuye cuando el cuerpo que las emite se aleja del observador. Aunque el efecto Doppler es fácilmente reconocible con las ondas sonoras, su efecto sobre la luz es solo perceptible cuando las velocidades involucradas son una fracción elevada de la de la velocidad de la luz, que es de 300.000 kilómetros por segundo y, por tanto, solo afecta a objetos en un ámbito astronómico. En el caso de la expansión del universo, además, conocer la velocidad de alejamiento de un objeto equivale a conocer la distancia a la que se encuentra: hay medidas cada vez más precisas del ritmo de expansión del universo, que produce que los objetos se alejen de nosotros a mayor velocidad cuanto más lejos se encuentran. En la imagen de la página contigua vemos tres galaxias a diferentes distancias y cómo sus líneas de emisión se observan a longitudes de onda mayores cuanto más lejos se hallan (y, por tanto, cuanto más tiempo pasó desde que emitieron su luz).

La relación masa-metalicidad

La relación entre la masa y la metalicidad de una galaxia constituye una de las herramientas que usan los astrónomos para estudiar la evolución del universo analizando el contenido en metales de las galaxias. La masa de una galaxia puede definirse de muy diversos modos dependiendo de si se suman



Relación entre la metalicidad de una galaxia (proporción de átomos de oxígeno por cada millón de partículas) y la masa en estrellas de una galaxia mostrada como masas solares para las galaxias con formación estelar del muestreo SDSS. Se presenta como referencia la metalicidad del Sol y las masas de las galaxias de Andrómeda y la Nube Pequeña de Magallanes.

¿Ha sido esta relación siempre igual o las galaxias se han enriquecido y han creado estrellas a ritmos diferentes en función de la edad del universo?

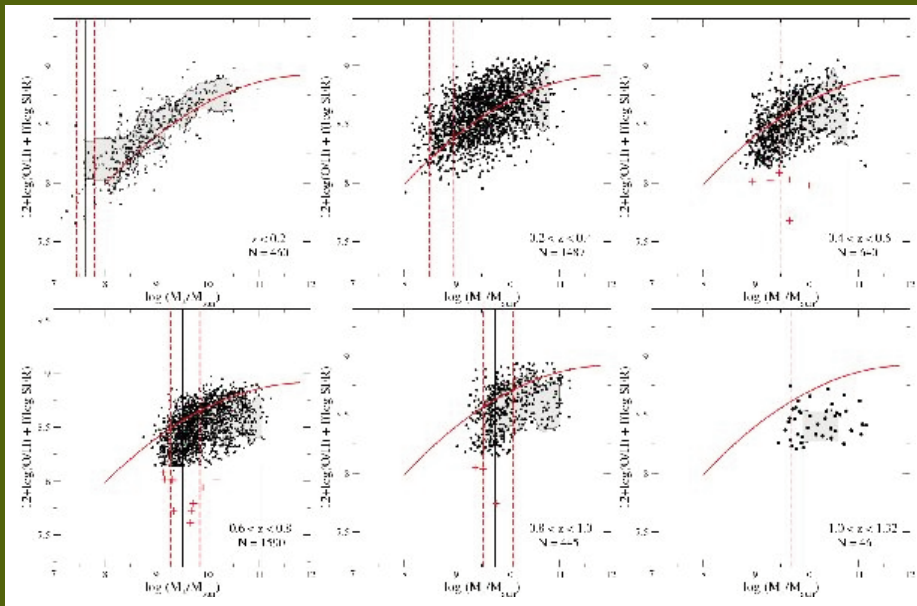
solo las estrellas o si se tiene en cuenta todo aquello que no luce, como gas, polvo y, sobre todo, materia oscura, que representa más de un 90% del total. En objetos lejanos, no obstante, y con los medios disponibles, solo es posible estimar la masa en estrellas de una galaxia a partir de su distribución espectral de energía. El método más eficaz consiste en calcular la luz que emitiría una población de estrellas dada y, conociendo la distancia a la que se encuentra dicha galaxia, suponer de cuántas estrellas dispone y, por tanto, cuál es su masa. El estudio de la relación entre la masa de una galaxia y su metalicidad en las galaxias del universo local es bien conocida. En la gráfica superior se muestra dicha relación para unas trescientas mil galaxias a distancias entre 0,3 y 1,3 gigaaños luz del Muestreo Digital Sloan (SDSS, de sus siglas en inglés). Se trata del muestreo más completo del universo local realizado hasta la fecha que, mediante un telescopio robótico, ha tomado imágenes y espectros de todas las fuentes del cielo más brillantes (aunque no permite estudiar el cielo profundo y, por

tanto, fuentes más lejanas). Como se aprecia en la figura, hay una tendencia clara a que las galaxias que tienen más estrellas tengan una proporción de metales más alta, aunque es cierto que esta relación tiene una gran dispersión.

Las causas para explicar esta relación son variadas, pasando desde que las galaxias enanas son menos eficientes a la hora de producir metales a que, como presentan menos masa, sus pozos de potencial gravitacional no son capaces de retener los elementos que son eyectados por las supernovas y se pierden en el medio intergaláctico. Una evidencia de esta explicación son los potentes vientos galácticos que se observan en las galaxias con formación estelar y que son capaces de lanzar gas a velocidades de varios miles de kilómetros por segundo. También se han observado evidencias de un cierto enriquecimiento en metales en regiones del espacio aparentemente dissociadas de las galaxias, por lo que se piensa que han podido llegar hasta allí lanzados por las estrellas. Surge entonces una pregunta clara, ¿ha sido esta relación igual en todas las épocas o las galaxias se han enriquecido y han creado estrellas a ritmos diferentes en función de la edad del universo?

Muestreos profundos del cielo para estudiar la evolución

Uno de los muestreos más profundos y



Evolución de la relación masa-metalicidad corregida del efecto de selección de la tasa de formación estelar. La línea roja muestra la relación en el universo local medida en SDSS. Los puntos corresponden a muestreos de distintas épocas hasta hace diez mil millones de años en galaxias con formación estelar del muestreo zCOSMOS.

para minimizar el sesgo de Malmquist y cuantificar la evolución de esta relación. En la imagen contigua se observa esta relación para distintos desplazamientos al rojo en comparación a la relación del universo local y se confirma que el aplanamiento de la relación es real y que las galaxias del universo joven son, en promedio, menos metálicas a pesar de tener un mismo número de estrellas.

Otro de los parámetros que se ha usado por vez primera para estudiar la evolución de esta relación es la cantidad relativa de átomos de nitrógeno y oxígeno. Este cociente también depende de la metalicidad, ya que el nitrógeno es producido en las estrellas de baja masa durante la fusión de hidrógeno, proceso en que el oxígeno se emplea como catalizador de dichas reacciones y produce nitrógeno como deshecho. Eso implica que la producción de nitrógeno aumente en estrellas más metálicas. Además, este cociente tiene la ventaja de que no es sensible a la tasa de formación estelar ya que la caída de gas poco procesado en una galaxia evolucionada no altera la proporción entre estos dos elementos. El estudio zCOSMOS ha permitido verificar que la relación entre el número de átomos de oxígeno y nitrógeno en relación a la masa estelar también es más plana en el universo más joven, lo que confirma la evolución de la relación masa-metalicidad.

El aplanamiento de la relación masa-metalicidad podría ser interpretado de manera equivocada como que las galaxias eyectaban menos metales en el universo más joven, a pesar de producir un mismo número de estrellas. En su lugar, este resultado apoya el modelo jerárquico de formación de galaxias. En este escenario, se piensa que las galaxias más masivas se produjeron sobre todo como consecuencia de los procesos de fusión e interacción entre galaxias más pequeñas. En un proceso de fusión de dos galaxias enanas la masa estelar se duplica, pero la metalicidad permanece constante, que es justo lo que se percibe. Al evolucionar la galaxia masiva creando más estrellas, también aumenta su metalicidad de manera progresiva hasta alcanzar el nivel esperado para su número de estrellas. Así pues, el estudio de la metalicidad nos permite imaginar un universo con un volumen menor y con un mayor número de galaxias en colisión, lo que provocaba una alta tasa de formación estelar en contraste con el universo actual, más vacío y con un mayor número de galaxias masivas, metálicas y evolucionadas.

completos de que se dispone actualmente es COSMOS (Muestreo de evolución cosmológica), en cuyo marco se han observado más de un millón de fuentes en un campo de unos dos grados cuadrados cercanos al ecuador celeste, en una región del cielo donde el disco de nuestra galaxia no obstaculiza la visión. Cada una de esas fuentes ha sido observada en bandas fotométricas que cubren ondas de radio, infrarrojo, visible, ultravioleta y rayos X. La colaboración zCOSMOS ha ampliado la información de unos veinte mil de los objetos de COSMOS realizando espectroscopía con el espectrógrafo multiobjeto VIMOS instalado en uno de los cuatro grandes telescopios VLT, en el observatorio de Cerro Paranal en Chile. La observación espectroscópica de estas galaxias permite muestrear la evolución de la relación entre la masa estelar y la metalicidad hasta una distancia de unos diez mil millones de años luz. De ese análisis se desprende que la relación masa-metalicidad a esa edad es sensiblemente más plana que la obtenida en el universo local a partir del muestreo SDSS, lo que quiere decir que la metalicidad de las galaxias más masivas es más similar a la de las galaxias enanas en esa época. Este resultado ya era conocido por la comunidad astronómica desde hace tiempo, a través de otros muestreos de cielo profundo, aunque a partir de un número de fuentes mucho menor. No obstante, la evolución real de la relación masa-metalicidad había sido puesta en duda a partir de otros resultados que invo-

lucaban otro de los parámetros fundamentales en las galaxias de formación estelar. Este es la tasa de formación estelar, es decir, el número de estrellas que son creadas por unidad de tiempo. Esta tasa puede ser medida, por ejemplo, a partir de la intensidad de las líneas de emisión de hidrógeno (como H α –hidrógeno alfa–), que no depende de la metalicidad o de otras características de la geometría del gas, sino del número de fotones ionizantes emitidos por un cúmulo recién formado. Se sabe que la metalicidad media de una galaxia tiende a ser menor en objetos que presentan una tasa de formación estelar mayor. Este hecho observacional podría deberse a que, además de las galaxias, en el universo hay nubes de gas primordial que no ha colapsado para formar estrellas. Cuando estas nubes interaccionan con una galaxia se producen dos efectos: por un lado la metalicidad media de la galaxia disminuye, ya que se mezclan el gas enriquecido con el gas sin procesar de la nube. Por otro lado, el acopio de gas induce la formación de nuevas estrellas. Por ello, debido al sesgo de Malmquist citado más arriba, a mayor distancia, más brillantes son las galaxias que se observan y mayor tasa de formación estelar presentan en promedio. Por ello, se creía que la observación del aplanamiento de la relación masa-metalicidad podía ser debida a este efecto de selección. Con el nuevo muestreo zCOSMOS ha sido posible cuantificar también la tasa de formación estelar en un número de galaxias lo bastante numeroso

Supervientos galácticos

AUNQUE LA PRIMERA IMAGEN QUE NOS PUEDE SUGERIR LA PALABRA “SUPERVIENTO” SEA LA DE UN HURACÁN DEVASTADOR, en astronomía no nos referimos a eso. Los supervientos galácticos pueden generarse en una galaxia por multitud de estrellas y/o por el agujero negro que ocupa su centro (el núcleo). Por otro lado, y de aquí viene el nombre de superviento, existen ciertas similitudes con los huracanes terrestres, como la capacidad de generar enormes cantidades de energía y de transportar materia a grandes distancias. Ambos fenómenos producen estragos allí por donde pasan. Salvo esto, las escalas

de tiempo, espacio y potencia que caracterizan los huracanes más destructivos son comparativamente minúsculos. Los supervientos galácticos son procesos extraordinarios cuyos efectos son imposibles de imaginar en la vida cotidiana. Para comprender su magnitud y sus consecuencias es necesario situarlos en su verdadero escenario: las galaxias.

Las causas: ¿cómo se produce un superviento galáctico?

Los supervientos pueden ser generados por estrellas y por agujeros negros supermasivos en los núcleos galácticos.

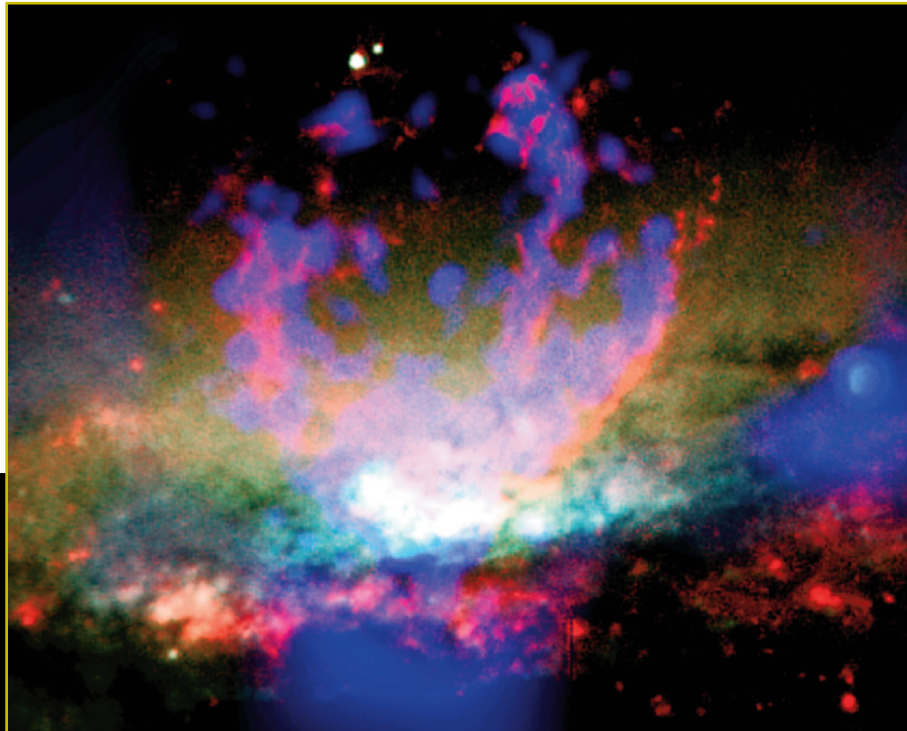
Las estrellas no solo emiten radiación,

LOS SUPERVIENTOS PUEDEN DARNOS LAS CLAVES PARA RESOLVER ALGUNAS DE LAS INCERTIDUMBRES MÁS ACUCIANTES RELATIVAS A LA FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS GALAXIAS

