

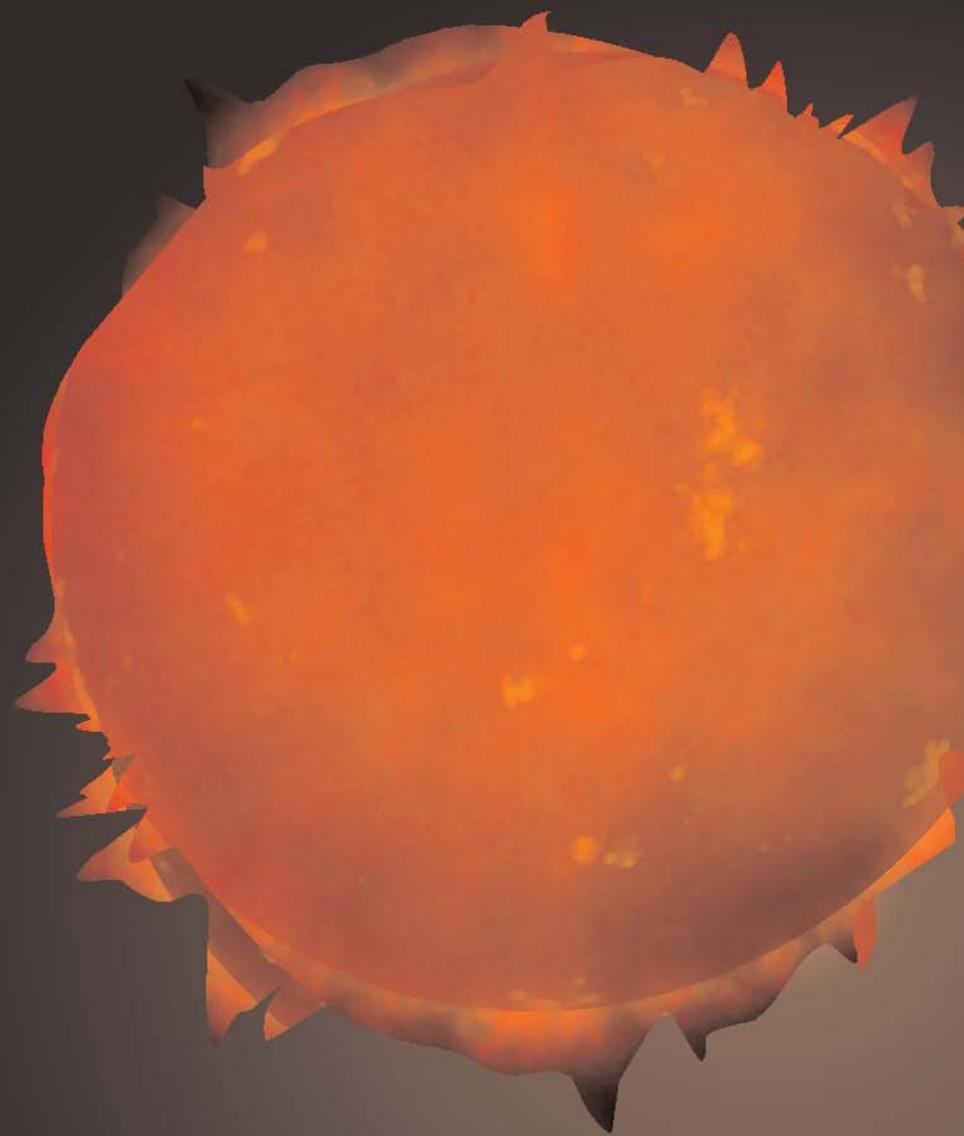
I A A

INFORMACIÓN y ACTUALIDAD ASTRONÓMICA

<http://www.iaa.csic.es/revista.html>

FEBRERO DE 2010, NÚMERO 30

HABITABILIDAD EN EL UNIVERSO



EL GRAN ATRACTOR
RADIOASTRONOMÍA
JOHANNES KEPLER

Director: Carlos Barceló. Jefa de ediciones: Silbia López de Lacalle. Comité editorial: Antxon Alberdi, Emilio J. García, Rafael Garrido, Javier Gorosabel, Rafael Morales, Olga Muñoz, Iván Agudo, Julio Rodríguez, Pablo Santos y Montserrat Villar. Edición, diseño y maquetación: Silbia López de Lacalle. Imprime: ELOPRINT S.L.

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

Revista editada por la Unidad de Cultura Científica del IAA-CSIC, que recibe financiación del IAA, el CSIC y la FECYT (MICINN).



SUMARIO

REPORTAJES

Habitabilidad en el Universo ...3

El imán de la Vía Láctea ...6

El estudio del Universo frío ...8

DECONSTRUCCIÓN Y otros ENSAYOS. Johannes Kepler ...12

EL "MOBY DICK" DE... Matilde Fernández (IAA-CSIC)...14

HISTORIAS DE ASTRONOMÍA. La noche de Noli ...15

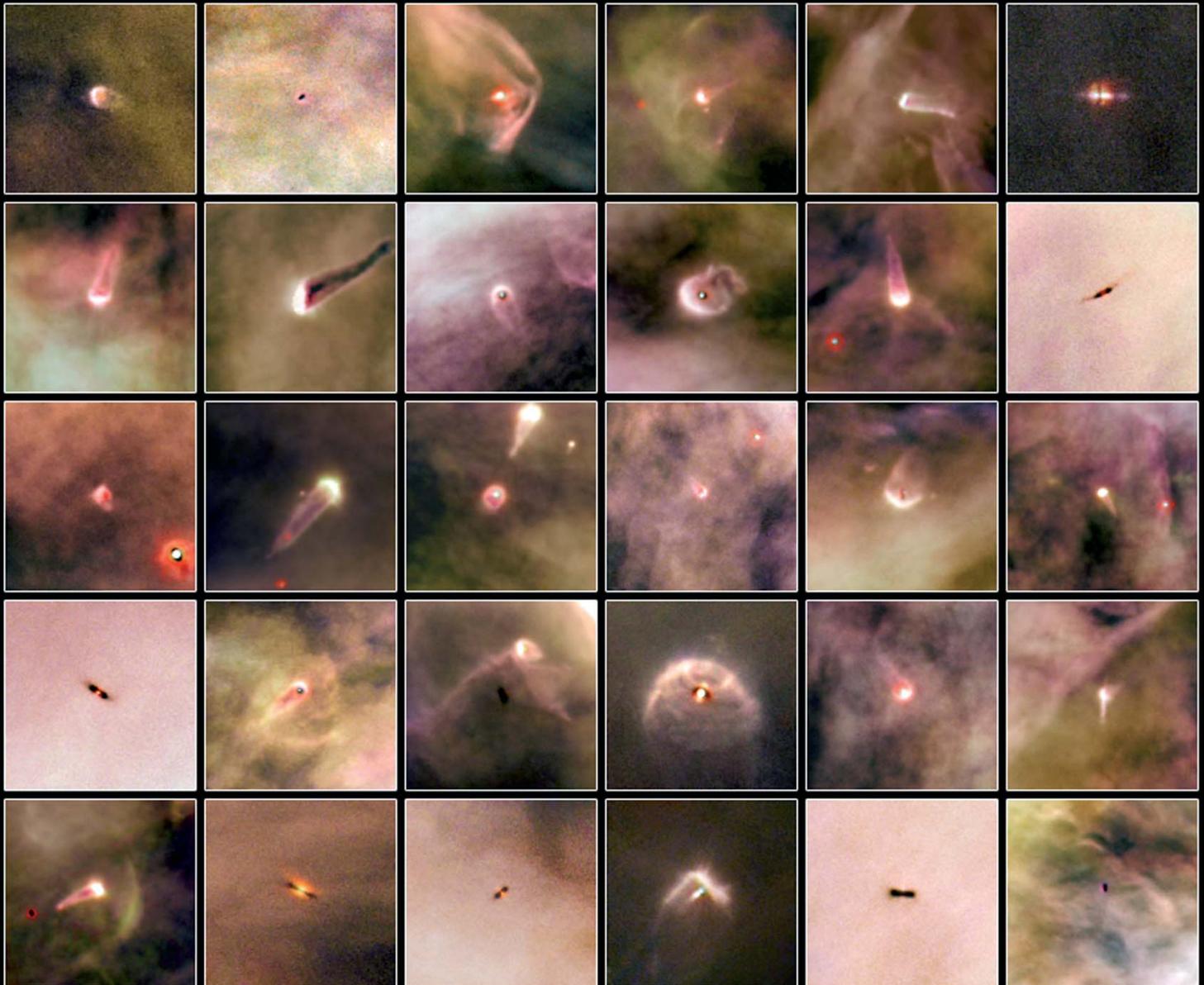
ACTUALIDAD ...16

ENTRE BASTIDORES ...21

CIENCIA: PILARES E INCERTIDUMBRES

Núcleos activos de galaxias ...22

ACTIVIDADES IAA ...23



Fuente: NASA/ESA/L. Ricci (ESO)

NUEVAS ESTRELLAS. Colección de treinta sistemas planetarios en formación fotografiados por el Telescopio Espacial Hubble. Conocidos como "proplyds" -de *protoplanetary discs*, o discos protoplanetarios, estas burbujas de gas y polvo en torno a estrellas en formación están desvelando los mecanismos de formación de sistemas planetarios.