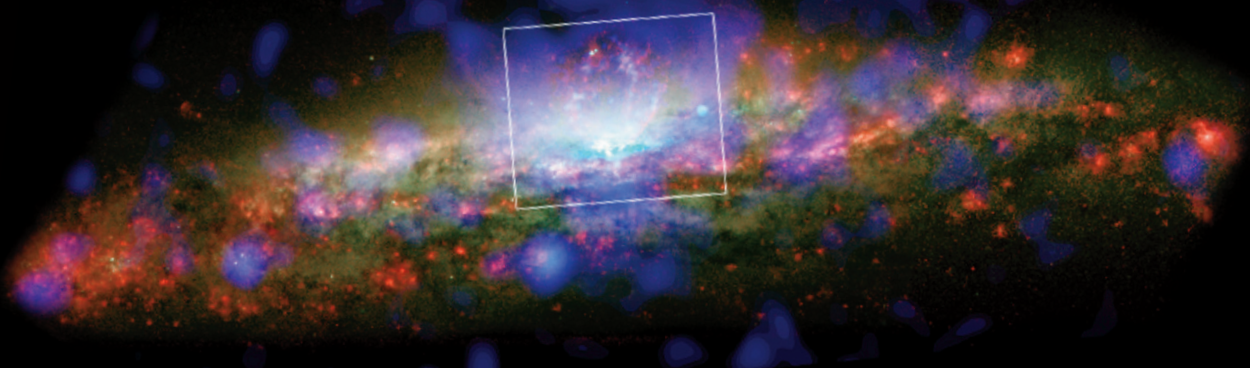
Por Montserrat Villar
(CAB, INTA-CSIC)

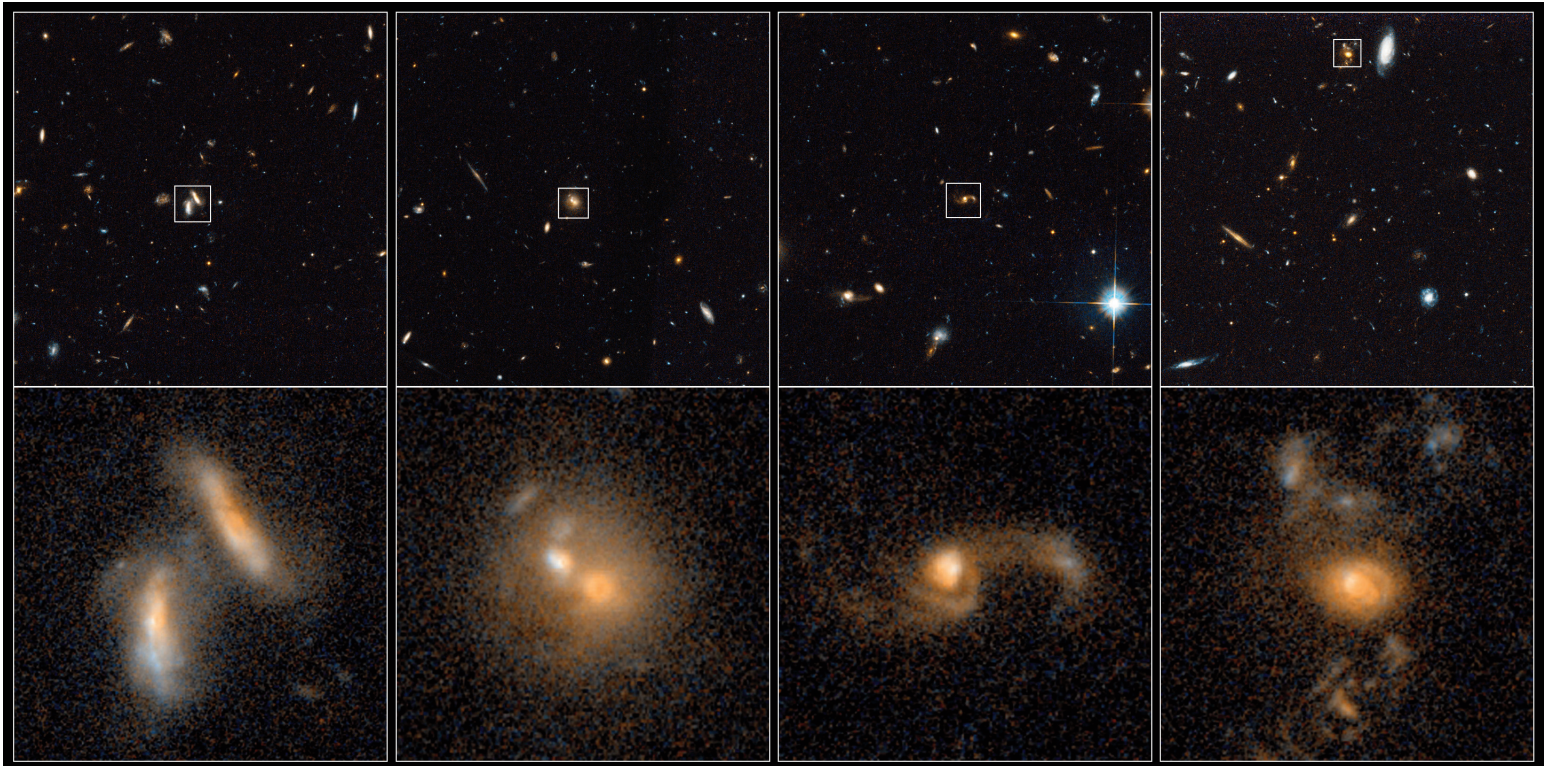
sino también partículas. La emisión de partículas a alta velocidad es lo que llamamos viento estelar. El propio Sol emite un viento que de vez en cuando oímos mencionar en las noticias por las posibles complicaciones que puede producir en los sistemas de comunicación terrestres. Los vientos estelares más potentes son capaces de provocar que una estrella pierda masa a un ritmo hasta mil millones de veces mayor que nuestro Sol.

La intensidad de estos vientos estelares y los mecanismos que los generan varían según la masa y la edad de la estrella. Así, las estrellas jóvenes de gran masa, que son muy calientes y luminosas, emiten una radiación tan intensa que la propia presión ejercida por esta sobre la materia es capaz de empujar las partículas de su envoltura, acelerarlas a velocidades de cientos o miles de kilómetros por segundo y transportarlas muy lejos en el medio



Superviento de la galaxia NGC 3079.
Fuente: NASA/CXC /U. North Carolina/G. Cecil.





interestelar. Dichos vientos pueden llegar a expulsar gran parte o incluso la totalidad de la envoltura estelar, como es el caso de las estrellas Wolf Rayet. Las explosiones de supernova generan también poderosos vientos que inyectan asimismo grandes cantidades de energía y partículas en el medio interestelar.

En la galaxias donde se forman muchas estrellas simultáneamente los efectos combinados de los vientos individuales dan lugar a un superviento. Es el caso de las llamadas galaxias *starburst*, que se caracterizan por una actividad frenética de formación de estrellas. Las interacciones gravitatorias entre galaxias son un mecanismo muy eficiente capaz de disparar brotes de formación estelar de gran intensidad (imagen superior).

El segundo mecanismo capaz de generar un superviento está asociado con la actividad de los agujeros negros galácticos. Sabemos hoy que todas las galaxias masivas contienen un agujero negro de masa enorme en su núcleo. En la mayoría, como es el caso de la Vía Láctea, se halla en estado latente, pero en las galaxias “activas”, como los cuásares (imagen pág. contigua), presenta una actividad violenta debido a que está siendo abundantemente alimentado con combustible (gas). Esto da lugar a fenómenos extremadamente energéticos que hacen que la luminosidad de estas galaxias sea enorme, hasta cientos de veces mayor que la de galaxias no activas como la nuestra. A medida que el agujero negro “engorda”

Cabe esperar que todas las galaxias hayan albergado supervientos en algún momento de su existencia

mediante el acrecimiento de materia, es capaz de liberar una cantidad de energía equivalente a cien veces la energía gravitatoria de la galaxia que lo hospeda. Una de las consecuencias es la generación de supervientos debido a la aceleración del gas existente en la vecindad del agujero negro y/o la expulsión de chorros de plasma que se desplazan a velocidades de decenas de miles kilómetros por segundo, recorriendo distancias que a menudo superan el tamaño de las galaxia.

La evidencia: ¿cómo los identificamos?

En 1963 se anunciaba el descubrimiento de “una explosión” en el centro de M82, la galaxia *starburst* más cercana, situada a unos doce millones de años luz en el universo local. Los autores describían un complejo sistema de filamentos de gas ionizado que parecían expandirse a más de mil kilómetros por segundo desde el centro galáctico hasta una distancia de unos diez mil años luz por encima y debajo del plano de la galaxia. Era el primer paso en el estudio del que se ha convertido en prototipo de superviento galáctico, y que por ello ha dado lugar a la publicación de más de mil artículos. Imágenes espectaculares, como la mostrada en la página 10, muestran el superviento bipolar generado en el

Interacciones galácticas en el universo lejano. Las interacciones gravitatorias entre las galaxias a menudo disparan intensos brotes de formación estelar. Las estrellas más masivas generarán vientos estelares que, combinados con explosiones de supernova, pueden dar lugar a supervientos. Dado que las interacciones galácticas fueron muy frecuentes en el pasado, cuando el universo era más joven, los supervientos podrían haber jugado un papel fundamental en las etapas iniciales de formación y evolución de muchas galaxias. Fuente: NASA/ESA

centro galáctico por un brote prodigioso de formación estelar.

En su avance, los supervientos chocan con el medio interestelar por el que se propagan, transfiriéndole parte de su energía y, de este modo, barriéndolo, acelerándolo, calentándolo e ionizándolo. Es esta interacción con el gas circundante lo que los pone de manifiesto. Dadas las cantidades enormes de energía producida, masa transportada y distancias recorridas por los supervientos, tienen un impacto dramático y observable en las propiedades físicas, morfológicas y cinemáticas del medio interestelar, en ocasiones apreciables incluso más allá de las fronteras de las galaxias que los albergan, en el medio intergaláctico.

El aspecto morfológico del gas puede revelar la presencia de supervientos en el caso de galaxias cercanas como M82. Sin embargo, esta estrategia en general es difícil de aplicar en galaxias lejanas, debido a que son objetos débiles para los que, además, la información espacial (y por tanto morfológica) es mucho más

limitada. El estudio cinemático, que caracteriza los movimientos del gas mediante la técnica de la espectroscopía, constituye un método mucho más eficiente. Es capaz de revelar desplazamientos a grandes velocidades incompatibles con la acción de la gravedad y consistentes con lo esperado si el gas está siendo acelerado por un superviento. Gracias a esta técnica, en los cincuenta años transcurridos desde el descubrimiento del superviento en M82 se ha hallado evidencia cinemática de este fenómeno en miles de galaxias, tanto activas como starburst; estos hallazgos abarcan desde las épocas más remotas en que las galaxias se estaban ensamblando hasta el presente.

¿Por qué son importantes?

Decíamos más arriba que los mecanismos que generan supervientos tienen máxima eficiencia en las galaxias con una actividad de formación estelar frenética y aquellas en las que el agujero negro supermasivo está activo. Dado que todas las galaxias han pasado por etapas en las que la formación de estrellas ha sido especialmente intensa y que es probable que el agujero negro nuclear de las galaxias masivas haya atravesado períodos activos, cabe esperar que todas hayan albergado supervientos en algún momento de su existencia.

Por todo ello se cree en la actualidad que los supervientos son un mecanismo común en la vida de las galaxias. No solo eso, sino que es posible que hayan tenido un impacto dramático en la formación y evolución de las mismas. Pueden, de hecho, darnos las claves para resolver los severos problemas con los que se enfrentan las teorías sobre evolución galáctica cuando son contrastadas con las observaciones. El estudio observacional de los supervientos es hoy por hoy una carrera de fondo cuya meta es demostrar si realmente son la solución. Veamos algunos ejemplos.

Agujeros negros y galaxias

El bulbo es uno de los componentes de la estructura de muchas galaxias, como las espirales. Ocupa el centro del disco (este contiene los brazos espirales) y alberga la mayor densidad de estrellas. Tiene forma alargada y en su centro se halla el agujero negro nuclear supermasivo.

Un descubrimiento reciente de gran importancia ha mostrado que las

masas del bulbo y el agujero negro se hallan relacionadas, siendo la de este aproximadamente un 0,2% de la de aquel. Es decir, cuanto más masa tiene uno, más masa tiene el otro. Esto nos dice que ambos componentes galácticos no se formaron de manera independiente, sino que hubo algún mecanismo de retroalimentación que los conectaba. Una de las teorías más populares sugiere que el responsable fue el superviento generado por el agujero negro en una fase de máxima actividad. Los modelos predicen que, con su enorme potencia, este mecanismo fue capaz de expulsar gran parte del gas en las galaxias en formación, frenando de esta manera el nacimiento de nuevas estrellas y la ali-

mentación del agujero negro. De esta manera el crecimiento de ambos, bulbo y agujero negro, se ralentizaría, llegando incluso a detenerse.

Según esto, los agujeros negros supermasivos “conspiraron” en los inicios para manipular la formación de las galaxias; algo comparativamente minúsculo consiguió así moldear la evolución de algo gigantesco. El éxito de la teoría es indudable y la búsqueda en el universo de estos vientos gigantes, que ha dado ya lugar a la identificación de varios candidatos prometedores, se ha convertido en uno de los objetivos más interesantes de la astronomía observacional actual.

La función de luminosidad de las galaxias

Los modelos de formación y evolución galácticas predicen el número de galaxias con una luminosidad dada en un determinado volumen (la densidad). Es la llamada función de luminosidad y tiene gran interés astrofísico ya que nos informa sobre cómo las galaxias se formaron y evolucionaron.

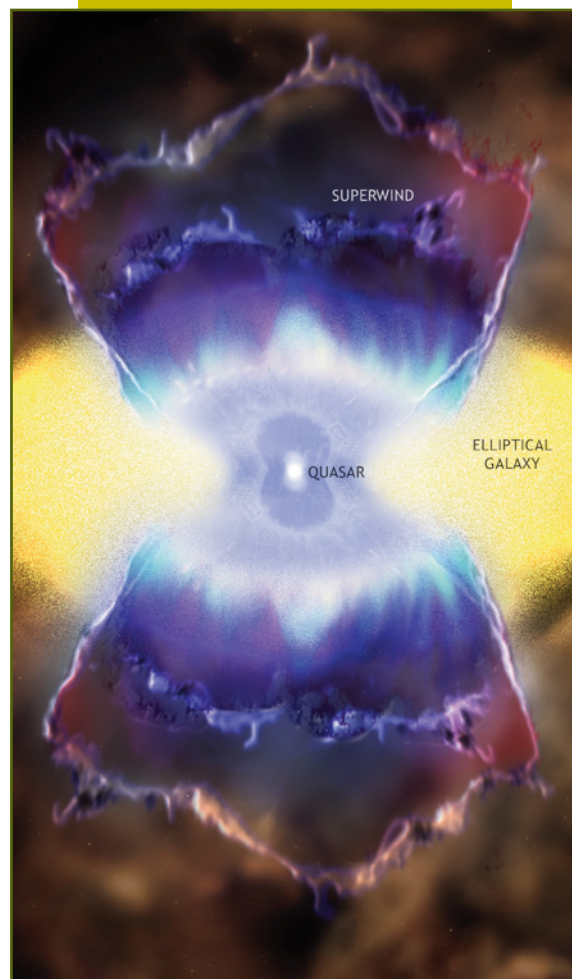
Una teoría cosmológica válida debe ser capaz de reproducir la función de luminosidad de las galaxias. Sin embargo, cuando comparamos las predicciones teóricas con las observaciones encontramos discrepancias importantes: el número de galaxias observadas de baja y alta luminosidad está muy por debajo del predicho. Dado que el proceso de formación de las galaxias está regulado por el ritmo al que el gas es capaz de enfriarse en los halos de materia oscura progenitores para luego formar estrellas, debe existir un mecanismo que impida o frene dicho enfriamiento: de nuevo, los supervientos podrían ser la clave.

Esta explicación funciona bien en el caso de las galaxias de baja luminosidad. Debido a su pequeña masa, tienen un potencial gravitatorio débil que los vientos generados por la primera generación de estrellas lograron vencer con facilidad. Como consecuencia, gran parte del medio interestelar pudo ser expulsado, quedando así suprimida cualquier formación estelar futura.

La explicación de la escasez de galaxias de gran luminosidad no es tan clara. Los modelos actuales de formación de galaxias predicen un fuerte enfriamiento del gas en las zonas centrales de los cúmulos y

Esta imagen artística muestra un cuásar en el centro de una galaxia elíptica. La activación del agujero negro nuclear ha generado un superviento que ha dado lugar a la eyección de material galáctico a gran velocidad. La detección de gas muy caliente emisor de rayos X alrededor de algunos cuásares y a muchos miles de años luz de distancia del agujero negro nuclear es evidencia observacional de la existencia de supervientos. Este mecanismo se ha propuesto como solución a algunos de los misterios más acuciantes relativos a la formación y evolución de las galaxias.

Fuente: NASA/CXC/M.Weiss.





Superviento en la galaxia starburst M82 situada a unos doce millones de años luz. La banda de luz blanquecina que atraviesa la imagen de izquierda a derecha es debida a las estrellas en la galaxia. El complejo sistema bipolar de filamentos gaseosos debe su color rojo a la emisión del hidrógeno ionizado. Como consecuencia del superviento generado por un intenso brote de formación estelar, este gas se está expandiendo a más de mil kilómetros por segundo desde el centro de la galaxia, perpendicularmente a esta y alcanzando una extensión de unos diez mil años luz a cada lado. Fuente: NASA, ESA, The Hubble Heritage Team, (STScI / AURA).

grupos de galaxias que deberían haber creado galaxias enormes que no existen en el universo. Los supervientos podrían suprimir o ralentizar ese enfriamiento, pero la potencia requerida es excesiva en comparación con la observada en los supervientos estelares. Como en el caso anterior, los cuásares podrían ser la solución ya que son capaces generar vientos mucho más potentes que las estrellas.

¿Cómo llegan los metales al medio intergaláctico?

Prácticamente todos los elementos químicos más pesados que el helio se formaron en el interior de las estrellas. Cabría esperar por tanto que no existieran fuera de las galaxias, en el medio intergaláctico donde apenas hay estrellas. Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que el medio es rico en elementos como carbono, silicio y oxígeno, incluso a distancias muy lejanas de las galaxias y cuando el universo era muy joven. ¿Cómo llegaron allí? Debe existir un mecanismo que les haya permitido escapar del potencial gravitatorio de las galaxias donde se originaron. Los supervientos galácticos pueden ser los responsables, pues son capa-

ces de remover gas enriquecido con elementos pesados y esparcirlo en grandes extensiones en el medio intergaláctico.

Presente y futuro

Aunque los supervientos galácticos fueron descubiertos hace cincuenta años, el interés que despiertan ha cobrado especial auge en la última década debido a que, como hemos visto, pueden darnos las claves para resolver algunos de las incertidumbres más acuciantes relativas a la formación y la evolución de las galaxias. El avance debe producirse siguiendo dos caminos que se entrecruzan: la teoría y las observaciones.

Las observaciones abordan dos estrategias. Por un lado, el estudio detallado de los supervientos en galaxias individuales (como M82), nos permitirá una comprensión más profunda de la física implicada tanto en la producción de los vientos como en su interacción con el medio intergaláctico. No es una tarea trivial. La caracterización global del fenómeno requiere investigar todas las fases gaseosas presentes en dicho medio: desde el gas molecular, denso y frío, a partir del cual se forman las estrellas y que emite

radiación en el rango de las ondas milimétricas, hasta el gas coronal extremadamente caliente, emisor de rayos X, que acumula la mayor parte de la energía y los elementos pesados esparcidos por los supervientos.

Dado que cada una de las fases gaseosas emite radiación en rangos espectrales diferentes, es necesario utilizar tecnología astronómica muy diversa, explotándola a menudo hasta el límite de sus posibilidades, tanto para la detección de la huella de los supervientos como para cuantificar su energía, la masa que transportan y los cambios que inducen en las propiedades globales del gas circundante. Es necesario además estudiar el impacto en escalas espaciales muy diferentes, desde las más pequeñas, en regiones cercanas al agujero negro central, hasta el tamaño entero de las galaxias y más allá. Los estudios observacionales deben abordar una segunda estrategia que consiste en la búsqueda y caracterización de los supervientos en un gran número de cuásares y galaxias de diferentes tipos y con diferentes estados evolutivos desde el universo local hasta las distancias más lejanas. Esto nos permitirá realizar estadísticas más fiables sobre la frecuencia real del fenómeno y el impacto global dependiendo del tipo de galaxia y del estado evolutivo a través de toda la historia del universo. Si los supervientos galácticos han modificado notablemente la función de luminosidad de las galaxias, han dado lugar a la correlación observada entre las masas de los bulbos galácticos y de los agujeros negros supermasivos y han contaminado el medio intergaláctico con elementos pesados desde la infancia del universo, todo ello implica que debieron activarse en las etapas más tempranas de formación de las galaxias. De ahí el interés en buscar y estudiar los supervientos en el universo más lejano, que observamos en la época en que se ensamblaron las primeras galaxias y se activaron los primeros cuásares. Toda esta información es clave para implementar el mecanismo de los supervientos y la física que lo determina en los modelos de formación y evolución de galaxias y así poder relacionar las teorías cosmológicas con las observaciones. El estudio de los supervientos ilustra cómo la ciencia es un diálogo entre la teoría y la observación. La teoría nos da pistas sobre qué debemos buscar en la naturaleza, mientras que la observación nos indica si la teoría se está moviendo en la dirección adecuada.

Williamina Patton Fleming

De criada a astrónoma

POR SILBIA LÓPEZ DE LACALLE (IAA)

En 1878, una joven embarazada de veintitún años a quien había abandonado su marido entraba a trabajar como sirvienta en la casa del Edward Pickering, director del Observatorio de Harvard. En apenas un año, y sin estudios superiores, ya realizaba trabajos para el Observatorio, del que fue miembro permanente a los veintitrés años. A los treinta y tres publicaba el análisis de más de diez mil estrellas con un sistema de clasificación estelar desarrollado por ella, y a los cuarenta y uno dirigía el trabajo de todas las mujeres calculadoras del Observatorio (Henrietta Leavitt o Annie Jump Cannon entre ellas). Descubrió novas, nebulosas, centenares de estrellas variables y hasta un nuevo tipo de estrellas: las enanas blancas. Y lo hizo además asumiendo un doble papel: “Mi vida en el hogar es necesariamente distinta de la del resto de funcionarios de la universidad ya que todas las tareas del hogar recaen sobre mí, además de la de proporcionar los medios para cubrir los gastos”.*

¿Verdad que parece el guión de una película? Pues no, se trata de un resumen de la biografía de Williamina Fleming, uno de esos personajes históricos que produce amor a primera vista y que, afortunadamente, obtuvo reconocimiento en vida: fue nombrada Comisaria de Fotografía Astronómica del Observatorio de Harvard, miembro honorario de la *Royal Astronomical Society* y del *Wellesley College*, y obtuvo la medalla Guadalupe Almendaro de la Sociedad Astronómica de México. Y no lo olvidemos: todo ello en una época en la que la ciencia era solo cosa de hombres.

Pero repasemos: ¿cómo logra esa joven y desamparada inmigrante escocesa granjearse, décadas después, comentarios como “muchos astrónomos están merecidamente orgullosos de haber hallado una estrella variable... el hallazgo de 222 [de Williamina Fleming] es un logro que roza la maravilla”?

Empezó, como decíamos, como sirvienta de Edward Pickering, que en aquella época se hallaba inmerso en un novedoso proyecto: establecer una clasificación estelar basada en placas fotográficas de los espectros estelares (un espectro se obtiene haciendo pasar la luz por un prisma, de modo que la luz se descompone en colores y se observa entrelazada con numerosas líneas negras correspondientes a los elementos químicos que forman la estrella). Por lo visto, los ayudantes varones de Pickering no

avanzaban con suficiente rapidez, y un día este exclamó enfadado que su sirvienta escocesa trabajaría mejor que ellos. Y la contrató.

No obstante, y según el libro *Women in science*, no queda claro que esta anécdota fuera real, ya que lo único que anotó Pickering al respecto fue: “La señora Fleming comenzó a trabajar en el Observatorio de Harvard en 1881. Sus labores al principio eran de lo más sencillo, copia y computación ordinaria”. Puede que el trabajo de Williamina se redujera



sobre todo a esas simples tareas hasta 1886 (aunque en 1995 publicó sendos artículos en *The Astrophysical Journal* sobre nuevas estrellas variables), cuando Nettie A. Farrar, la asistente de Pickering en el recién iniciado Catálogo de Draper, renunció a su puesto para casarse y fue sustituida por Fleming (existe correspondencia al respecto entre Pickering y la señora Draper).

En el Observatorio

Williamina, “dotada de una gran agudeza visual y de una mente clara y lógica”, mostró una eficacia y un talento extraordinarios en el análisis espectral y la clasificación estelar, ya que cuatro años después se publicaba el Catálogo Draper de Espectros Estelares, basado en el análisis de más de diez mil estrellas realizado, sobre todo, por ella (con el

apoyo de algunas de las mujeres calculadoras) y la clasificación de las estrellas en diecisiete tipos (clasificación que sería revisada y mejorada después por una de sus discípulas, Annie Jump Cannon).

En 1890, con treinta y tres años, Williamina ya estaba al cargo de la contratación y dirección de las mujeres del “harén”, e incluso había obtenido un puesto oficial en el observatorio al ser nombrada Comisaria de Fotografía Astronómica de Harvard (1899).

Sin embargo, la carrera de Williamina no fue un camino de rosas. Hubo de acostumbrarse, al igual que Henrietta y las demás mujeres, a que su jefe firmara sus trabajos. También vio cómo se le negaba el descubrimiento de la hoy mundialmente famosa Nebulosa de la Cabeza de Caballo, que halló en la placa B2312 tomada por William Henry Pickering, hermano de Edward. Aunque en el artículo donde Edward Pickering anunció los resultados a partir de esa y otras placas se señalaba explícitamente que el trabajo había sido realizado por Williamina, el responsable de compilar el Nuevo Catálogo General de Nebulosas y Cúmulos Estelares obvió su nombre y atribuyó los hallazgos a Pickering.

Pero, sobre todo, Fleming siempre tuvo clavada la espina de la desigualdad: “12 de marzo de 1900. He tenido una conversación con el director en referencia a los salarios de las mujeres. Él parece pensar que ningún trabajo es demasiado o excesivamente duro para mí, independientemente de la responsabilidad o de la cantidad de horas. Pero si saco a relucir la cuestión del sueldo me dice inmediatamente que recibo un salario excelente con respecto a los estándares femeninos. [...] A veces me siento tentada de abandonar y dejar que contrate a un hombre para hacer mi trabajo, de modo que se dé cuenta de lo que obtiene por mil quinientos dólares al año conmigo comparado con los dos mil quinientos de otros asistentes. ¿Piensa él alguna vez que tengo una casa y una familia a la que atender igual que los hombres? Pero supongo que una mujer no tiene derecho a semejantes comodidades. ¡Y esta se considera una época ilustrada! ... El director espera que trabaje de 9 a 6 aunque mi horario es de siete horas al día y me siento casi al borde del colapso. Ciertamente hay una gran presión en el trabajo pero ¿por qué dejar caer tanta sobre mí y pagarme tan poco con respecto a otros, que vienen y van y se toman las cosas con tranquilidad?”.*

No fue, en absoluto, una vida fácil la de Williamina.

*Fragmentos del diario de Williamina Fleming (Harvard University Library)

EL BOSÓN

[1] El Modelo Estándar es la teoría que describe los componentes más pequeños e indivisibles de la materia y sus interacciones. En total hay doce partículas con sus correspondientes antiparticulas (ver tabla inferior). La materia ordinaria, la que nos compone y nos rodea, está formada únicamente por quarks de tipo u y d y por electrones. Un protón está formado por dos quarks u y un quark d y un neutrón está compuesto por dos quarks d y uno u. Los protones y neutrones se combinan para formar los núcleos atómicos y estos se combinan con los electrones para formar los átomos. Los demás quarks (s, c, b y t) así como los leptones μ y τ son inestables y tienen unas vidas medias muy cortas. Se formaron copiosamente poco después de la Gran Explosión (Big Bang) pero con el transcurso del tiempo se han desintegrado. Actualmente solo se forman (y se desintegran rápidamente) en algunos procesos naturales de muy alta energía o en el laboratorio.

Hay cuatro tipos de interacción diferentes que actúan entre estas partículas: gravitatoria, débil, electromagnética y fuerte (listadas en orden creciente de intensidad). La interacción gravitatoria es extremadamente débil y no es relevante en la física de partículas elementales por lo que, a partir de ahora, no nos referiremos más a ella. La interacción electromagnética es la responsable de la estructura atómica, mientras que la interacción fuerte es la responsable de mantener a los núcleos de los átomos unidos (sin ella, la repulsión electromagnética entre los protones haría imposible la existencia de núcleos con más de un protón). La interacción débil es la responsable de la desintegración β (beta) de los núcleos atómicos. Estas interacciones se producen mediante el intercambio de partículas llamadas bosones de Gauge (última columna de la tabla). Así, cuando dos partículas cargadas interactúan electromagnéticamente se intercambian fotones (γ), el cuanto del campo electromagnético. Si dos partículas interactúan fuertemente se intercambian gluones (g) y si interactúan débilmente se intercambian los bosones W^+ , W^- y Z. Precisamente, la diferencia entre los leptones y los quarks reside en que los primeros no sufren la interacción fuerte. Todos los leptones, los quarks y los bosones de gauge que aparecen en la tabla han sido detectados experimentalmente.

En principio, según la teoría que explica las diferentes interacciones, todas estas partículas deberían tener masa nula; sin embargo sabemos, porque así lo hemos medido en la mayoría de los casos, que en realidad casi todas ellas salvo el fotón y los gluones tienen masas diferentes de cero. En el Modelo Estándar se consigue resolver esta contradicción mediante el mecanismo de Higgs. Una consecuencia de este mecanismo es la predicción de la existencia de una partícula con espín cero llamada bosón de Higgs. Esta era la única partícula del Modelo Estándar que aún no se había descubierto. Así pues, el descubrimiento de esta partícula completaría el zoo de partículas elementales y nos permitiría comprender la forma en que todas las partículas elementales adquieren su masa. Sin embargo, hay que aclarar que se han propuesto otros mecanismos más complejos para dar masa a las partículas. Todos ellos predicen la existencia de nuevas partículas más o menos parecidas al bosón de Higgs del Modelo Estándar. Este descubrimiento se ha basado en buscar una partícula con las propiedades que se esperan para el bosón de Higgs, pero no descarta por completo modelos alternativos. Para ello hará falta estudiar con mucha precisión las propiedades de esta nueva partícula, lo que requerirá muchos años de toma de datos y, eventualmente, la construcción de un nuevo acelerador.