Sobre la pluralidad de los mundos habitables



PUEDA QUE LA TIERRA NO SEA TAN ESPECIAL, NI LA VIDA TAN RARA COMO A VECES SE PIENSA

Por **Fernando Ballesteros (Observatori Astronòmic, UV)**

PERMÍTANME COPIAR PARA ESTE ENSAYO EL TÍTULO DEL FAMOSO LIBRO DE CAMILLE FLAMMARION, quien se inspirara a su vez en el trabajo de Giordano Bruno, y permítame preguntar al aire: ¿bulle el Universo con vida, o es nuestro mundo una anomalía? Esta es una de las preguntas que más ampollas ha levantado a lo largo de la historia (en el caso de Giordano Bruno, esto fue literalmente cierto) debido a que tiene importantes repercusiones religiosas y filosóficas. Hasta hace bien poco cualquier respuesta a esta pregunta era altamente especulativa, pero ahora, gracias a nuestro nivel de conocimiento científico, la respuesta a la misma es, simplemente, especulativa. Bromas aparte, y a pesar de que no conocemos la respuesta, la ciencia sí puede darnos ciertas indicaciones. Al menos, creemos que podemos saber si un mundo es habitable, independientemente de que esté habitado o no. La Tierra, sin duda, es habitable.

Un cúmulo de coincidencias

¿Pero qué hace habitable la Tierra? Si uno se para a examinar, ¡al parecer un cúmulo improbable de coincidencias! Entre estas coincidencias improbables se encuentra el hecho de que la órbita del Sol alrededor del centro de la Galaxia es prácticamente circular. Esto hace que nuestro Sistema Solar se encuentre siempre a la

misma distancia del núcleo galáctico, lejos de las potentes emisiones de rayos gamma del agujero negro supermasivo que habita en su interior. Estrellas con órbitas más excéntricas no han tenido tanta suerte y cada cierto tiempo se acercan demasiado a la peligrosa zona central de la Galaxia.

Otra coincidencia es que la Tierra se encuentra a la distancia correcta del Sol, en una región del Sistema Solar bautizada con el nombre de Zona de Habitabilidad.

Esta zona se define como la región

en la cual la radiación de la estrella puede mantener temperaturas en la superficie planetaria lo bastante altas para permitir que el agua esté líquida (que luego lo esté o no puede depender de otros factores, como la presión atmosférica, el albedo o la presencia de gases con efecto invernadero).

Si la Tierra estuviera mucho más lejos del Sol, el agua estaría en forma de hielo y no tendríamos mares. Si estuviera más cerca, el calor del Sol sería

demasiado elevado y el agua se evaporaría. Resulta además que la zona de habitabilidad cambia con la evolución de las estrellas. Conforme pasa el tiempo y dejan de ser jóvenes, las estrellas van emitiendo cada vez más energía, con lo que la zona de habitabilidad se va alejando hacia el exterior. Cuando el Sol era una estrella joven, esta zona comprendía los planetas Venus y Tierra. Posteriormente, al aumentar la actividad solar, la zona de habitabilidad se extendió, y Venus quedó fuera de ella, comprendiendo actualmente los planetas Tierra y Marte. Por casualidad, nuestro planeta ha tenido una órbita privilegiada que le ha permitido encontrarse siempre dentro de esta zona ideal.



Además, de todos los cuerpos rocosos del Sistema Solar, sólo nuestro planeta posee tectónica de placas, que permite entre otras cosas la renovación del CO₂ atmosférico y con ello la existencia de un ciclo del carbono, indispensable para la vida. Esta tectónica de placas única funciona gracias al elevado calor interno de nuestro planeta, que proviene en su mayor parte de la desintegración de elementos radiactivos en el interior del planeta, lo que mantiene el núcleo y el manto en un estado fluido. Es también esta fluidez del interior planetario la que permite que el núcleo de hierro del planeta continúe girando como una gran dinamo, gracias a lo cual se genera el campo magnético de la Tierra, con mucho el más potente entre los planetas rocosos del Sistema Solar. Como sabemos, el campo magnético de la Tierra crea un colchón efectivo contra las partículas cargadas de alta energía procedentes del viento solar, protegiendo la vida de los efectos dañinos de esta radiación.

El satélite perfecto

A la lista de rarezas hay que añadir también la existencia de la Luna, un satélite gigante que no tiene parangón entre los demás planetas rocosos del Sistema Solar. Por supuesto, existen satélites de tamaño

comparable, incluso mucho mayores, pero todos esos satélites giran alrededor de los planetas gigantes gaseosos. Ningún planeta rocoso posee un satélite tan grande como el nuestro, de un tamaño comparable al del cuerpo que orbita. Y ello se debe al extraño origen de la Luna, de nuevo una casualidad única: una colisión fortuita entre la primitiva proto-Tierra y un cuerpo planetario con un tamaño similar al del planeta Marte, durante la época de formación del Sistema Solar. Como resultado de esta colisión, los dos cuerpos planetarios se fusionaron en uno, uniéndose sus núcleos de hierro y quedando en órbita alrededor del planeta Tierra resul-

Nuestro planeta ha tenido una órbita privilegiada que le ha permitido encontrarse siempre dentro de esta zona ideal

Ningún planeta rocoso posee un satélite tan grande como el nuestro, de tamaño comparable al cuerpo que orbita

tante una gigantesca nube de materia, producto de la colisión, formando un anillo.

Con el tiempo, el anillo se condensó en un segundo cuerpo planetario que estaba en órbita casi circular. Nació así la Luna. Es importante destacar que para que al final se forme un cuerpo como la

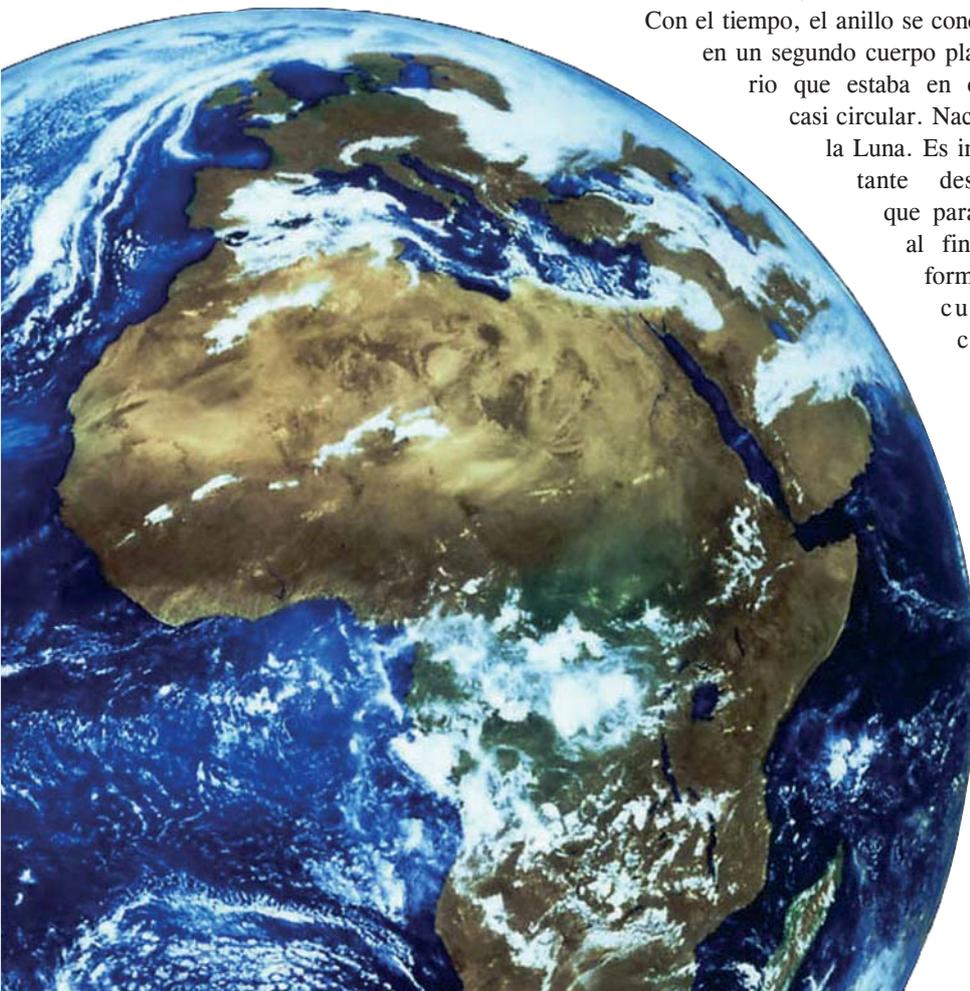
Luna en órbita circular, el ángulo en el que la colisión se debe producir ha de mantenerse en unos valores muy restringidos. Por tanto solo un choque de cada muchos podría terminar dando un sistema doble como el nuestro. Era más probable que no ocurriera, pero por casualidad ocurrió.