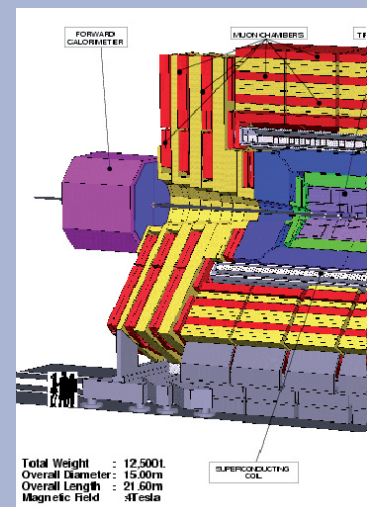
PARTÍCULAS ELEMENTALES

Quarks	u arriba (up)	c encanto (charm)	t cima (top)	Bosones de Gauge
	d abajo (down)	s extraño (strange)	b fondo (bottom)	
Leptones	ν_e neutrino electrónico	ν_μ neutrino muónico	ν_τ neutrino tauónico	g gluón
	e electrón	μ muón	τ tau	γ fotón
				W bosón W
			Z bosón Z	

Presentamos resultados de la búsqueda del bosón de Higgs del Modelo Estándar [1] en colisiones protón-protón con una energía de entre 7 y 8 TeV [2] en el experimento *Compact Muon Solenoid* en el LHC [3], usando datos obtenidos con una luminosidad integrada de $5,1 \text{ fb}^{-1}$ a 7 TeV y $5,3 \text{ fb}^{-1}$ a 8 TeV [4]. Se ha realizado la búsqueda en cinco modos de desintegración: $\gamma\gamma$, ZZ, W^+W^- , $\tau^+\tau^-$ y bb [5]. Se observa un exceso de sucesos por encima del fondo esperado con una significancia local de 5,0 desviaciones estándar en una masa

[2] La forma de producir partículas pesadas en los experimentos de altas energías consiste en hacer colisionar otras partículas más ligeras, como los protones en este caso, que previamente se han acelerado hasta velocidades próximas a la de la luz de forma que, en el momento de la colisión, los protones tengan una gran energía. Teniendo en cuenta la famosa ecuación de Einstein, $E=mc^2$ (donde E es la energía, m es la masa y c es la velocidad de la luz) que muestra la equivalencia entre energía y masa, la energía de las partículas que colisionan puede materializarse en una partícula mucho más pesada que los protones iniciales. Así, los datos de este experimento se han tomado en dos etapas diferentes: en la primera, en el año 2011, los protones fueron acelerados de forma que la energía en cada colisión fuera de siete teraelectronvoltios (TeV) y en los datos tomados en el 2012 la energía en cada colisión alcanzó los ocho TeV. Para comprender lo que significa esta cantidad de energía basta decir que corresponde a unas siete u ocho mil veces la masa del protón, aproximadamente. Sin embargo, el protón no es una partícula elemental, por lo que la energía disponible a nivel fundamental es sensiblemente menor que estos valores. De hecho, la energía disponible para formar nuevas partículas varía en cada una de las colisiones dependiendo de qué constituyente del protón participa en la interacción y de qué fracción de la energía total del protón lleva este en el momento de interactuar.

[3] El Gran Colisionador de Hadrones (*Large Hadron Collider*, LHC) es un acelerador de partículas situado en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN) en Ginebra (Suiza). Es una máquina con forma de circunferencia de unos veintisiete kilómetros de longitud en la que, mediante campos eléctricos y magnéticos, se aceleran protones (aunque también funciona parte del tiempo acelerando iones de plomo) y se obliga a estos protones a realizar una trayectoria circular. Un haz de protones circula en sentido horario y otro haz circula en sentido antihorario, de forma que existen cuatro puntos en los que ambos haces colisionan. Alrededor de cada uno de estos puntos de colisión se coloca un detector para estudiar las partículas que se han producido en el choque. Por lo tanto, en el LHC hay colocados cuatro detectores: el *Compact Muon Solenoid* (CMS), el *A Toroidal LHC Apparatus* (ATLAS), *Large Hadron Collider beauty* (LHCb) y *A Large Hadron Collider Experiment* (ALICE). Los dos últimos son detectores más especializados. El LHCb

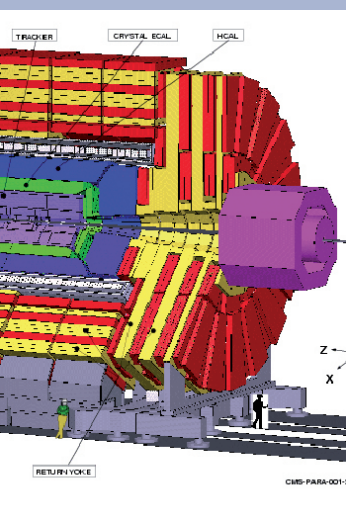
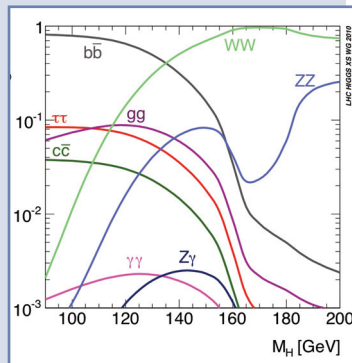


DE HIGGS

cercana a 125 GeV, lo que señala la producción de una nueva partícula [6]. La significancia esperada para un bosón de Higgs con esta masa es de 5,8 desviaciones estándar [7]. El exceso es más significativo en los dos modos de desintegración con mejor resolución en la masa: $\gamma\gamma$ y ZZ. Un ajuste a estas señales da una masa de $125,3 \pm 0,4$ (stat.) $\pm 0,5$ (syst.) GeV [8]. La desintegración en dos bosones indica que la nueva partícula es un bosón con espín diferente de uno. (*)

[4] La luminosidad integrada es un parámetro que depende del acelerador. Viene a representar el número de colisiones entre protones que se han producido. Para un proceso físico determinado, cuanto mayor sea la luminosidad integrada mayor será el número de sucesos que tendremos en el experimento.

[5] El bosón de Higgs tiene una vida media extremadamente corta. Según la predicción del Modelo Estándar, su vida media sería aproximadamente de 10^{-22} segundos. Por lo tanto, lo único que podemos ver de él son sus productos de desintegración, y en esta búsqueda se han seleccionado los más importantes. En la gráfica se muestran las llamadas razones de ramificación, es decir, el porcentaje de bosones de Higgs que se desintegran en cada uno de los posibles canales o caminos de desintegración.

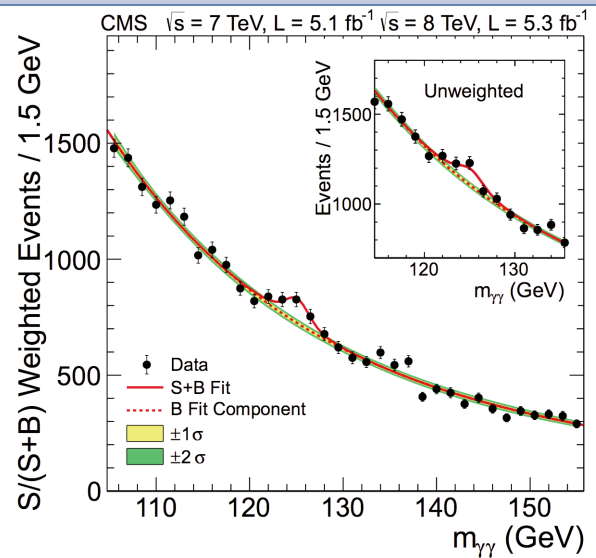


se ha construido con la finalidad de estudiar con mucho detalle las propiedades del quark b, mientras que ALICE está optimizado para estudiar colisiones de iones pesados (iones de plomo). CMS y ATLAS son detectores llamados multipropósito.

Un esquema del detector CMS se muestra en la imagen, en la que se incluyen varias personas dibujadas a escala para dar una idea de las dimensiones de este aparato. El detector muestra una estructura aproximadamente cilíndrica, en la que el tubo por el que circulan los haces de protones se halla en el eje del cilindro. Alrededor del punto de colisión se sitúan diferentes subdetectores en una estructura de capas. Cada uno de estos subdetectores está especializado en detectar un tipo de partículas; así, por ejemplo, el calorímetro electromagnético detectará principal-

mente fotones y electrones, el calorímetro hadrónico detectará hadrones que provienen de la formación de quarks, etc. Todo esto se halla en el interior de un gran imán que crea un campo magnético que curva la trayectoria de las partículas cargadas.

[6] Los estados finales que se han usado en esta búsqueda se pueden producir también sin la presencia del bosón de Higgs. Por lo tanto, la presencia de esta nueva partícula, que abre un nuevo camino para producir un estado final determinado, se manifiesta como un exceso de sucesos con respecto a lo que se esperaría si no hubiese bosón de Higgs. Por ejemplo, en la figura se muestra el pico (exceso de sucesos) observado en el canal de dos fotones ($\gamma\gamma$).



[7] En principio puede ocurrir que el exceso de sucesos observado provenga de lo que se llama una fluctuación estadística. Por ejemplo, al tirar una moneda al aire cien veces podría ocurrir que salga sesenta veces cara y cuarenta veces cruz o setenta veces cara y treinta veces cruz. El segundo caso ocurre con menor probabilidad que el primero. Así, el exceso de sucesos observado podría ser una casualidad. En estadística se cuantifica la probabilidad de que ocurra una fluctuación de este tipo en términos de desviaciones estándar. Para afirmar que se ha descubierto una nueva partícula se pide que haya al menos 5 desviaciones estándar y vemos que en este experimento se han observado 5,0 desviaciones estándar. Esto significa que la probabilidad de que este exceso de sucesos haya aparecido debido a una fluctuación estadística, debido a una casualidad, es aproximadamente 10^{-9} .

[8] Midiendo dónde está centrado el pico se obtiene la masa de la partícula. Sin embargo, esta medida tiene dos fuentes de errores: uno estadístico y otro sistemático (error es la palabra que se usa para designar la incertidumbre en una medida; no quiere decir que la medida esté mal tomada). El error estadístico se debe una vez más a posibles fluctuaciones que desplacen ligeramente el centro del pico. Este error se puede reducir acumulando más y más sucesos. El error sistemático se debe a múltiples factores asociados tanto a la precisión con la que conocemos los parámetros del acelerador, como a la precisión en las medidas del detector, como al análisis que se hace de los datos para intentar aislar en la medida de lo posible la señal del ruido de fondo. Este error es mucho más difícil de disminuir. En definitiva, la nueva partícula tiene una masa equivalente a unas ciento veinticinco veces la masa del protón.

(*) Abstract del artículo *Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC.*



Abell 2218

Los objetos que estudio, los cúmulos de galaxias, son en sí mismos pequeños universos de galaxias. Ostentando el título de ser las estructuras más grandes ligadas mediante la gravitación que existen en el universo, con un tamaño que oscila desde cientos de kilopársec a algunos megapársec, los cúmulos de galaxias están formados por entre decenas y miles de galaxias, mayoritariamente concentradas en su núcleo y generalmente muy cerca de la galaxia más brillante del cúmulo (BCG, de sus siglas en inglés *Brightest Cluster Galaxy*). También se componen de gas caliente y una gran cantidad de materia oscura, que solo se puede medir mediante métodos indirectos. La masa de los cúmulos más grandes puede llegar a unas ocho veces 10^{15} masas solares, mientras que los cúmulos menos masivos, conocidos como grupos de galaxias, tienen masas de algunas veces 10^{13} masas solares. Conforme observamos cúmulos más jóvenes, sus masas son más pequeñas, ya que los cúmulos están en proceso de formación.

“Era como si antes hubiera estado mirando la realidad con una miopía de caballo y, de pronto, viera todo con una nitidez prodigiosa”

Uno de los motivos por los que estos objetos resultan muy interesantes es porque proporcionan información a dos niveles diferentes. Por un lado, podemos considerarlos laboratorios de galaxias: la densidad de galaxias –especialmente elípticas y lenticulares– en cúmulos es mucho más alta que en el resto del universo y, por eso, constituyen entornos ideales para estudiar los procesos que dirigen la formación y evolución de las galaxias y su influencia con el entorno. En segundo lugar, los cúmulos de galaxias son una de las herramientas cosmológicas más importantes que existen. Estudiando muestras muy grandes de cúmulos, a poder ser que abarquen grandes rangos de masas y de distancias, estamos en condiciones de analizar la distribución espacial de estas estructuras a gran escala; podremos contar el número de cúmulos para cada rango de masa y para diferentes etapas y compararlos después con modelos que predicen cómo se



Nació en Barcelona y creció en Huesca. Licenciada en Matemáticas por la Universidad Politécnica de Catalunya, realizó su tesis doctoral en el Instituto de Astrofísica de Andalucía y una estancia postdoctoral en la Universidad de California (Davis) donde trabajó en el grupo del DLS y LSST. En la actualidad es investigadora postdoctoral en IAA trabajando en detección y análisis de cúmulos de galaxias en proyectos como J-PAS, ALHAMBRA y CLASH, entre otros.



Arp 299. Fuente: NASA, ESA, and Johan Richard (Caltech, USA)

crearon estas estructuras a partir de las fluctuaciones iniciales del universo.

Por este motivo nos interesa encontrar cúmulos en cartografiados que reúnan tres condiciones: que sean zonas muy amplias del cielo (para obtener un gran número), que la observación sea muy profunda (para detectar cúmulos lo más alejados posible) y con el mayor número de bandas estrechas (filtros que permiten detectar hasta los cúmulos menos masivos). Durante mi carrera investigadora he desarrollado una herramienta para detectar cúmulos, el detector de cúmulos bayesiano (BCF, de sus siglas en inglés *Bayesian Cluster Finder*), que ha sido aplicado a cartografiados como el DLS, ALHAMBRA, J-PAS o CFHT, y que ha permitido hallar cientos de estos cúmulos.

Abell 2218

Corría mayo de 2007 cuando conocí el objeto que cambió mi manera de “ver” la astrofísica. Me encontraba realizando mi tesis doctoral sobre cúmulos de galaxias a *redshift* intermedio (el *redshift*, o corrimiento al rojo, es el desplazamiento hacia el rojo de la luz de una galaxia debido al distanciamiento progresivo que produce la expansión del universo). Mi muestra de partida se componía de cinco cúmulos observados con una gran calidad desde el *Nordic Optical Telescope* (NOT), y constituían básicamente los primeros datos “reales” que analizaba.

Me encontraba preparando una estancia de

dos meses en la Universidad John Hopkins en Baltimore (EEUU), que me habían concedido para trabajar con datos de otros cinco cúmulos a *redshift* intermedio tomados con la *Advanced Camera of Surveys* del Telescopio Espacial Hubble. Aquellos cúmulos habían sido observados con entre cuatro y seis bandas cada uno y con exposiciones muy prolongadas (entre dieciséis y veinte órbitas), lo que resultó en imágenes muy profundas.

Así, cuando unos meses antes de partir comencé a trabajar con aquellos datos increíbles no pude superar mi asombro. Ante mis ojos se encontraban objetos que nunca antes había visto. Era como si antes hubiera estado mirando la realidad con una miopía de caballo y, de pronto, viera todo con una nitidez prodigiosa.

Ante esta visión tan arrebatadora, me lancé a analizar el primero de aquellos cinco cúmulos, Abell 2218, y puedo decir que dediqué días enteros a revisar una y otra vez la belleza de aquellas galaxias perfectamente delineadas. Llegué a ser capaz de localizarlas de memoria.

A2218 es un cúmulo muy masivo y uno de los más ricos del catálogo de Abell. Su popularidad se debe a que posee un anillo en torno a su BCG, provocado por el efecto lente de una galaxia situada detrás del cúmulo a *redshift* mayor que seis. Además, A2218 es peculiar porque se cree que es un cúmulo en estado de fusión, ya que tiene una estructura muy complicada cerca del núcleo y consta de dos concentraciones diferentes de galaxias.

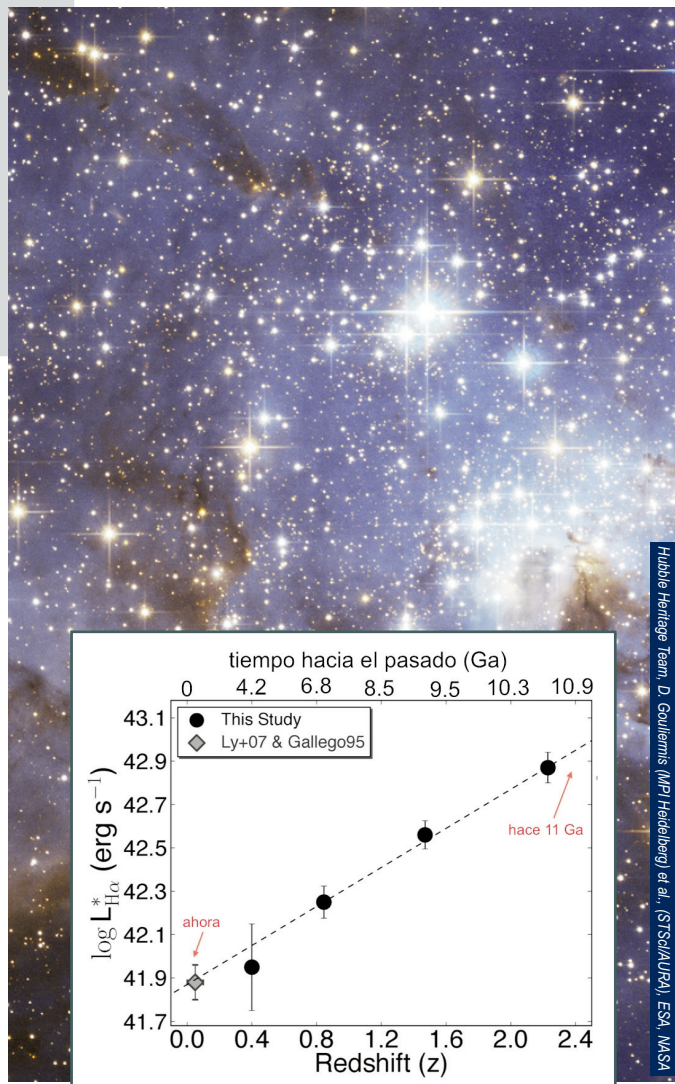
Este cúmulo fue uno más de mi muestra a nivel estadístico, y en mi tesis analicé toda suerte de propiedades de la población galáctica de la muestra de cúmulos comparándolas con las de otros cúmulos más cercanos y más alejados. Sin embargo, cuando aproximadamente un año después leí mi tesis, no pude dejar de incluir como portada la BCG de A2218, que tanto había cambiado mi manera de ver el universo.

El universo se apaga

Varios estudios apuntan a la disminución progresiva del ritmo de formación de estrellas

► El universo madura y envejece. Así, sin remedio, desde hace mucho tiempo pierde vitalidad y se apaga. No es que el universo esté “perdiendo fuelle”, porque la expansión sigue inexorable. Pierde vitalidad si por “vitalidad” del universo entendemos el ritmo al que se están formando las estrellas en cada momento (ya sea en la totalidad del universo o, si lo prefieren, podemos normalizar por unidad de volumen). Las estrellas son los verdaderos centros de actividad en el universo, ya que es en su interior y a lo largo de su vida donde se producen, poco a poco y escaladamente, las transmutaciones atómicas del hidrógeno en todos los demás núcleos atómicos. Allí, en el interior de las estrellas (como nuestro Sol), núcleos de hidrógeno se fusionan para formar helio, los núcleos de helio producirán carbono y oxígeno y así sucesivamente núcleos atómicos cada vez más pesados hasta formar el hierro. Sí, ese hierro de la hemoglobina que se oxida con el oxígeno que respiramos para darnos energía y que tiñe de rojo nuestra sangre.

El universo, que surgió aún no sabemos cómo hace trece mil setecientos millones de años (13,7 gigaaños o Ga), lleva formando estrellas casi toda su vida, desde que apenas tenía 0,7 gigaaños (aún no hemos visto esas primeras estrellas, pero los grandes telescopios nos permitirán observarlas en algún momento durante los próximos años, ¡tal como eran hace trece gigaaños!). Cuantificar de manera precisa la historia del ritmo de formación estelar en el universo, su pulso vital, es uno de los proyectos más ambiciosos de la astronomía moderna, que se lleva realizando por distintos grupos internacionales con diferentes técnicas desde hace dos décadas. Un equipo internacional de astrónomos (Sobral et al. 2012 MNRAS 428,



De fondo, región de formación estelar LH95. Sobre estas líneas, gráfica que muestra cómo el universo se apaga (o cómo ha disminuido progresivamente su ritmo de formación estelar en los últimos once mil millones de años).

1128) ha realizado por primera vez un estudio del ritmo al que el universo ha estado formando estrellas durante los últimos once gigaaños, usando como medida la luminosidad emitida por el hidrógeno en la transición H α (hidrógeno alfa). Aunque este tipo de estudios se lleva haciendo desde hace algunas décadas, la importancia de este trabajo radica en que el uso de H α es el método más común para calcular el ritmo de formación estelar en las galaxias del universo cercano actual. El trabajo de Sobral y colaboradores, para el que han usado dos de los telescopios más grandes del mundo (VLT en Chile y Subaru en Hawaii) y uno de tamaño intermedio (UKIRT, que observa en el infrarrojo),

extiende los resultados de manera coherente durante el 85% de la vida “activa” del universo, mirando hacia atrás desde hace cuatro gigaaños hasta hace once gigaaños. H α es un método indirecto de contar el ritmo de formación de estrellas, pero dada su sencillez es el más utilizado en el universo local. La manera en que funciona es la siguiente. Cuando en una nube de gas se forman estrellas, realmente solo una fracción se condensa en forma de estrellas. Las más masivas de estas son además las que emiten la radiación más energética, que ioniza el gas remanente en la nube parental cada vez que un fotón muy energético arranca un electrón de un átomo de

hidrógeno (lo que ocurre una enorme cantidad de veces por segundo). Cuando el electrón se vuelve a recombinar con el núcleo de hidrógeno se genera radiación, en particular en la línea de H α cuando el electrón pasa del nivel atómico tres al nivel dos. Esto solo ocurre cuando las estrellas más masivas son aún jóvenes, con menos de unos seis millones de años. Midiendo cuántos fotones de H α se emiten en una nebulosa (lo cual es relativamente fácil de hacer) podemos calcular cuántas estrellas jóvenes se han formado en esa nebulosa, en esa galaxia. Medir la evolución de la luminosidad de H α en el universo implica observar galaxias a desplazamientos al rojo muy distintos (en este trabajo desde 0,40 hasta 2,23), lo cual complica considerablemente todo el estudio.

El resultado de este estudio concuerda con una variedad de estudios ya existentes en los que se deduce que el universo se apaga: su ritmo de formación estelar en los últimos once mil millones de años ha disminuido progresivamente. Y esto ocurre además para las galaxias individuales: el número de galaxias más luminosas en H α ha ido disminuyendo de igual manera (como se ve en la gráfica). La comunidad astronómica española es muy activa en estos estudios. Sobral menciona los importantes estudios de Jesús Gallego y col. (1995) y de Pablo Pérez González y col. (2008). Además, en la actualidad hay varios proyectos importantes en marcha que, como Sobral y col., utilizan toda la potencia de los telescopios grandes como el GTC (la colaboración OTELO) o el 3,5m de CAHA (la colaboración CALIFA). Dentro de esta última acabamos de publicar un artículo donde hacemos un acercamiento novedoso al estudio de la evolución de la formación estelar en el universo, con resultados compatibles con estos otros, y donde demostramos mediante técnicas de “arqueología” de galaxias que la máxima eficiencia de formación estelar ocurrió en la pubertad del universo.

Enrique Pérez Jiménez (IAA)

Más info:

OTELLO: <http://www.iac.es/proyecto/OSIRIS/OSISCI/otelo/OTELLO.htm>

CALIFA: <http://califa.caha.es>

Los planetas podrían influir en la actividad magnética del Sol

Podrían perturbar el mecanismo responsable de generar el campo magnético solar en una zona clave del interior de la estrella

► Es conocido que el Sol presenta un ciclo de once años, a lo largo del que su actividad magnética (que se manifiesta en forma de manchas, explosiones que liberan energía y eyecciones de materia al espacio interplanetario) oscila desde un mínimo hasta un máximo. Pero, además de este ciclo de once años, basado en el número de manchas que aparecen en la superficie del Sol, también se han observado otros ciclos de actividad magnética con periodos más largos de ochenta y ocho, ciento cuatro, ciento cincuenta, doscientos ocho, quinientos seis, mil o dos mil doscientos años.

Ahora un grupo de físicos, entre los que se encuentra Antonio Ferriz-Mas, miembro del Grupo de Física Solar del Instituto de Astrofísica de Andalucía y profesor titular en la Universidad de Vigo, ha encontrado una coincidencia excelente entre los ciclos de periodo largo de actividad solar y los efectos de marea debidos a los planetas. Los resultados aparecieron destacados en la versión digital de la revista *Astronomy & Astrophysics*.

Este equipo internacional (Suiza, España y Estados Unidos) ha recons-

truido minuciosamente la actividad magnética solar de los últimos diez mil años analizando para ello la concentración de isótopos cosmogénicos (los isótopos berilio-10 y carbono-14) en testigos de hielo de la Antártida y de Groenlandia. La serie temporal obtenida muestra unas periodicidades, aparte del conocido ciclo solar de once años, para las cuales no existía hasta ahora ninguna explicación en el marco de la teoría dinamo (es decir, la teoría que intenta dar cuenta de cómo se generan los campos magnéticos solares y estelares).

La capa donde se almacena el flujo magnético

El Sol no rota rígidamente, sino que posee una rotación diferencial: en particular, las regiones en el ecuador rotan más rápido que las polares. Pero esta rotación diferencial se da tan solo en el 30% más externo del Sol, en la lla-

mada zona de convección. Bajo esta zona se encuentra la zona radiativa, en la que la rotación es rígida.

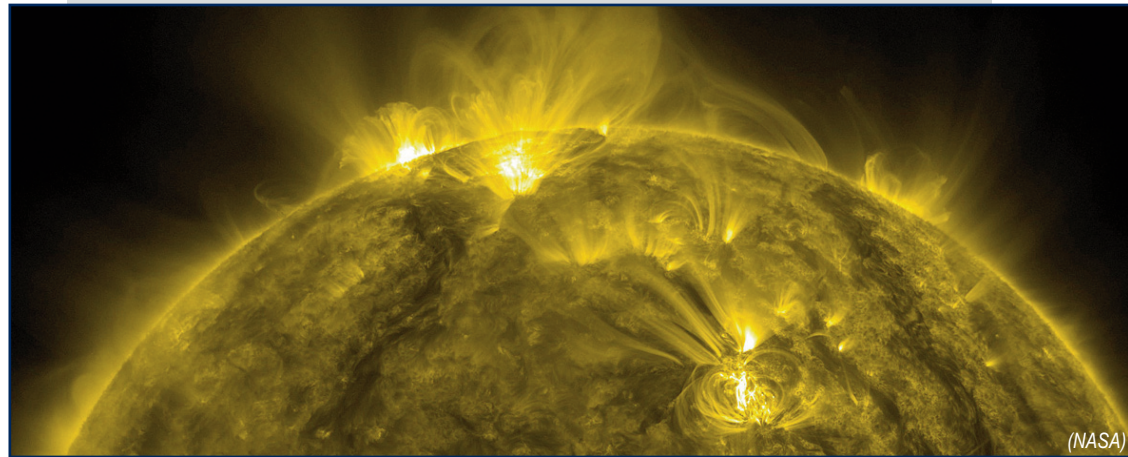
Justo entre las zonas convectiva y radiativa existe una capa, la tacoclina, donde se produce una transición muy marcada entre ambas. Esta zona es crucial para el almacenamiento y amplificación del campo magnético solar, puesto que en ella se localizarían los intensos tubos de flujo magnético que originan las manchas solares que se observan en la superficie.

Si la tacoclina estuviera un poco achatada y se desviase ligeramente de la simetría axial -por ejemplo, porque rotase alrededor de un eje ligeramente inclinado con respecto al eje de rotación del Sol-, los planetas podrían ejercer pares de fuerzas sobre la tacoclina por efecto marea (similar al que la Luna ejerce sobre los océanos terrestres). El efecto de marea, aunque pequeño y hasta ahora despreciado,

podría ser suficiente para afectar la capacidad de la tacoclina para almacenar los tubos de flujo magnético.

Si esto fuera así, deberían encontrarse los mismos periodos en la actividad solar que en el torque ejercido por los planetas, como precisamente ha descubierto el equipo en el que participa el investigador Antonio Ferriz-Mas (IAA-CSIC).

Como indican los doctores J. A. Abreu y J. Beer del ETH de Zurich (Instituto Politécnico Federal), la influencia de los planetas sobre el magnetismo solar a larga escala temporal es una hipótesis interesante, que daría una explicación natural a los periodos de entre ochenta y ocho y dos mil doscientos años presentes en el registro de la actividad magnética solar. Si esto fuese así, este estudio puede tener implicaciones muy importantes para entender mejor cómo funciona el Sol y, en particular, la actividad magnética solar.



EN BREVE

La ciencia y la industria españolas convergen en SKA

► El proyecto internacional *Square Kilometre Array* (SKA), la mayor infraestructura científica proyectada hasta la fecha, constituirá una revolución en astronomía: sus miles de sensores observarán el cielo desde los continentes africano y australiano diez mil veces más rápido y con cincuenta veces más precisión que los radiotelescopios actuales.

SKA no solo permitirá realizar contribuciones revolucionarias a la astrofísica, la astrobiología y la física fundamental, sino que también supondrá una revolución tecnológica en multitud de campos y se convertirá, en un futuro próximo, en uno de los mayores contratistas del mundo para la industria tecnológica. Por ello, a finales del pasado

año se celebró en Madrid una reunión para analizar las oportunidades para la industria española en este innovador proyecto.

"Las actividades que hemos desarrollado desde diciembre de 2011 nos han permitido identificar siete paquetes de trabajo (de los nueve en que está dividida la etapa de Diseño Preliminar de SKA) en los que España puede contribuir tecnológicamente. Como resultado, varios centros y empresas españoles ya están participando en la preparación de consorcios internacionales de cara a la inminente Solicitud de Propuestas de Diseño Preliminar de SKA", señalaba Lourdes Verdes-Montenegro, científica del Instituto de Astrofísica de Andalucía e investigadora principal del proyecto VIA-SKA que organizó la reunión.