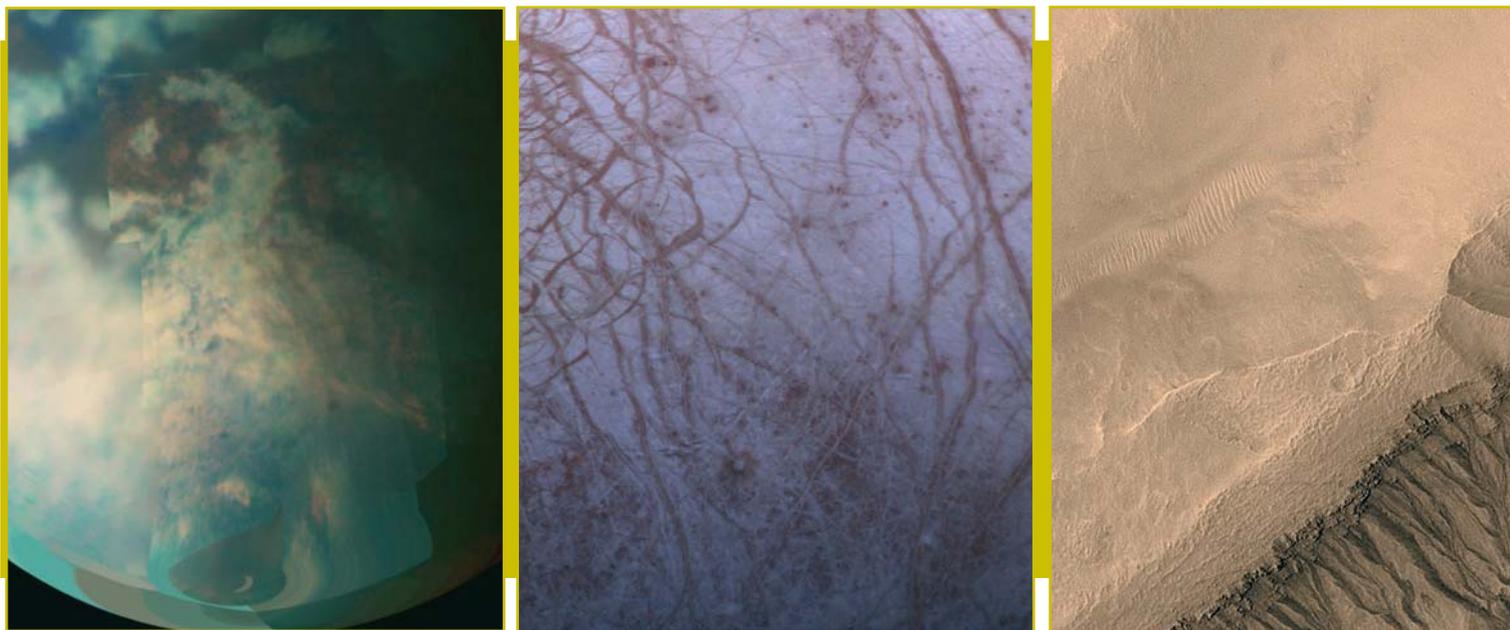
Pero, ¿qué relación puede tener la posesión de un satélite gigante con la vida? Para empezar, la Luna es la causante de las mareas. Muchas especies costeras dependen de este ciclo de subidas y bajadas del nivel del mar para su propio ciclo vital. Más aún, algunas teorías sobre la aparición de la vida creen que las mareas lunares, debido a los cambios de concentraciones químicas que producían en las costas, fueron indispensables para que la vida apareciera sobre la Tierra.

La Luna también tiene influencia en la inclinación del eje de rotación de la Tierra. Su presencia impide que varíe demasiado. Por comparación, algunos astrónomos sostienen que la inclinación del eje de Marte ha sufrido enormes oscilaciones a lo largo de su historia, debido a que el tirón gravitatorio de los planetas gigantes Júpiter y Saturno induce en el eje marciano una dinámica caótica. Si la Tierra no contara con el estabilizador efecto de la Luna, le ocurriría algo similar a Marte, lo que habría tenido sin duda consecuencias demoledoras para la vida.

Esta hipótesis que defiende la excepcionalidad de la Tierra recibe el nombre de Tierra Rara. Sostiene que nuestro planeta es un mundo entre algodones, un lugar donde se ha dado toda una serie de improbables circunstancias afortunadas que han conducido a la vida compleja. Basta con que una de ellas no hubiera sucedido para que no existieran seres inteligentes que estuvieran leyendo esta revista.

¿Le ha convencido? Pues permítame que le diga que todo esto no son más que pamemas, el último reducto del geocentrismo. En realidad, las anteriores circunstancias no son tan excepcionales; tal vez sean más comunes de lo que creemos. Por ejemplo, hay pruebas de que en el pasado hubo tectónica de placas en Marte, y por otro lado los últimos datos de la sonda





Detalles de Titán, Europa y Marte (NASA).

Cassini muestran que Titán, el satélite gigante de Saturno, presenta en su superficie señales de fracturas que sugieren la existencia de tectónica de placas. Por su parte, Ío tiene un activo vulcanismo estimulado por las fuertes mareas que Júpiter induce en él, que estrujan el satélite y (debido al calor generado por este rozamiento) mantienen su interior en estado fluido, sin necesidad de echar mano de desintegraciones radiactivas. Este vulcanismo de Ío juega un papel análogo a la tectónica de placas, y renueva la superficie planetaria cada pocos miles de años. Por otro lado, la propia importancia de la zona de habitabilidad está en entredicho. Por una parte, sabemos que Marte en el pasado, durante la época en que se encontraba fuera de la zona de habitabilidad, tuvo agua líquida en su superficie (es lo

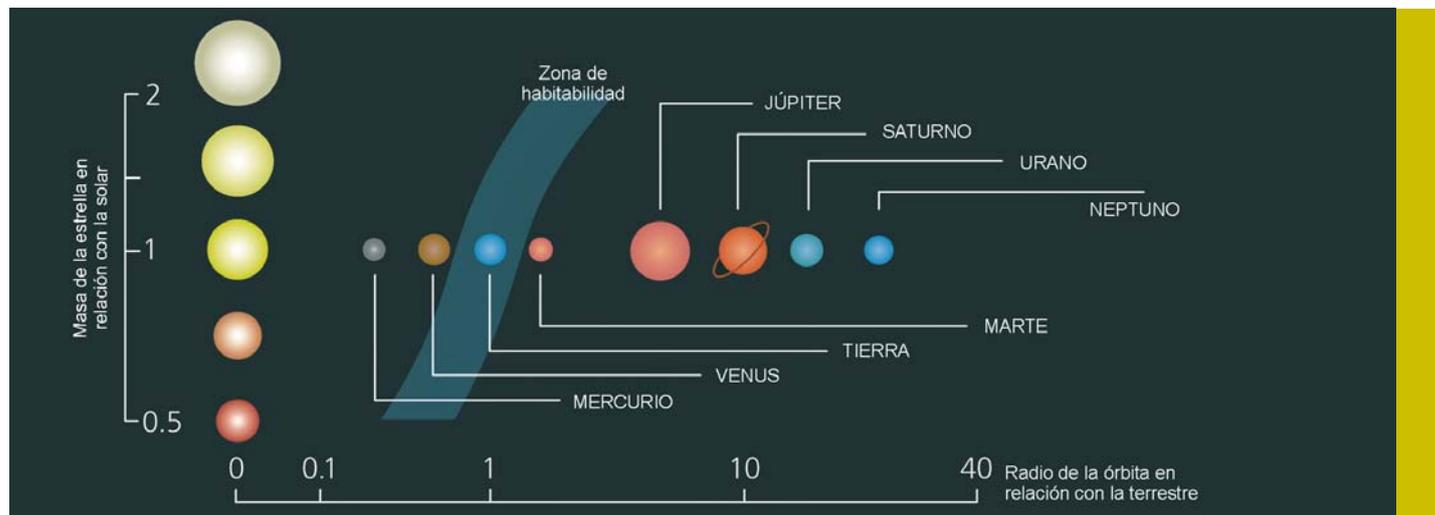
que se conoce como paradoja del Débil Sol Joven). Por otra parte tenemos datos que nos indican que Europa, la luna de Júpiter,

En realidad, ser satélite de un gigante gaseoso proporciona muchas de las ventajas listadas arriba

posee un océano de agua líquida bajo su capa de hielo, a pesar de que está totalmente fuera de la zona de habitabilidad. Además, Júpiter y los planetas gigantes en general realizan un trabajo de estabilización del eje de sus satélites mucho mejor que el que hace la Luna con el eje de la Tierra. Y al girar alrededor de planetas gigantes (que cuentan con potentes campos

magnéticos), no es necesario tener un campo magnético propio que proteja al satélite de la radiación ionizante. Basta con estar a la “sombra” del campo del “hermano mayor”. En realidad, ser satélite de un gigante gaseoso proporciona muchas de las ventajas listadas arriba (además de tener otras: por ejemplo, el planeta gigante puede ofrecer una pantalla eficaz contra esporádicos rayos gamma). Así que tal vez el caso particular de la Tierra, después de todo, no es más que uno de todos los posibles escenarios donde la vida puede aparecer, y sea un error concentrarse sólo en considerar réplicas exactas de la Tierra, como han hecho los defensores de la hipótesis de la Tierra Rara. Los satélites gigantes alrededor de planetas gaseosos son una buena alternativa, y en el universo abundan.

Diagrama que muestra la zona de habitabilidad, dependiendo de la masa de cada estrella (no está a escala).



El imán de la Vía Láctea



NUESTRA GALAXIA SE PRECIPITA VERTIGINOSAMENTE HACIA UN DESCOMUNAL CONGLOMERADO CÓSMICO DE MATERIA CONOCIDO POR LOS ASTRÓNOMOS COMO “EL GRAN ATRACTOR” O “EL MURO”

Por María Teresa Bermúdez (AIA-IYA 2009)

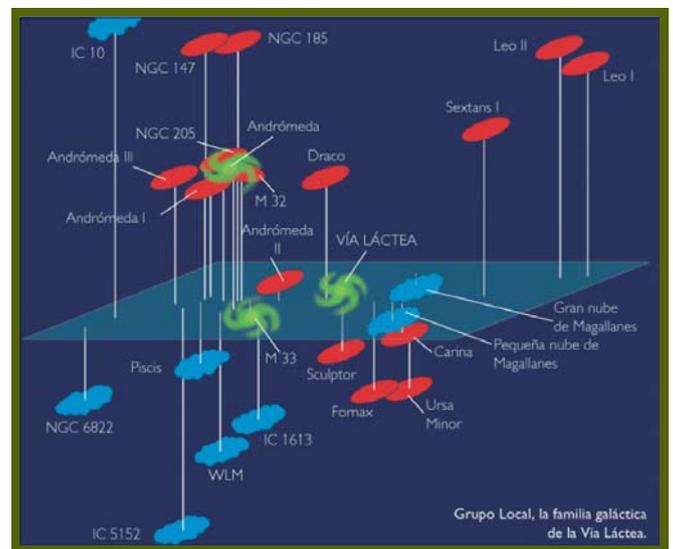
Vista panorámica de todo el cielo en el infrarrojo que revela la distribución de galaxias más allá de la Vía Láctea. El azul señala las fuentes más cercanas, el verde a distancia media y el rojo las muy lejanas (Jarrett, T.H. 2004).

EN EL UNIVERSO NADA ESTÁ EN REPOSO. TODO EVOLUCIONA Y SE MUEVE. LA LUNA GIRA EN TORNO A NOSOTROS, LA TIERRA ORBITA ALREDEDOR DEL SOL Y ESTE ALREDEDOR DEL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA, NUESTRA GALAXIA. El equilibrio que permite que existamos es fruto de la lucha entre dos tendencias que se contrarrestan: la gravedad, que atrae a la materia entre sí y deforma el espacio tiempo, y la expansión del Universo, que hace que todo se aleje de todo.

La Vía Láctea también se mueve y no vamos solos. El llamado Grupo Local - formado por nuestra galaxia, Andrómeda y otras treinta pequeñas más- viaja por el universo a una velocidad de unos seiscientos kilómetros por segundo, en dirección al cúmulo de Virgo. Esta velocidad representaba un interesante problema para los científicos. Teniendo en cuenta la masa de Virgo y la atracción gravitatoria que, según dicha masa, debería ejercer sobre nosotros, la velocidad de desplazamiento del Grupo Local no terminaba de cuadrar. Es decir, nos desplazábamos más rápido de lo que se esperaba.

¿Y qué es lo que atrae vertiginosamente

al Grupo Local y, por ende, a nuestra Vía Láctea? Sin duda, el cúmulo de Virgo, con más de dos mil galaxias, ejerce un gran tirón gravitatorio sobre nosotros, pero no es el único foco de atracción. En 1986 un grupo de astrónomos propuso una teoría al respecto que formulaba la existencia de una descomunal concentración de materia, una inmensa pared que tiraría de multitud de galaxias, incluida la nuestra. Durante una rueda de prensa celebrada en 1987 en la Sociedad Americana de Física, Alan Dressler, uno de los siete científicos que descubrió esta superestructura -conocidos como los siete samuráis-, se refirió a ella como el “Gran Atractor”, mientras gesticulaba ante numerosos periodistas intentando encontrar palabras que describiesen este descomunal conglomerado cósmico de materia.

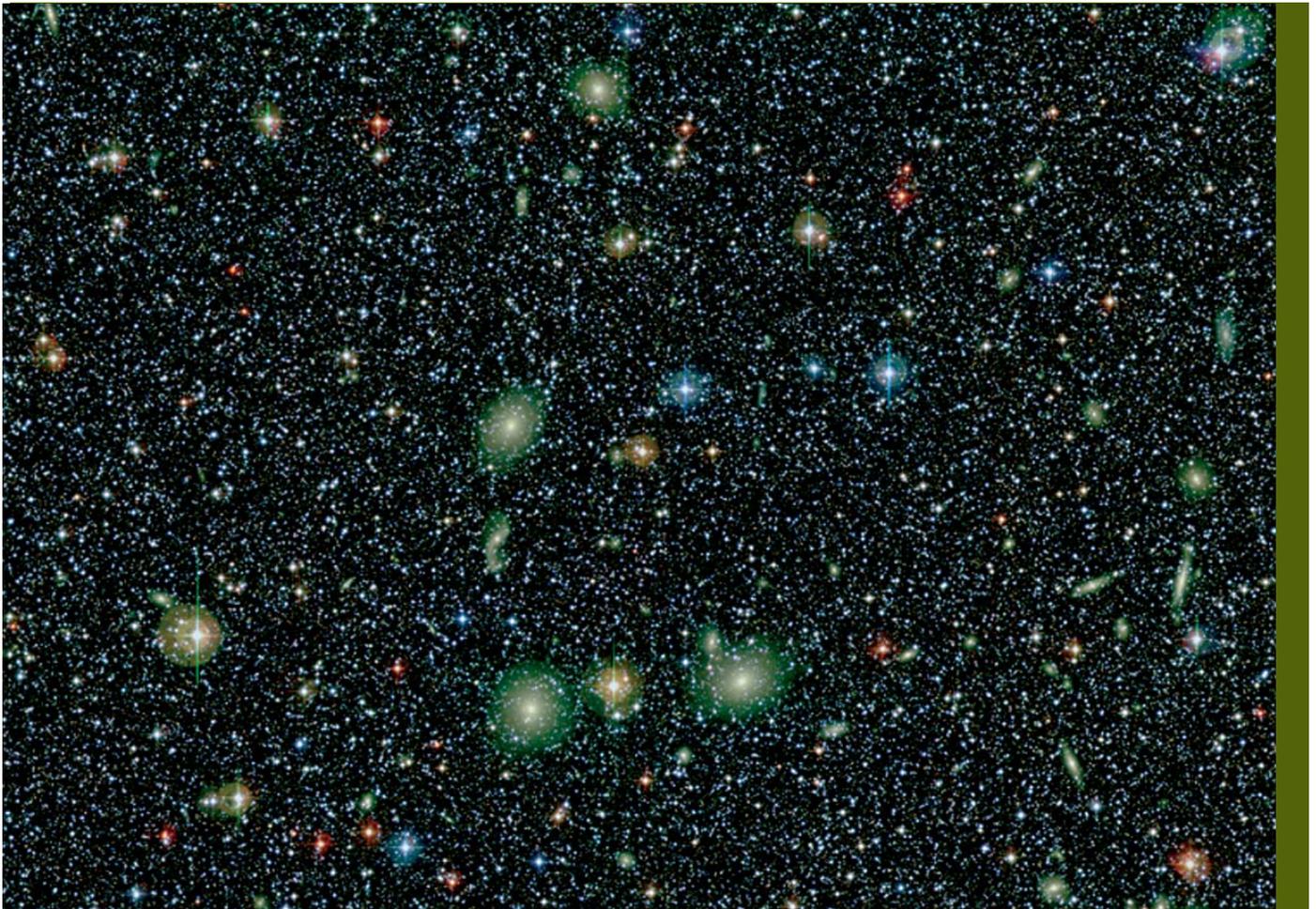


Kalipedia

Una superestructura casi invisible

El Gran Atractor o El Muro, como es conocido por los astrónomos, es una gran concentración de galaxias, una de las más grandes del universo. Se estima que está compuesto por varios miles de galaxias y se encuentra a una distancia de entre ciento cincuenta y doscientos cincuenta millones de años luz.

El hecho de que los científicos no hubieran reparado antes en su imponente presencia se debe a que se sitúa muy cerca-



Las galaxias visibles en la llamada Zona de evasión, en dirección al Gran Atractor. Fuente: ESO.

no al plano de la Vía Láctea. El gas y el polvo estelar absorben y dispersan la luz, de manera que observar en esa dirección resulta casi imposible. Es la llamada zona de evasión, en la que, históricamente, los astrónomos han evitado realizar sus observaciones debido a la dificultad para obtener datos. “Resulta paradójico que sea nuestra propia galaxia uno de los mayores obstáculos para el estudio detallado de las estructuras a gran escala del Universo”, explica Carlos M. Gutiérrez, investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias, quien asegura que esta absorción es tan intensa que, por cada fotón de luz visible que nos llega, varios millones pueden ser bloqueados por ese gas y polvo; “es como intentar ver a través de una espesa niebla”, concluye el astrónomo.

Pese a que tira de nosotros, nunca llegaremos a alcanzar al Gran Atractor porque la fuerza de expansión supera a la de la gravedad, es decir, nos alejamos mucho más rápido de lo que su gravedad nos atrae. Pero lo que en realidad preocupa a los astrónomos es la influencia que esta atracción pueda tener en el movimiento de la Vía Láctea y el Grupo Local.