<http://www.iaa.es/content/la-ciencia-y-la-industria-esp%C3%B1olas-convergen-en-el-square-kilometre-array-la-mayor-infraest>

Una ocultación estelar desvela las propiedades de Makemake, el planeta enano menos conocido

La ocultación ha permitido determinar con precisión el tamaño, forma y la fracción de luz reflejada de Makemake y ha desvelado que, a diferencia de Plutón, carece de atmósfera

► El 23 de abril de 2011, un trabajo sin precedentes de cálculo y coordinación culminaba con la observación del paso de Makemake por delante de una estrella muy débil, tapando su luz, un fenómeno que se conoce como ocultación y que ha permitido determinar con precisión el tamaño, la forma y el albedo -o fracción de luz reflejada- de Makemake. El trabajo, que ha desvelado que Makemake carece de atmósfera, fue liderado por José Luis Ortiz, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, y sus resultados se publicaron en la revista *Nature*.

Descubierto en 2005, Makemake gira en torno al Sol en lo que se conoce como el cinturón de Kuiper, una

región de objetos helados situada más allá de la órbita de Neptuno. "Dado que apenas conocíamos nada de Makemake, y no esperamos que haya una misión espacial a este planeta enano en muchas décadas, nos volcamos en buscar y observar potenciales ocultaciones por este cuerpo", comenta José Luis Ortiz (IAA-CSIC).

"Pero predecir y observar una ocultación por un objeto transneptuniano es una tarea inmensa, casi titánica, por lo extraordinariamente pequeños que son sus diámetros angulares y porque sus órbitas no se conocen bien, ni tenemos posiciones de las estrellas catalogadas con la suficiente exactitud. En algunos sentidos, es como atinar a una mosca a unos cincuenta kilómetros de distancia con un láser poco más ancho que la mosca", destaca el investigador.

Para vencer estas dificultades, investigadores del Instituto de Astrofísica desarrollaron una metodología que implica el uso de telescopios con gran potencia y campo de visión varias semanas antes de que se produzcan algunas posibles ocultaciones preseleccionadas meses antes. Aunque complicado y trabajoso, este

método permitió predecir que la ocultación de Makemake se vería desde Chile con dos semanas de antelación, periodo durante el que se estableció una red de dieciséis telescopios, entre los que se encontraban el *Very Large Telescope* (VLT) y el *New Technology Telescope* (NTT), ambos del Observatorio Europeo Austral (ESO).

La predicción resultó acertada y siete de los dieciséis telescopios lograron captar la ocultación. Se trata de la primera vez que telescopios gigantes han detectado una ocultación estelar producida por un objeto transneptuniano.

Un planeta enano sin atmósfera

La ocultación reveló que, a diferencia de Plutón, Makemake carece de atmósfera. "No obstante -señala José Luis Ortiz-, cabe la posibilidad de que pueda albergar zonas donde se forme una atmósfera local, es decir, que podría tener una especie de atmósfera tenue en una zona del planeta". El albedo de Makemake (77%) es superior al de Plutón (52%) pero inferior al de Eris (96%), y se cree que el alto brillo de este último se debe a que su

atmósfera se condensó en la superficie, cubriéndola de hielo. El albedo de Makemake sería coherente con la existencia de una atmósfera parcial que hubiera colapsado sobre la superficie y producido los dos tipos de terreno -unos más brillantes y otros más oscuros- que los datos térmicos indican.

"Todo esto es consistente con la idea de que la atmósfera de Plutón se produce por mecanismos de sublimación de los hielos de la superficie y hace pensar que Makemake podría desarrollar una atmósfera similar a la de Plutón cuando se acerque a su perihelio -es decir, cuando al seguir su órbita muy elíptica llegue al punto de máxima aproximación al sol-, concluye Ortiz.

Además de los datos sobre la atmósfera, los investigadores han determinado con precisión otros parámetros de Makemake: la forma que mejor se ajusta a las observaciones es una elipse con unos ejes de 1.430 y 1.502 kilómetros de longitud, y su densidad se hallaría en torno a 1,7 gramos por centímetro cúbico. Asimismo, la ocultación ha descartado la existencia a su alrededor de satélites de más de doscientos kilómetros.

Concepción artística de la superficie de Makemake (ESO/L. Calçada)



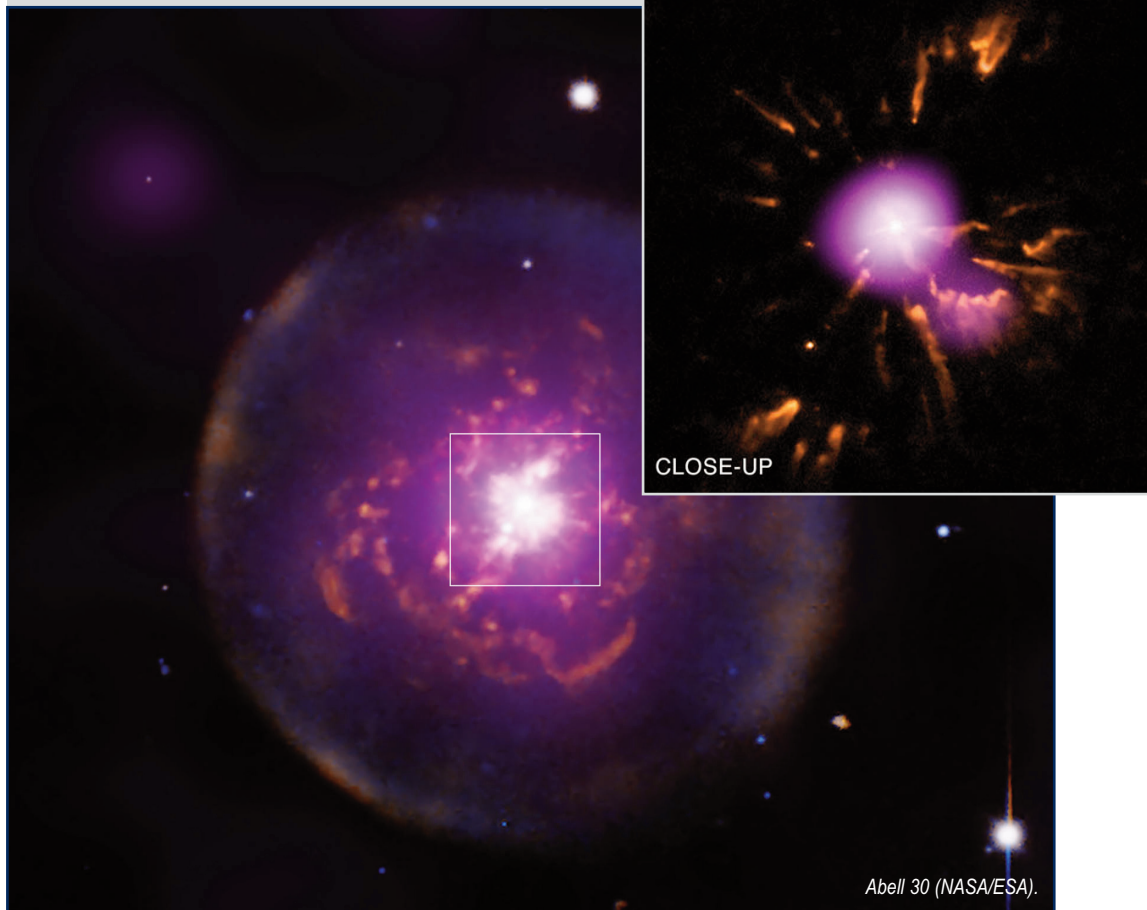
Abell 30: la nebulosa planetaria que renació y volvió a brillar en rayos X

Hace ochocientos cincuenta años, Abell 30 sufrió un estallido termonuclear tardío que generó una nueva nebulosa planetaria. La investigación emplea datos del telescopio Espacial Hubble y de los satélites de rayos X Chandra (NASA) y XMM-Newton (ESA).

► Un grupo internacional de astrónomos, dirigido por Martín A. Guerrero Roncel, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, ha establecido la cronología de un fenómeno insólito: tras más de once mil años de evolución normal, la nebulosa planetaria Abell 30 sufrió una serie de procesos que la devolvieron durante pocos años a una etapa anterior de la evolución estelar, la de gigante roja, para después renacer como nebulosa planetaria y volver a brillar en rayos X.

Las nebulosas planetarias constituyen una de las etapas finales en la vida de estrellas de masa intermedia, como el Sol, y están formadas por una estrella central muy densa y caliente y una envoltura gaseosa fluorescente. “En un periodo de unos veinte a treinta mil años, la nebulosa se disipa y el brillo de la estrella central se va extinguiendo -señala Martín Guerrero (IAA-CSIC)-. Sin embargo, hay unos pocos casos, en torno a uno de cada mil, en los que la estrella revive gracias a un estallido termonuclear tardío de su capa de helio, lo que vuelve a generar una nueva nebulosa planetaria”.

Este es el caso de la nebulosa Abell 30, que muestra en sus regiones centrales una serie de grumos de material pobre en hidrógeno y una estructura con forma de hoja de trébol en torno a la estrella central. Gracias a imágenes de diversas épocas obtenidas con el telescopio espacial Hubble y a observaciones recientes con los



satélites XMM-Newton (ESA) y Chandra (NASA) se ha establecido que, hace ochocientos cincuenta años, la nebulosa revivió.

Crónica de un renacimiento

Las estrellas obtienen su energía de las reacciones termonucleares que convierten el hidrógeno del núcleo en helio. Al agotarse el hidrógeno, el núcleo de la estrella comienza a hundirse bajo su propio peso, proceso que calienta las capas externas, que se dilatan y expanden. La estrella aumenta su radio casi cien veces y se convierte en una gigante roja.

En el caso de estrellas de masa intermedia las reacciones nucleares prosiguen y el helio da lugar a carbono y oxígeno, pero la dilatación de la envoltura continúa hasta que la estrella pierde control sobre ella y se expande libre en el espacio. El núcleo, muy caliente, produce radiación ultravioleta que, al ionizar el material de la envoltura, hace que emita luz.

Así se formó, hace unos doce mil años, Abell 30, una nebulosa planetaria que presenta un cascarón brillante prácticamente esférico y una estrella central -una enana blanca con un núcleo de carbono y oxígeno, una capa de helio y otra, más superficial, de hidrógeno-. Pero, con el tiempo, las reacciones termonucleares en la capa de hidrógeno superficial alimentaron la capa inferior hasta que, hace ochocientos cincuenta años, se inició la fusión de helio. Esto produjo la eyección de parte del material de dichas capas y una dilatación tal que la estrella retomó las características de una gigante roja (entre ellas, la emisión de un viento estelar de baja velocidad).

Tras esta segunda fase de gigante roja, que duró entre cinco y veinte años, la estrella volvió a contraerse y comenzó a emitir un viento estelar muy veloz, compuesto por partículas que podían alcanzar los cuatro mil kilómetros por segundo. “El material eyectado durante el estallido es aho-

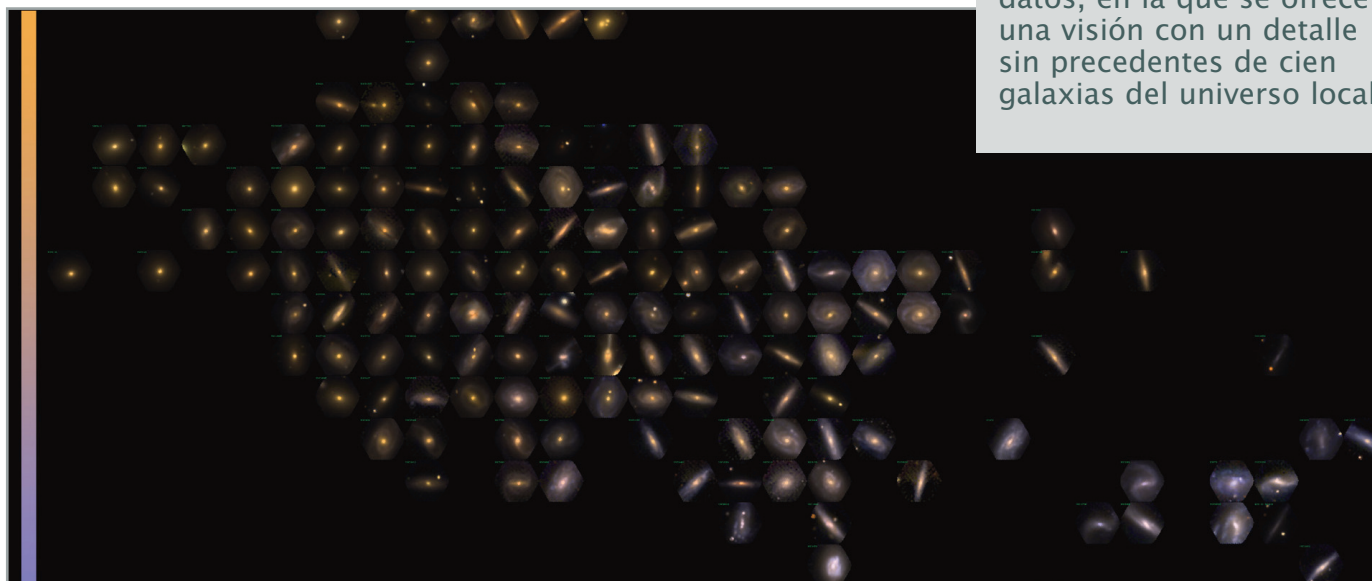
ra barrido por el viento de la estrella e ionizado por su radiación ultravioleta para formar estructuras que recuerdan a los cometas del Sistema Solar, solo que sus colas son miles de veces mayores y emiten copiosamente en rayos X”, añade Martín Guerrero (IAA-CSIC).

Abell 30 constituye un objeto de gran interés porque es una de las cuatro nebulosas planetarias renacidas que se conocen, y porque se trata de un sistema único que presenta tres tipos de viento estelar, lo que la convierte en el objeto idóneo para estudiar la interacción de vientos. Además, objetos como Abell 30 permiten anticipar el futuro del Sol, que previsiblemente formará una nebulosa planetaria. “Abell 30 nos permite vislumbrar el futuro del Sistema Solar, cuando el Sol se convierta en enana blanca y los planetas que aún sobrevivan sufran condiciones extremas”, apunta Martín Guerrero (IAA-CSIC).

Silbia López de Lacalle (IAA)

CALIFA: el universo local al descubierto

El sondeo CALIFA (*Calar Alto Legacy Integral Field Area*) ha llevado a cabo su primera emisión pública de datos, en la que se ofrece una visión con un detalle sin precedentes de cien galaxias del universo local



► Los datos hechos públicos por el proyecto CALIFA (*Calar Alto Integral Field Area*) permiten generar mapas con distintas propiedades de las galaxias, como la velocidad, las edades estelares o la composición química, entre otras. Esta información permitirá ahondar en varias cuestiones cruciales relacionadas con la estructura y la historia de las galaxias que conforman el cosmos. Se espera obtener resultados, por ejemplo, acerca de qué procesos impulsaron la evolución de las galaxias a lo largo del tiempo, cómo se producen dentro de las galaxias (o en distintas regiones dentro de cada galaxia individual) los elementos químicos necesarios para la vida, los fenómenos involucrados en las colisiones entre galaxias... Esta información tan rica permite desvelar la historia no solo de una galaxia entera, sino también de sus partes constituyentes.