En 1986 un grupo de astrónomos teorizó sobre una descomunal concentración de materia, una inmensa pared que tiraría de multitud de galaxias, incluida la nuestra

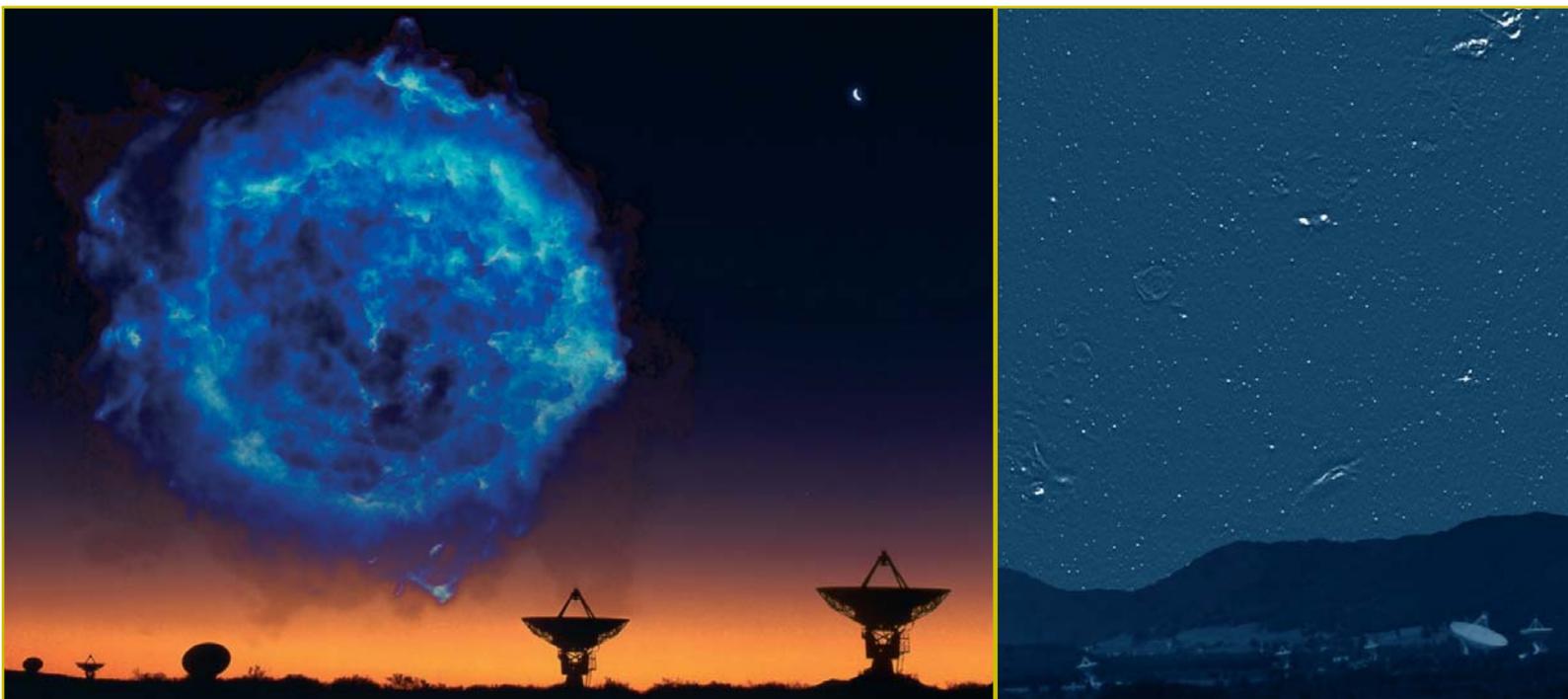
Más allá de El Muro

Actualmente, no hay evidencias significativas de que a espaldas del Gran Atractor haya un movimiento similar de atracción hacia el mismo, lo que sugiere que el flujo en el que está inmerso el Grupo Local y que parece caer hacia esta superestructura es sólo una parte de un flujo mayor, causado por un centro de atracción aún más masivo que estaría más allá del Muro.

Siguiendo esta hipótesis, y según un estudio más reciente llamado CIZA (Cúmulos en la Zona de Evasión) basado en la búsqueda con rayos x, la Vía Láctea no estaría siendo atraída sólo por el Gran Atractor, sino por una región mucho más masiva que se

encuentra tras él. Algunos científicos señalan que podría tratarse de la concentración de Shapley, una aglomeración de diecisiete cúmulos de galaxias a unos 490 millones de años luz en esa dirección y que constituye la estructura masiva más grande que se conoce (encabeza la lista de los 220 supercúmulos conocidos y se estima que es cuatro veces mayor que el Gran Atractor). No obstante, los astrónomos creen que podría haber algo todavía más masivo detrás de la concentración de Shapley, ya que ni esta ni el Gran Atractor pueden explicar completamente el movimiento del Grupo Local, por lo que quizá haya que buscar una estructura aún mayor como responsable última de este movimiento.

Se espera que la nueva generación de telescopios, entre ellos el recién inaugurado Gran Telescopio Canarias, el futuro E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), así como otros desde el espacio abran nuevas vías para el estudio de este y otros enigmas planteados por la cosmología moderna. Pero con o sin ellos, una cosa está clara: el Universo siempre acaba sorprendiéndonos.



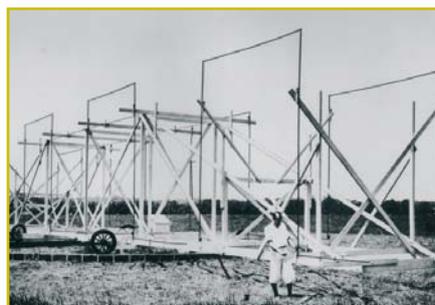
Izda: radioemisión del remanente de supernova Cas-A superpuesta sobre una imagen del interferómetro *Very Large Array* (VLA). Dcha: Así veríamos el cielo si nuestros ojos tuviesen detectores de radio ondas en lugar de detectores de luz visible. Fuente: NRAO/AUI.

El estudio del Universo frío

LA RADIOASTRONOMÍA ABRIÓ, EN LOS AÑOS 30, UNA VENTANA AL UNIVERSO Y PERMITIÓ EL DESCUBRIMIENTO DE LOS CUÁSARES, PÚLSARES Y LA RADIACIÓN DE FONDO DE MICROONDAS

Por Itziar de Gregorio (ESO)

LA RADIOASTRONOMÍA ESTUDIA LA PARTE DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO QUE SE ENCUENTRA EN UN RANGO DE LONGITUDES DE ONDA ENTRE APROXIMADAMENTE DIEZ METROS Y UN CENTÍMETRO. En esta banda del espectro electromagnético la atmósfera y la ionosfera terrestre son transparentes (como ocurre en el óptico), lo que hace posible la observación de objetos celestes que emiten en radiofrecuencias con telescopios situados en la superficie de la Tierra. Además, existen bandas atmosféricas relativamente transparentes a longitudes de onda por debajo del centímetro, las llamadas ventanas milimétricas y submilimétricas.



Antena construida por Karl Jansky.

Orígenes

El origen de la Radioastronomía se remonta a los años treinta, cuando los laboratorios Bell, en Estados Unidos, le encargaron al ingeniero Karl Jansky la investigación de señales que pudiesen interferir en comunicaciones telefónicas transoceánicas. Para ello, Jansky construyó una antena que podía recibir señales a una longitud de onda de 14,6 metros. Durante su experimento, Jansky descubrió la presencia de una señal desconocida que provenía del plano de nuestra Galaxia y cuyo máximo se encontraba en la dirección del centro galáctico.

En 1937, el ingeniero estadounidense Grote Reber ayudó a construir a Karl Jansky una antena de casi diez metros de diámetro para investigar este fenómeno,

gracias a la que descubrió que esta misteriosa radiación no solo provenía de la Vía Láctea, sino que también se detectaba en la dirección del Sol.

Las primeras observaciones de Jansky y Reber indicaban que la radioemisión de la Vía Láctea se hacía más débil a frecuencias mayores, contrariamente a lo que sostiene la teoría de la radiación térmica. No fue hasta 1950 cuando un científico ruso, V.L. Ginzburg, propuso una teoría para explicar este fenómeno: la radiación sincrotrón procedente de electrones moviéndose a velocidades cercanas a la de la luz en presencia de un campo magnético.

Del otro lado del Atlántico, el profesor holandés Jan H. Oort, advertido de los descubrimientos de Jansky y Reber, propuso que la radiación que estaban observando podría provenir de la emisión de una amplia región del espectro electromagnético en el rango de las radiofrecuencias (lo que ahora denominamos emisión de continuo). Oort sugirió que si en lugar de observar un continuo de frecuencias pudiesen detectar alguna señal a una única frecuencia, es decir, una línea espectral, se conseguirían avances significativos en Astronomía, ya que la frecuencia de esa línea estaría afectada por el efecto Doppler

y así se obtendría información sobre la velocidad y los movimientos del gas responsable de la emisión a esa frecuencia. Oort encargó a su colega Hendrick van de Hulst investigar sobre un posible mecanismo que pudiese producir este tipo de señales a una única frecuencia. Van de Hulst comenzó con el elemento más abundante del Universo, el hidrógeno, y en 1944 propuso que una buena candidata era una transición hiperfina del estado fundamental del hidrógeno atómico neutro (HI) asociada a dos niveles de energía cercanos: uno con el espín del electrón paralelo al del protón y otro antiparalelo. La transición entre estos dos niveles energéticos producía emisión a una frecuencia de 1420 MHz. Surgió así la predicción de la tan importante línea de 21 centímetros del hidrógeno.

En 1951, Harold Ewen y Edward Purcell, dos científicos de la Universidad de Harvard, detectaron por primera vez la línea de 21 cm del hidrógeno. Esta detección fue corroborada semanas más tarde por el mismo Oort y por científicos australianos. Desde entonces se ha usado como una importante herramienta para conocer la estructura de nuestra Galaxia.

La construcción de radiotelescopios cada vez más grandes y el desarrollo de técnicas de interferometría, que permiten usar simultáneamente varios telescopios, han hecho posible la observación de objetos cada vez más débiles y con más detalle. Desde sus comienzos, la Radioastronomía ha ayudado a entender y a descubrir numerosos fenómenos del Universo, ya que a través de las ondas de radio se pueden estudiar objetos opacos a las longitudes de onda visible e infrarroja. Cabe destacar el



(Arriba) Telescopio de 90 metros de diámetro en Green Bank, Estados Unidos. (Abajo) Colapso del telescopio de 90 metros de Green Bank. Fuente: NRAO/AUI.

descubrimiento de las radiogalaxias y los cuásares (por Maarten Schmidt en el 1963), la radiación cósmica de fondo (por Arno A. Penzias y Robert W. Wilson, en 1965), o los púlsares (por Jocelyn Bell y Tony Hewish en 1967).

Radiotelescopios modernos: antenas únicas e interferómetros

Los radiotelescopios modernos consisten en un gran plato cuya función es la de recolectar la radioemisión de los objetos celestes y enfocarla a un plato secundario o subreflector que la dirige a un receptor. En el receptor la señal se filtra y se amplifica para su posterior detección y análisis.

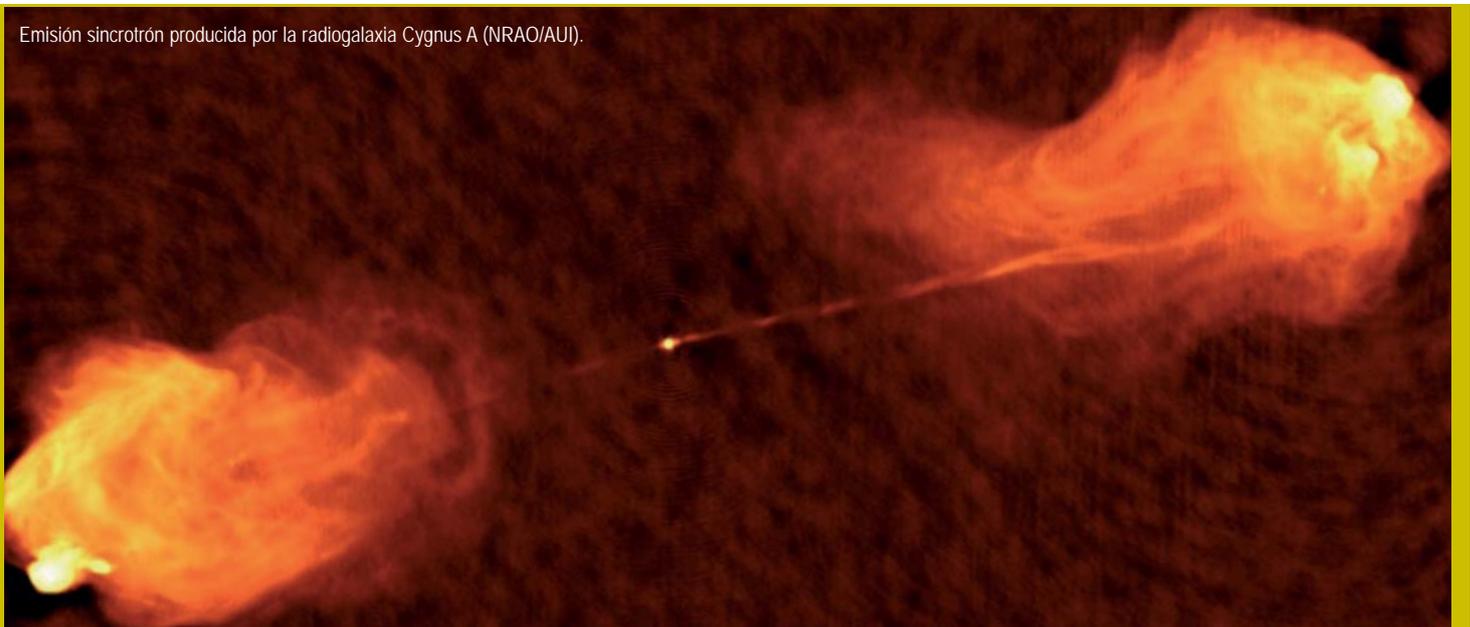
La habilidad de un radiotelescopio para medir fuentes débiles depende de las características de la superficie de la antena, de su tamaño y de la sensibilidad del receptor. Además, cuanto más grande sea un radiotelescopio mayor poder de resolución espacial tendrá o, lo que es lo mismo, podrá distinguir más detalles en las fuentes celestes.

Sin embargo, no es posible construir telescopios tan grandes como queramos, ya que la fuerza de la gravedad podría jugar una mala pasada y colapsar toda la estructura. Esto ya ocurrió en el telescopio de 90 metros de diámetro del observatorio de Green Bank, en Estados Unidos.

Para conseguir ver con más detalle la radioemisión de los objetos celestes y conseguir detectar objetos cada vez más débiles, los astrónomos usan la técnica de la interferometría. Esta técnica fue introducida en 1946 por el científico de Cambridge Martin Ryle, quien obtuvo por ello el Premio Nobel. Consiste en observar al mismo tiempo un objeto celeste con un conjunto de antenas. Posteriormente se combina la radiación que llega a cada par de antenas y como resultado se "sintetiza" un telescopio de diámetro igual a la separación máxima entre antenas y cuyo área colectora de radiación es igual a la suma de las áreas colectoras de cada antena.

Actualmente existen varios radiointerferómetros en el mundo, tanto con antenas físicamente conectadas (como el *Very Large Array* en Estados Unidos, *Plateau de Bure* en Francia o el *Australian Telescope Compact Array* en Australia), como con antenas separadas miles de kilómetros (como el *Very Large Baseline Array* en Estados Unidos).

Emisión sincrotrón producida por la radiogalaxia Cygnus A (NRAO/AUI).



¿QUÉ OBJETOS EMITEN ONDAS RADIO Y POR MEDIO DE QUÉ MECANISMOS FÍSICOS?

Son varios los procesos físicos que contribuyen a la emisión en radio, tanto en radiocontinuo (en un rango amplio y continuo de radiofrecuencias) como en línea espectral (a una sola frecuencia). Estos procesos se pueden dividir en dos bloques que obedecen a su dependencia con la temperatura del objeto celeste: mecanismos térmicos y no térmicos.

MECANISMOS TÉRMICOS

La emisión de la radiación electromagnética depende de la temperatura del objeto.

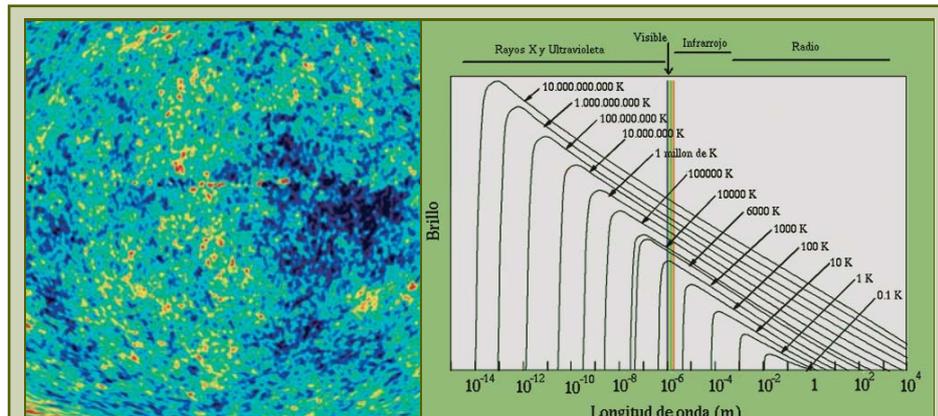
1. Radiación de cuerpo negro:

Todos los objetos del Universo con una temperatura superior al cero absoluto (-273° centígrados) emiten radiación térmica. Esa temperatura hace que los átomos y moléculas del objeto se muevan, choquen y cambien su dirección, emitiendo radiación. Así, este movimiento interno está relacionado directamente con la temperatura del objeto celeste. Esto es lo que los científicos denominan un cuerpo negro. Los cuerpos negros absorben toda la radiación que les llega y cuando alcanzan su temperatura de equilibrio emiten un continuo de energía con un patrón determinado en una región ancha del espectro electromagnético. Este espectro característico de la radiación del cuerpo negro está descrito por la ley de Planck. Se caracteriza porque su máximo de emisión ocurre a una longitud de onda que depende de la temperatura del objeto, de forma que los objetos más fríos no solo emiten menos energía, sino que emiten más radiación a longitudes de onda más largas. De forma inversa, al elevarse la temperatura del cuerpo negro no sólo aumenta la energía emitida, sino que el pico de la emisión se encuentra a longitudes de onda más cortas.

Uno de los mejores ejemplos de cuerpo negro es el fondo cósmico de microondas. Esta radiación proviene de todas las direcciones del espacio y se cree que es un fósil de la explosión del Big Bang hace quince mil millones de años. Durante todo ese tiempo esta radiación se ha enfriado hasta alcanzar una temperatura de -270 grados centígrados, y se observa principalmente en longitudes de onda del orden del centímetro.

2. Radiación libre-libre de gas ionizado:

Se produce cuando un electrón pasa cerca de una partícula con carga positiva e interactúa electrostáticamente con ella. El electrón



Izda: fondo cósmico de microondas (detalle) (NASA). Dcha: Patrón de radiación del cuerpo negro. Cada curva representa la emisión a distintas longitudes de onda de un cuerpo negro a una temperatura determinada. Los objetos cuyo máximo de emisión se encuentra en el rango de longitudes de onda de radio muestran temperaturas muy bajas (Proyecto PARTNeR).