“La cantidad de ciencia que se puede hacer es simplemente increíble”, en palabras de Jakob Walcher, responsable científico del proyecto CALIFA. “Podemos estudiar los procesos locales que impulsan la evolución de las galaxias y que tienen lugar en distintos sitios dentro de las galaxias, como la formación estelar, efectos dinámicos, etcétera. Pero también podemos caracterizar globalmente las propiedades de las galaxias del universo local de un modo imposible hasta ahora. Por ejemplo, cartografiamos la distribución bidimensional de la masa estelar y de los elementos químicos que conforman las galaxias. Por último, el gran tamaño de nuestra muestra permitirá establecer comparaciones entre distintos tipos de galaxias”. CALIFA aplica para este fin la técnica llamada espectroscopia de campo integral (IFS) a seiscientas galaxias del universo local. Los estudios

observacionales tradicionales en astronomía extragaláctica recurrían a una de las dos técnicas clásicas: o bien la toma de imágenes, lo que brinda información detallada acerca de la estructura espacial de las galaxias, o bien la espectroscopia, que ofrece información detallada sobre varias propiedades de las galaxias pero poca, o ninguna, sobre la distribución espacial de estos rasgos. La reciente tecnología IFS permite tomar una multitud de espectros de manera simultánea sobre muchos puntos de cada galaxia, gracias a una combinación eficaz de fibras ópticas y técnicas clásicas. CALIFA es el primer estudio IFS diseñado de manera explícita como un proyecto de tipo legado y, cuando culmine, será el mayor estudio de este tipo que jamás se haya completado.

El espectrógrafo de campo integral empleado para el sondeo CALIFA

en el Observatorio de Calar Alto, PMAS (en una configuración especial denominada PPAK) usa más de 350 fibras ópticas para cubrir un campo de visión de un minuto de arco (equivalente al tamaño aparente de una moneda de un euro situada a una distancia aproximada de ochenta metros). De este modo se puede cartografiar por completo y en detalle todo un objeto extenso como, por ejemplo, una galaxia.

Esta es la primera de varias emisiones públicas de datos previstas para el sondeo CALIFA. Se están efectuando más observaciones con vistas a completar el estudio. La calidad excepcional de los cielos de Almería, unida a las prestaciones excepcionales de los telescopios, los instrumentos y el personal de Calar Alto, prometen resultados emocionantes para este proyecto científico internacional.

(CAHA)



¿El fin de la misión CoRoT?

► La misión europea que halló el primer planeta extrasolar rocoso puede hallarse ante su final: el pasado noviembre sufrió un problema informático que impide el envío de datos y que, tras varios intentos, no ha podido repararse. CoRoT, la primera misión cazaplanetas en emplear el método de los tránsitos, estaba programada para tres años pero ya llevaba más del doble en funcionamiento. En este tiempo, ha confirmado un total de treinta y un planetas (aún tiene unos doscientos candidatos pendientes) y ha aportado valiosos resultados en astrosismología, como el hallazgo de un nuevo tipo de oscilaciones en las estrellas gigantes rojas.

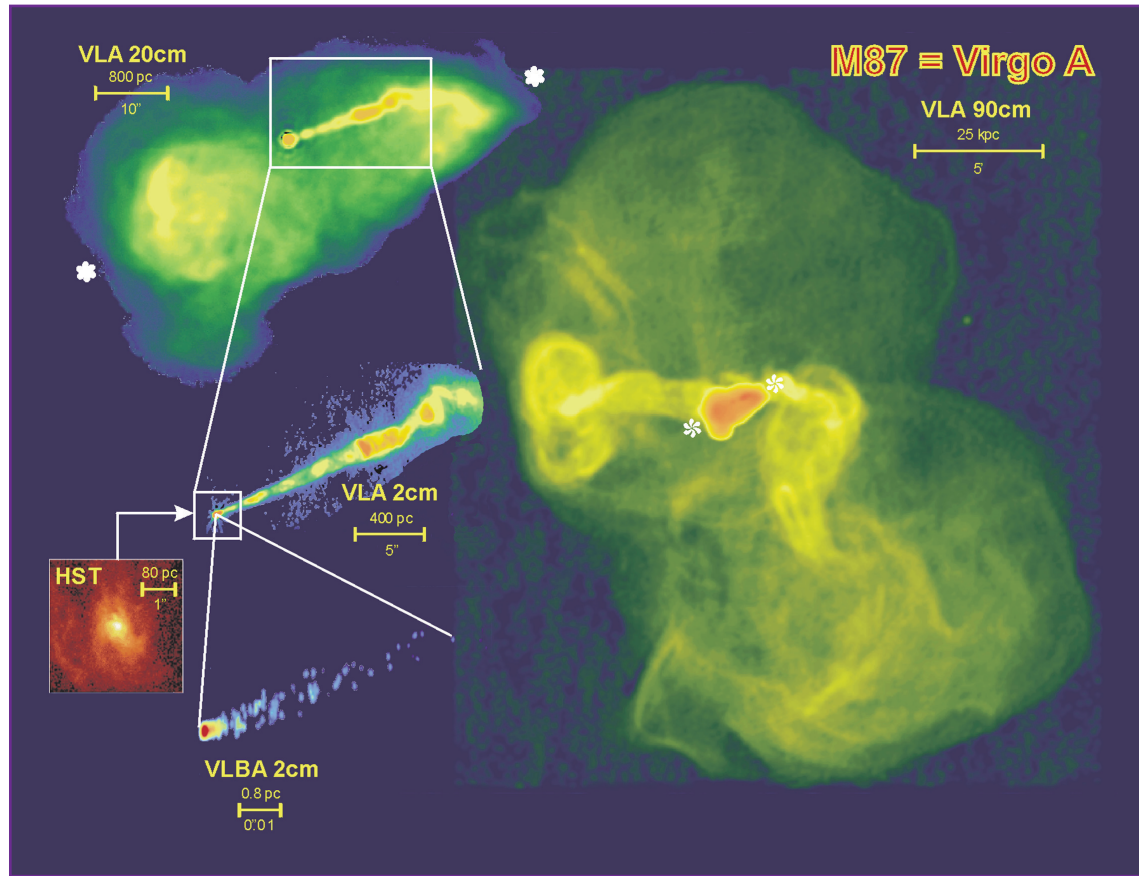
<http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=european-exoplanet-hunting-space-telescope-nears-its-end>

Más cerca del agujero negro de M87

Recientes resultados muestran las regiones próximas a la última órbita estable en torno al centro de la galaxia

► Para definir el “tamaño” de un agujero negro, los astrofísicos utilizamos el concepto del radio de Schwarzschild (R_{sch}) que está asociado con el radio aparente del denominado horizonte de sucesos en el espacio-tiempo que hace que cualquier evento que suceda a un lado de la superficie no afecte a un observador situado en el otro). Su valor depende de la masa del agujero negro: a modo de ejemplo, si el Sol fuera un agujero negro, tendría un tamaño de tres kilómetros; en cambio, una galaxia activa de mil millones de masas solares tendría un agujero negro con un tamaño de entre seis y siete unidades astronómicas (UAs). Gracias a las observaciones interferométricas en radio se obtienen imágenes con una nitidez del orden de miles, centenares y decenas de veces el radio de Schwarzschild, dependiendo de la masa del núcleo y de cuán próxima se encuentre la galaxia activa.

En los últimos años, los radioastrónomos han mejorado la resolución angular de sus imágenes, haciendo un zoom progresivo a los núcleos de las galaxias activas, y batiendo marcas en cuanto a la nitidez de las imágenes. Ciñéndonos a las galaxias activas más cercanas: SgrA* se encuentra a una distancia de veintiséis mil años luz y su masa es de cuatro millones de masas solares. Observaciones muy recientes han demostrado que el tamaño de SgrA* es inferior a 0,30 UA, que correspondería a tan solo 3,7 R_{sch} (para SgrA*, 1 R_{sch} = 0,08 UA). Centaurus A se encuentra a una distancia de once millones de años luz y su agujero negro tiene una masa de doscientos millones de masas solares, lo que significa que se puede cartografiar con una resolución inferior a los 10 R_{sch} . ¡Estamos ya en la vecindad del horizonte de sucesos del

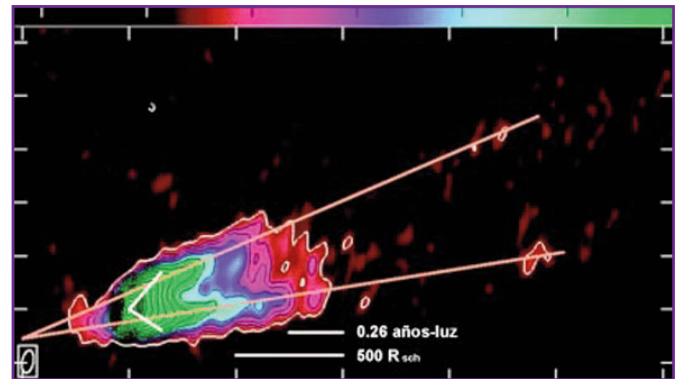


Arriba: montaje con imágenes de M87 a diferentes escalas lineales, desde 80.000 hasta 2,5 años luz. Fuente: NRAO-AUI.

Izda: imagen del núcleo de M87. La imagen tiene una resolución lineal de 80 radios de Schwarzschild (24 días luz) y se extiende hasta una distancia de 300 días luz. Fuente: Chun Ly, *Astrophysical Journal*.

agujero negro! Desde el punto de vista de la física, se están vislumbrando aquellas escalas de distancias en las que los efectos de la relatividad general son fundamentales y podrán ser caracterizados y estudiados con gran detalle.

M87 se encuentra a una distancia de cincuenta y cinco millones de años luz y la masa de su agujero negro supermasivo es del orden de seis mil doscientos millones de masas solares, por lo que el tamaño de su R_{sch} es de 12 UA. Recientemente se han realizado observaciones de VLBI a 1,3 milímetros del núcleo de M87 con una resolución angular mejor que veinticinco microsegundos de arco, derivando un tamaño para su núcleo de $5,5 \pm 0,4 R_{sch}$ (~0,6 UA). Los datos han sido publicados en la



revista *Science*. Estos resultados están muestreando, por tanto, aquellas regiones próximas a la última órbita estable en torno al centro de la galaxia y las regiones donde se ha formado y eyectado el jet relativista. Debe mencionarse que, al contrario de SgrA*, M87 presenta un jet que se extiende hasta distancias de millones de años luz (ver imagen). El modelado de los datos interferométricos sugiere inequívocamente que el agujero negro central se encuentra en rotación (los autores dan incluso una cota inferior para la rotación del agujero negro) y que el jet relativista es alimentado por un disco de acreción que gira en torno al agujero

negro central en el mismo sentido que este gira sobre sí mismo. Los resultados observacionales excluyen explícitamente las órbitas retrógradas porque el tamaño previsto para la región emisora superaría ampliamente el tamaño que se ha determinado observacionalmente. De hecho, este resultado es consistente con los modelos teóricos más aceptados que predicen que los ejes de rotación del agujero negro y del disco de acreción deben irse alineando con el tiempo, gracias a la transferencia de momento angular desde el disco de acreción.

Antxon Alberdi (IAA)

ENTRE BASTIDORES

LA SOLIDARIDAD CON EL FUTURO

JUAN IGNACIO PÉREZ (UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO)

“Queremos que nuestros hijos crezcan en un país en el que puedan ir a las mejores escuelas y con los mejores profesores, un país que esté a la altura de sus logros como líder global en tecnología, descubrimiento e innovación, con todos los buenos puestos de trabajo y nuevos negocios que ello conlleva”. Esa frase es del discurso que pronunció el presidente Obama tras conocer los resultados de las elecciones del pasado año.

Hace ya unas décadas, en una comisión del Senado de los Estados Unidos, el senador Pastore interrogaba al Dr. Wilson acerca de la conveniencia de construir un acelerador de partículas. Pastore: “¿Hay algo relacionado con este acelerador que, de alguna manera, ayude a la seguridad de la nación?” Dr. Wilson: “No, señor. No lo creo”. Pastore: “¿Nada en absoluto?” Dr. Wilson: “Nada en absoluto”. Pastore: “¿No tiene en ese sentido ningún valor?”. Dr. Wilson: “Solo tiene que ver con el valor que nos otorgamos los unos a los otros, con el mutuo respeto, con la dignidad del hombre, nuestro amor por la cultura. Tiene que ver con esas cosas. Tiene que ver con buenos pintores, con buenos escultores y grandes poetas. Quiero decir, todas esas cosas que los hombres respetamos, veneramos y queremos en nuestro país y por lo que somos patriotas. No tiene nada que

ver directamente con la defensa de nuestro país, excepto en hacer que merezca la pena defenderlo”.

Tanto la frase del discurso de Obama, como el intercambio entre el senador Pastore y el Dr. Wilson ponen de manifiesto la devoción por el conocimiento, por el descubrimiento y por la innovación que tienen los norteamericanos. No sorprende, por ello, el esfuerzo que hacen en I+D (3% de su PIB), y el hecho de que más de la mitad de las cien mejores universidades del mundo y diecisiete de las veinte primeras sean norteamericanas. En España, sin embargo, las cosas son diferentes. Las inversiones en I+D representan poco más del 1% del PIB. Y, después de casi un lustro de reducciones, los presupuestos de I+D de la administración central para 2013 son equivalentes a los de 2005. La situación de la ciencia española es tan grave que científicos españoles de primera línea se han dirigido por carta al presidente Rajoy para advertirle de que nos encontramos ante su inminente colapso.

La crisis es la razón esgrimida para justificar esa situación, pero eso contrasta con lo que ocurre en otros países, como Estados Unidos y también Alemania, en los que, desde políticas económicas bien diferentes, han coincidido en elevar las inversiones en I+D en los momentos difi-

ciles. No es de extrañar, porque segar las inversiones en ciencia es cegar una de las principales fuentes de cultura y conocimiento de un país, y es también cercenar el desarrollo, el bienestar y hasta la democracia del futuro. Sus efectos son múltiples: empiezan afectando al rendimiento y la continuidad del sistema de ciencia y tecnología; luego inciden en la cualificación de los profesionales de alto nivel; extienden su influjo negativo a todos los niveles del sistema educativo y, finalmente, es todo el capital humano del país en su conjunto el que se resiente.

Volver a levantar el sistema de ciencia ruso, tras haberlo dejado caer a finales del siglo pasado, costará diez veces más que lo que hubiera costado mantenerlo durante todos estos años. Algo parecido puede ocurrirle a España. Si el sistema colapsa no podrá ser reiniciado cuando vuelvan los ingresos; sencillamente, se desintegrará y será necesario un volumen ingente de recursos para ponerlo de nuevo en marcha.

He querido hacer esta reflexión para recordar que investigación y educación son la mejor forma de solidaridad, la solidaridad con los que vienen detrás de nosotros, la solidaridad con el futuro.

** Artículo publicado originariamente en el diario Deia.*

NGC 2237 - Rosette Nebula - Hubble

palette: SII(R)Ha(G)OIII(B)

Lugar: Granada (ciudad)

Telescopio: SkyWatcher ED80

CCD: SBIG ST2000XM

Filtros: Ha (10x 1800s), SII (10x 1200s), OIII(11x 1200s)

Accesorios: Óptica adaptativa SBIG A08, CFW10, IDAS LPS-P2

Montura: Losmandy G11

Fotografía tomada a través de filtros de banda estrecha y utilizados en la denominada Hubble Palette: SII para el rojo, Ha para el verde y OIII para el azul. Los filtros de banda estrecha permiten conseguir imágenes de cielo profundo incluso en condiciones de elevada contaminación lumínica. La nebulosa

Roseta es una nebulosa de emisión, donde la radiación emitida por el cúmulo abierto NGC2244 en su centro ioniza el gas alrededor, iluminando la nebulosa y generando además ondas de compresión que llevan a la formación de nuevas estrellas, como denota la presencia de glóbulos de Bok en su interior.