Mapa de nuestra galaxia en la línea de 21 cm del hidrógeno atómico neutro. Fuente: J. Dickey, y F. Lockman.

es acelerado, cambia su dirección original y se emite un fotón.

Este tipo de emisión puede detectarse en regiones de gas ionizado, como las regiones de formación estelar. Las estrellas se forman en el interior de nubes densas de gas y polvo que se fragmentan en pequeñas condensaciones y colapsan gravitacionalmente. Durante esta contracción, el corazón de la condensación se calienta hasta que la temperatura es suficientemente alta como para producir reacciones nucleares de fusión y comenzar a formar una nueva estrella. La estrella en formación emite radiación que calienta el gas y el polvo de la nube primordial que la rodea. Cuando esta radiación procedente de la estrella es suficientemente intensa, puede arrancar electrones a los átomos del gas, produciéndose así lo que se denomina gas ionizado o plasma. En el plasma, los electrones son acelerados al pasar cerca una partícula cargada positivamente, emitiendo radiación en una región ancha del espectro electromagnético (es decir, emisión de continuo).

3. Emisión de líneas espectrales térmicas:

Se producen cuando un átomo o una molécula pasan de un estado de energía a otro diferente. En el caso de los átomos, la emisión de líneas espectrales se produce cuando

un electrón pasa de un nivel de mayor energía a otro de menor energía. Las moléculas, además de estas transiciones electrónicas, pueden experimentar transiciones rotacionales (debidas a la rotación de las moléculas en el espacio) y vibracionales (debidas a la vibración de los núcleos en torno a su posición de equilibrio). Al cambiar de un estado más energético a otro menos energético, se emite un fotón cuya energía es igual a la diferencia de energía entre los dos niveles, manifestándose como una línea a una frecuencia determinada en el espectro electromagnético.

Las líneas espectrales son una herramienta muy útil para los astrónomos porque permiten obtener fácilmente parámetros físicos del gas (como la temperatura y la densidad) y porque su anchura y su forma proporcionan información sobre los movimientos presentes dentro de ese gas. Si parte del gas se mueve acercándose a nosotros, la línea se observa en longitudes de onda menores a la teórica (se dice que el espectro se desplaza hacia el azul) y si hay material alejándose de nosotros, la línea se observa en longitudes de onda mayores a la teórica (es decir, el espectro se desplaza al rojo). Este fenómeno es conocido como efecto Doppler.

Una de las líneas espectrales más importan-

tes es la línea de 21 centímetros del hidrógeno atómico neutro (HI), que ha ayudado a definir la estructura y distribución de material de nuestra Galaxia. En cuanto a líneas moleculares, destacan las transiciones del monóxido de carbono (CO), pues es la molécula más abundante después del hidrógeno. El CO ha ayudado a descubrir las nubes moleculares de la Galaxia, es decir, las zonas en las que pueden estar formándose nuevas estrellas.

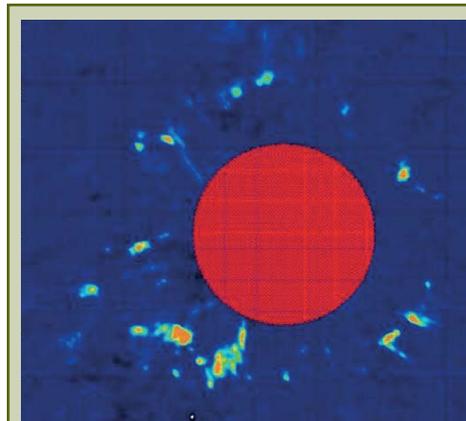
MECANISMOS NO TÉRMICOS

En este tipo de procesos, la emisión de la radiación electromagnética no depende de la temperatura de los objetos celestes. Incluye los siguientes tipos de radiación:

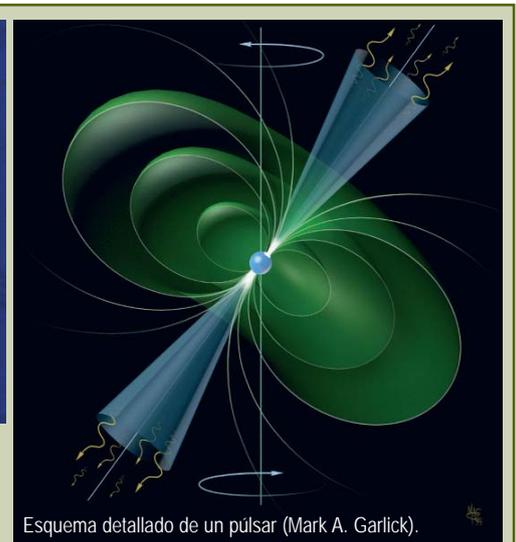
1. Radiación sincrotrón:

Este tipo de radiación se produce cuando una partícula cargada (generalmente un electrón) que viaja a una velocidad cercana a la de la luz, es acelerada dentro de un campo magnético. Estas partículas cargadas se mueven en forma de espiral alrededor de dicho campo magnético, cambiando continuamente su dirección y emitiendo un continuo de radiación. A diferencia de los cuerpos negros, esta emisión se hace más intensa a longitudes de onda mayores.

Para mantener la radiación sincrotrón es necesaria una fuente de energía muy potente que suministre continuamente electrones a velocidades relativistas (cercas a la de la luz). Estas fuentes de energía se pueden encontrar en los remanentes de supernova (resultado de la explosión de una estrella masiva al final de sus días), en los núcleos



Máseres de SiO en la estrella moribunda TX Cam. El círculo rojo representa el radio de la estrella. Los máseres son las pequeñas manchas amarillentas alrededor de la estrella (NRAO/AUI).



Esquema detallado de un púlsar (Mark A. Garlick).

de galaxias activas y en los púlsares.

Los púlsares son estrellas de neutrones que giran sobre sí mismas y poseen un campo magnético muy grande, en los que sus polos magnéticos no coinciden con el eje de giro de la estrella. Estos fuertes campos magnéticos provocan emisión de radiación muy intensa concentrada en un cono a lo largo de los polos magnéticos, que al girar con la estrella hace que veamos una radiación pulsante similar a la luz de un faro. Los períodos de rotación de los púlsares oscilan de unos pocos segundos a varios milisegundos. Hoy día se sabe que los púlsares son el resultado de la muerte de una estrella masiva que explota como una supernova al final de su vida.

2. Emisión máser

Los máseres son un tipo de líneas espectra-

les extremadamente intensas que no obedecen a mecanismos térmicos. Por el contrario, se producen por emisión estimulada de la radiación, amplificando la emisión de una determinada transición molecular. Este fenómeno se produce de forma muy similar a un láser en el visible, pero en la región de las microondas e involucrando moléculas.

Los máseres se producen de forma natural en regiones de formación estelar, envolturas de estrellas evolucionadas y galaxias activas. Las moléculas más comunes que presentan fenómeno máser son el hidróxido (OH), el metanol (CH₃OH), el agua (H₂O) y el monóxido de silicio (SiO). Por tratarse de líneas espectrales tan intensas son fácilmente detectables por radiotelescopios y con ellas se pueden realizar estudios de la cinemática y de las condiciones físicas de los objetos que las contienen.



EL FUTURO DE LA RADIOASTRONOMÍA

ALMA

Desde sus comienzos, la Radioastronomía ha aportado numerosos descubrimientos que han contribuido de forma muy notable a la comprensión de nuestro Universo. Sin embargo, todavía quedan por estudiar muchos fenómenos, como el origen de las galaxias más lejanas, la formación de sistemas planetarios y la presencia de moléculas prebióticas similares a las que dieron lugar a la vida en la Tierra. Para poder estudiar estos fenómenos en detalle se necesitan telescopios muy sensibles y que permitan distinguir estructuras muy pequeñas. Además, algunos de estos fenómenos físicos emiten a longitudes de onda milimétricas y submilimétricas y necesitan de radiotelescopios construidos en lugares muy

especiales de la Tierra: muy secos y a una altura muy elevada sobre el nivel del mar, donde la atmósfera es más transparente a esas longitudes de onda.

Como futuras antenas únicas, destacan el recién construido LMT (*Large Millimeter Telescope*), que es una antena de 50 metros localizada en México que operará en milimétricas, y el CCAT (*Cornell Caltech Atacama Telescope*), antena de 25 metros que trabajará en submilimétricas y se situará en el desierto de Atacama, en Chile, a 5600 metros de altura. Este proyecto se espera que esté listo para el 2015.

En cuanto a interferómetros futuros, cabe destacar LOFAR, SKA y ALMA. LOFAR (*Low*

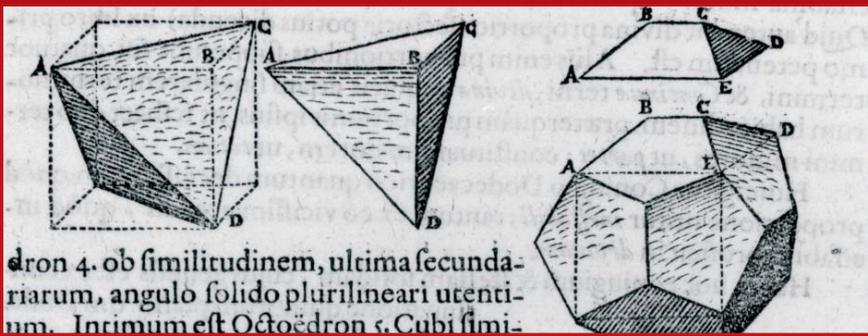
Frequency Array) constituye un ambicioso proyecto que consistirá en un interferómetro distribuido principalmente a lo largo de Holanda y del norte de Alemania y que trabajará en longitudes de onda métricas. SKA (*Square Kilometer Array*) observará en longitudes de ondas métricas y centimétricas y tendrá un kilómetro cuadrado de área colectora. Será construido en Sudáfrica o en Australia y finalizado hacia el 2020. ALMA (*Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array*) consistirá en 66 antenas que operarán en milimétricas y submilimétricas y estará situado en el altiplano andino, a más de 5000 metros de altura, en pleno desierto de Atacama, en Chile. Comenzará sus operaciones hacia el 2012.