Nebulosa Roseta

LA IMAGEN

Por Gian Paolo Candini (IAA)



SALA limpia



por Miguel Abril (IAA)

la respuesta:

Si el *Curiosity* encuentra vida... ¿cómo sabremos que es efectivamente vida marciana y no microorganismos que ha llevado la propia nave desde la Tierra?

- A) SI SON VERDES, SON MARCIANOS.
- B) SI SE PELEAN, SON DE LA TIERRA.
- C) UN ORGANISMO EXTRATERRESTRE DIFERIRÍA TANTO DE UNO TERRESTRE QUE HABRÍA MILES DE FORMAS DE DISTINGUIRLOS.
- D) NO LO SABRÍAMOS.

La opción A queda descartada debido a ciertas especies animales pertenecientes a la clase de los batracios y al orden de los anuros. Las ranas, vamos. La opción B también puede eliminarse tomando como referencia un montón de películas basadas en hechos reales, como las sagas de *Star Wars* o *Star Trek*, en las que se demuestra que las ganas de pelearse no son patrimonio exclusivo de las formas de vida terrestres. Así que la respuesta correcta queda en un mano a mano entre las opciones C y D. ¿Cuál es la buena? Ni idea. Pero ni yo ni nadie, vamos. Se han propuesto distintos modelos de bioquímicas hipotéticas, en las que el papel del carbono como componente básico de las moléculas vitales sería sustituido por elementos como el silicio, el boro, el arsénico o una combinación de nitrógeno y fósforo. En otros modelos se sustituye el agua como disolvente fundamental por com-

puestos como amoníaco, fluoruro de hidrógeno o metanol. No obstante, ninguno de estos modelos está exento de dificultades para formar sistemas bioquímicos complejos, por lo que muchos investigadores defienden que cualquier tipo de vida debería basarse en el carbono. En el caso de que esta hipótesis, bautizada por Carl Sagan como "chovinismo del carbono", fuera cierta, los organismos simples podrían ser mucho más parecidos a los que conocemos y, por tanto, no tan evidente su identificación. Queda claro, por tanto, que no podemos arriesgarnos a confiar en nuestra capacidad de discriminar los organismos de vida extraterrestre de aquellos que un vehículo espacial pudiera haber transportado desde la Tierra. A ello se une un factor impuesto por la responsabilidad moral que aceptamos al emprender cualquier tipo de investigación en otros cuerpos celestes, y que fue plasmada allá por 1967 en el Tratado del Espacio Exterior: al menos

tan importante como asegurarse de que las muestras recogidas no quedan contaminadas por microorganismos terrestres es garantizar que ningún organismo terrestre pueda contaminar el entorno extraterrestre. Vamos, que no es cuestión de que la cosa acabe como en la Guerra de los Mundos pero al revés, con todos los incautos seres vivientes del planeta rojo (o cualquier otro cuerpo celeste) aniquilados por unos irreductibles microbios llegados del espacio. La solución a todos estos problemas de contaminación cruzada consiste, simple y llanamente, en mandar naves espaciales más limpias que la cocina de Chicote. Desde el mismo origen de las misiones espaciales, a finales de los años cincuenta del siglo pasado, se desarrolló una disciplina específicamente orientada a este fin: la protección planetaria. Actualmente las misiones espaciales se dividen en cinco categorías, en función del grado de interacción con el cuerpo celeste objetivo y de la posibilidad de encontrar vida. Así, las misiones menos exigentes serían las basadas en vehículos que pasan u orbitan en torno al Sol o a planetas como Mercurio, y las más exigentes las naves o sondas diseñadas para posarse en Marte o en satélites como Titán, Europa o Encélado. Por encima de todas ellas quedarían las

misiones de categoría V, aquellas en las que se prevé el retorno a la Tierra de las muestras recogidas o de alguno de los componentes del sistema. Las medidas que contempla la protección planetaria para minimizar la probabilidad de contaminación se basan en la esterilización de los equipos y en su ensamblaje en entornos limpios. La esterilización suele realizarse mediante la aplicación de aire seco a altas temperaturas, aunque en el caso de sistemas electrónicos u otros sensibles al calor se utilizan esterilizantes químicos como el peróxido de hidrógeno. La protección planetaria tomó especial relevancia con el descubrimiento de organismos extremófilos, que son capaces de mantenerse con vida (activa o latente) en condiciones que siempre se habían considerado incompatibles con esta. La extraordinaria resistencia de ciertos microorganismos se reveló como un problema real ya en 1969, cuando, tras el alunizaje y retorno exitoso a la Tierra de la misión Apolo 12, se descubrieron bacterias vivas del tipo *Streptococcus mitis* en la cámara fotográfica de la sonda *Surveyor 3*. El descubrimiento se atribuyó a un fallo en el proceso de esterilización de la sonda antes del lanzamiento y demostró la absoluta necesidad de seguir los protocolos de protección planetaria.

la pregunta:

Si, vale, todo esto está muy bien. Pero para aquellos a los que la palabra "extraterrestre" nos sugiere algo más que bichos diminutos y lo que queremos es encontrar vida a lo bestia, el Sistema Solar se nos queda corto. Para encontrar planetas con condiciones parecidas a las del nuestro hay que mirar mucho más lejos, a otras

estrellas. La búsqueda de estos exoplanetas es una de las disciplinas más en boga en la astronomía actual, y se realiza con misiones espaciales como Corot y Kepler o mediante instrumentos basados en tierra, como HARPS o el increíble, maravilloso y supermolón espectrógrafo de alta resolución CARMENES*. En el próximo número hablaremos sobre este último pero, para abrir



boca... ¿Por qué CARMENES se llama CARMENES?

Carmen Electra, Carmen de Mairena y Carmen Lomana en el photocall de la reunión de revisión del diseño conceptual del proyecto CARMENES, en octubre de 2009.

RESPUESTAS

- A) EN HOMENAJE A CARMEN VELA, POR SU DECIDIDO APOYO A LA CIENCIA E INVESTIGACIÓN BÁSICAS.
- B) PORQUE EL INSTRUMENTO OPERARÁ EN SENDOS CÁRMENES DEL ALBAYZIN GRANADINO (EL CARMEN VISIBLE Y EL CARMEN DEL

- INFRARROJO, CERCANO A AQUEL).
- C) EN HOMENAJE A CARMEN LOMANA, CARMEN DE MAIRENA Y CARMEN ELECTRA, QUE APOYAN LA CIENCIA E INVESTIGACIÓN BÁSICAS TANTO COMO LA CARMEN DE LA RESPUESTA A.
- D) CARMENES ES UN ACRÓNIMO FORMADO POR LAS INICIALES (Y NO TAN INICIALES) DE UN MONTÓN DE COSAS Raras.

(*) Esteeee... ¿se nota mucho que el autor está metido en este proyecto?

VEINTE AÑOS DEL CINTURÓN TRANSNEPTUNIANO

Pilares científicos

Hace ya dos décadas que David Jewitt y Jane Luu detectaron un pequeño, lento y débil objeto al que se bautizó como 1992 QB₁. Este objeto marcó el inicio del estudio del llamado cinturón transneptuniano (o cinturón de Edgeworth-Kuiper), un conjunto de pequeños cuerpos que orbitan alrededor del Sol más allá de Neptuno. Aunque en realidad el primero de los objetos de este cinturón, Plutón, fue descubierto en 1930 por Clyde Tombaugh. Es curioso que la mayor estructura del Sistema Solar descubierta haya permanecido oculta a nuestros ojos hasta casi el final del siglo XX.

En estos veinte años hemos descubierto que estos cuerpos, situados a más de treinta unidades astronómicas del Sol (una unidad astronómica -UA- es la distancia media Tierra-Sol), guardan información relevante sobre la evolución y formación del Sistema Solar hace 4.600 millones de años. Estos objetos son restos de la formación planetaria a partir de la nube de gas y polvo que también ori-

ginó el Sol. A tales distancias nuestro Sol apenas ilumina el cielo en esas oscuras y frías regiones donde la temperatura es de -220 grados.

Casi han finalizado todos los programas de búsqueda de transneptunianos brillantes en ambos hemisferios y la mayor parte de los detectados tiene diámetros entre los cien y los trescientos kilómetros; aunque por supuesto los hay mayores, en el rango de los miles de kilómetros, como Haumea, Quaoar, Varuna y los dos más grandes, Eris y Plutón, que rondan los dos mil cuatrocientos kilómetros. Hemos detectado hasta ahora 1.258 objetos transneptunianos y estimamos que quedan sin descubrir más de cien mil con diámetros mayores de cien kilómetros y probablemente miles de millones con tamaños kilométricos.

Conocemos los períodos de rotación para unos ochenta objetos transneptunianos, siendo Haumea el que rota más rápidamente (en solo cuatro horas). Los más grandes suelen tener satélites. Hemos descubierto también que las superficies de estos cuerpos presentan una gama de colores muy variada, desde

los más azulados (compuestos fundamentalmente por agua helada o metano), a los más enrojecidos (color debido a materia orgánica irradiada). La mayoría presentan superficies oscuras y poco reflectantes como el carbón, aunque algunos tienen superficies muy reflectantes como el hielo. También se han observado densidades muy distintas: desde muy bajas, cercanas al agua helada, hasta densidades rocosas. Asimismo ocupan una gran variedad de órbitas con muy diferentes excentricidades e inclinaciones.

En los últimos tiempos la detección de ocultaciones de estrellas por alguno de estos cuerpos nos ha permitido calcular con mucha precisión los tamaños de varios de ellos -2002 TX₃₀₀, Eris, Makemake, Varuna-. Con estas ocultaciones también se puede detectar la presencia de atmósfera global, hasta ahora solo detectada en Plutón. También, y gracias al telescopio espacial infrarrojo Herschel (ESA/NASA), hemos podido medir el diámetro y la reflectividad superficial (albedo) de casi ciento cuarenta transneptunianos.

Incertidumbres

El cinturón transneptuniano se ha revelado como una estructura mucho más rica y compleja de lo que se pensaba. Intentar encajar todas las piezas del puzle observacional está siendo un verdadero -aunque apasionante- infierno para los teóricos que estudian el origen y evolución del Sistema Solar.

En primer lugar, el cinturón transneptuniano debería tener mucha más masa de la que observamos. No sabemos dónde está esa masa perdida, aunque quizá se halle en objetos muy pequeños y/o partículas de polvo que aún no hayamos detectado.

No se han encontrado transneptunianos entre las cincuenta y las setenta UAs. Este hueco podría explicarse con la existencia de un planetoides del tamaño de Marte situado a más de cien UAs y que no se habría detectado debido a su poco brillo y lento movimiento, o porque podría estar atravesando la zona de la Vía Láctea poblada de estrellas que dificultan su descubrimiento.

No sabemos cuántos objetos del cinturón son planetas enanos (es decir, esféricos). La respuesta depende de la densidad y tamaño de cada cuerpo. Si el cuerpo está compuesto de hielo, como la mayor parte de los transneptunianos descubiertos, el objeto tendría una forma esférica a partir de los cuatrocientos kilómetros de diámetro: ¡habría entonces miles de planetas enanos más allá de Neptuno! Parece por ello que nuestro Sistema Solar es muy eficiente creando planetas enanos y podría haber más de diez mil por descubrir en nuestro sistema planetario, y quizá ¡billones en nuestra Galaxia! Esto haría que los planetas enanos fueran los cuerpos más abundantes del universo, muy superiores en número a estrellas o planetas "comunes".

Además de lo anterior hay muchas más preguntas aún sin respuesta sobre estos objetos: ¿por qué la mayor parte de los objetos brillantes parecen concentrarse en el hemisferio norte?; ¿a qué se debe la diversidad de colores observada? (¿a diferentes composiciones, quizá porque se han formado en diferentes lugares del Sistema Solar y por ello a diferentes

temperaturas?); ¿cómo han acabado en la misma región?; ¿tienen atmósferas otros transneptunianos aparte de Plutón?; ¿cómo se forman y se mantienen esas atmósferas?; ¿cuál es la relación entre los transneptunianos y otros objetos del Sistema Solar como los cometas?; ¿y con la nube de Oort (aún no detectada)?, ¿cómo se forman los satélites? (¿por captura de otros cuerpos o por fisión debida a una rotación rápida?), ¿por qué presentan densidades tan diferentes? Quizá los objetos más grandes sean diferenciados y estemos viendo una mezcla de diferentes fragmentos de estas "capas" desgarradas tras muchas colisiones catastróficas. ¿Por qué algunos objetos tienen inclinaciones tan altas -¡algunos hasta 104 grados!- e incluso movimientos retrógrados?

Seguro que la sonda *New Horizons*, que llegará a Plutón en 2015, y las últimas generaciones de telescopios espaciales y terrestres arrojarán nueva luz en esa oscura, fría y lejana región del espacio en los confines de nuestro Sistema Solar.

AGENDA

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

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA. CICLO LUCAS LARA

21 feb	Rolando García (NCAR, EEUU)	Clima y protocolos: La que se nos venía encima.
21 mar	Por determinar	Por determinar

LAS CONFERENCIAS SE RETRANSMITEN A TRAVÉS DE INTERNET EN WWW.SONOVOZ.COM, DESDE DONDE TAMBIÉN PUEDEN DESCARGARSE SESIONES ANTERIORES



DESTACADOS

CIENCIA Y POESÍA. REVISTA LITORAL, NÚMERO 253

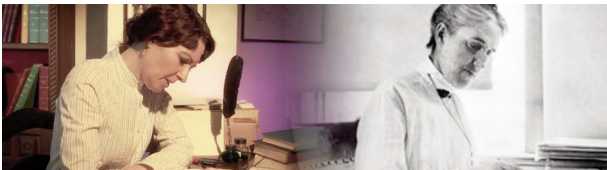
"¿Ciencia y poesía, literatura y ciencia, son partículas que giran alrededor de un núcleo llamado conocimiento, como sucedía en la Antigüedad clásica, o tienden a expandirse, a separarse una de la otra al modo de un big bang? ¿Qué relaciones han mantenido ciencia y religión? ¿Qué enfoque de la ciencia adoptaron los poetas clásicos chinos? ¿Qué visión de los médicos ha ofrecido, desde sus inicios, el cine? ¿Cuáles deberían ser las prioridades de la ciencia de cara al bienestar humano? ¿Cuál es el futuro de la ciencia en relación con la literatura? ¿Qué ofrece al arte electrónico?"

Un escogido grupo de colaboradores, procedentes de diversos ámbitos, dan respuesta a estas cuestiones en el número 253 de la revista Litoral".



www.edicioneslitoral.com/revistas/253.html

DOS VIDEOBLOGS HISTÓRICOS FALSOS: Nikola Tesla y Henrietta Leavitt



<http://henrietta.iaa.es>

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

EL RADIOSCOPIO

<http://radioscopio.iaa.es>

EL RADIOSCOPIO

Hay mucha más ciencia de la que crees

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

CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS

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

CSIC