JOHANN

LOS PRIMEROS AÑOS

Nacido en 1571, con tan solo ocho meses de gestación, en Weil (suroeste de Alemania), la infancia de Kepler fue un claro ejemplo de "cómo sobrevivir a tus propios padres". Heinrich Kepler era un mercenario que sirvió en las huestes del duque de Alba y que desapareció sin dejar rastro cuando el pequeño apenas contaba con cinco años de edad. En uno de sus escritos, el propio Johannes Kepler describía a su progenitor como un hombre vicioso y pendenciero. Tampoco repartía especiales parabienes hacia su madre, "con mala disposición y muy cercana a la hechicería". De hecho, años después se enfrentaría a un proceso de brujería, en el que sería defendida por su propio hijo. A semejante panorama paterno se unía una salud endeble: miopía, visión múltiple, viruela, fiebres, sarna, continuos trastornos alimenticios y terribles jaquecas. A pesar de todo, su inteligencia y el sistema de becas de la época (!!) le permitieron estudiar y salir adelante, hasta el punto de que logró matricularse en teología en la Universidad de Tubinga (1588), donde por primera vez oyó hablar de la teoría copernicana a su profesor de Astronomía Michael Maestlin, y donde se hizo especialmente célebre por sus dotes matemáticas y ¡sus horóscopos! No terminó la licenciatura al aceptar una plaza como profesor de matemáticas en el seminario protestante de Graz.

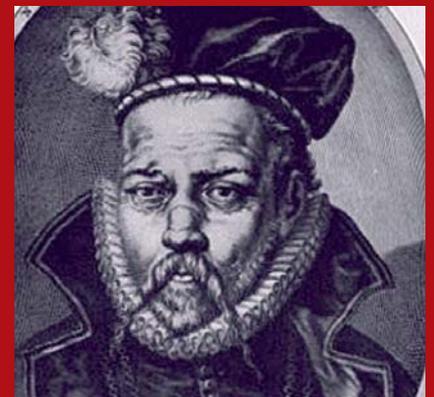
EL MISTERIO "POLIÉDRICO"



Además de un excelente científico, Kepler era un místico convencido, y de hecho no distinguía entre ambos aspectos. Aseveraba que un día, mientras daba clase en Graz, tuvo una epifanía acerca de la relación entre las órbitas de Júpiter y Saturno y una serie de figuras geométricas. Esta "inspiración" se convirtió en su primer trabajo astronómico, el *Mysterium Cosmographicum*, publicado en 1597 y donde defendía el sistema copernicano, así como que el secreto de la naturaleza, desde las órbitas de los planetas a la posición de las estrellas, residía en un conjunto de cinco sólidos perfectos con formas poliédricas regulares. Kepler era muy dado a este tipo de interpretaciones "místicas". Muchos historiadores, medio en broma medio en serio, defienden que el verdadero mérito de Isaac Newton no fue inferir la Ley de la Gravitación Universal a partir de las tres leyes de Kepler, sino lograrlo prescindiendo de toda la morralla metafísica del alemán.

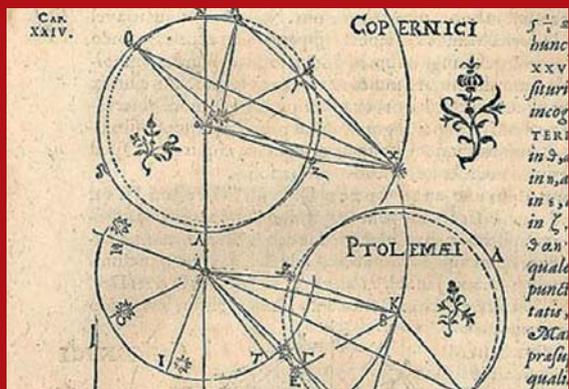
TYCHO Y JOHANNES, JOHANNES Y TYCHO

En febrero de 1600, Kepler recibió una carta que cambiaría su vida. Tycho Brahe, el matemático del emperador Rodolfo II y miembro de la nobleza, le invitaba a Praga. Tycho, además de un estrambótico personaje, era un observador estelar compulsivo. Sus datos sobre las posiciones de los planetas y las estrellas eran las mejores que podían existir en dicha época, no en vano había construido dos espectaculares observatorios astronómicos: Uraniborg en Dinamarca y Banatek, muy cerca de Praga. En este último, Kepler comenzó el encargo de Tycho de analizar sus datos de la órbita planetaria de Marte. Ocho años después, de aquella marisma de números Kepler obtenía una nueva y revolucionaria visión del Sistema Solar. La relación entre ambos duró poco, ya que Tycho Brahe murió un año y medio después de la llegada de Kepler, víctima (según el propio Kepler) de retener excesivo tiempo el orín durante una cena de gala por no romper el protocolo propio



de la nobleza. La relación entre estos dos personajes se asemejaría en nuestros días a la de un director de tesis déspota y su becario: desplantes, malos modos, encuentros y desencuentros, ocultación de datos, reconciliaciones, y un largo etcétera que la harían digna de una película.

LES KEPLER



LAS LEYES DE ASTRONOMIA NOVA

Sin duda se trata del trabajo más importante de Kepler, con el que revolucionó la cosmología de la época. En él enunció las dos primeras de sus tres leyes acerca de los movimientos de los planetas, que con el tiempo y el genio de Newton desembocaron en el descubrimiento de una fuerza fundamental de la naturaleza: la gravedad.

Publicado en 1609, en realidad estaba terminado en 1605, pero problemas económicos y, cómo no, una disputa con los herederos de Tycho sobre la propiedad de los datos (su

fantasma le perseguiría toda su vida) retrasaron su publicación casi cuatro años.

A partir de las extremadamente precisas observaciones de Tycho, en especial las referentes a Marte, Kepler infirió que su órbita se ajustaba perfectamente al perfil de una elipse con el Sol en uno de sus focos, y no a un movimiento circular como se defendía en modelos tan dispares como el de Aristóteles y el de Copérnico. Kepler enunció que lo mismo se debía cumplir para el resto de los planetas. Además, rompiendo también con el conocimiento imperante, demostraba que los planetas no presentaban un movimiento uniforme, sino que su velocidad variaba a lo largo de su órbita, de tal manera que la línea imaginaria que une cada planeta con el Sol barre siempre áreas iguales en tiempos iguales.

La tercera de las leyes fue enunciada años después, durante su estancia en Linz. En ella relacionaba numéricamente el tiempo que tarda el planeta en dar una vuelta alrededor del Sol (periodo) con su distancia media al Sol. En concreto, el cubo de esta distancia es siempre directamente proporcional al cuadrado del periodo. Kepler no era consciente de la física que había escondida en sus leyes, puramente empíricas. Él creía haber descubierto la armonía de la naturaleza gracias a una síntesis entre astronomía, música y geometría.

KEPLER Y GALILEO

Parece que Kepler no tuvo suerte con el ego de alguno de sus contemporáneos. En 1610, el genio de Pisa le remitió un ejemplar del *Siderius Nuncius* en busca de su opinión. El alemán le respondió entusiasmado por los fascinantes descubrimientos del texto de Galileo y solicitándole un ejemplar de ese nuevo instrumento llamado telescopio para así poder confirmar sus resultados (una de las máximas del método científico). Pero Galileo no respondió. Finalmente Kepler consiguió un telescopio y no solo confirmó los hallazgos de Galileo sino que publicó *Dioptrice*, un tratado en el que expuso los principios teóricos en los que se basa el telescopio y estableció las bases para la óptica geométrica.

LAS TABLAS RUDOLFINAS

En 1627, y de nuevo tras un compendio de desgracias -entre ellas el consabido pleito con los herederos de Tycho Brahe-, Kepler logró publicar otra de sus obras magnas, las *Tablas Rudolfinas*, llamadas así en honor del emperador Rodolfo II. Este catálogo estelar y las tablas con las posiciones de los planetas compiladas por Brahe vino a sustituir a las *Tablas Alfonsinas* de Azarquiel (en honor a Alfonso X). No solo mejoraba en varios órdenes de magnitud la precisión de los datos sino que permitía, gracias al trabajo de Kepler, calcular la posición de un planeta dado en cualquier instante del tiempo, tanto pasado como futuro.

LA MÚSICA DE LAS ESFERAS

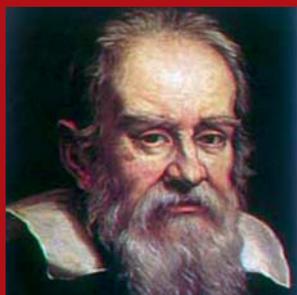
En 1619 publicó *Harmonices Mundi*, libro en el que enunciaba la tercera ley y donde llevó al paroxismo su obsesión por encontrar la armonía oculta de la naturaleza. Estaba convencido de que existía una íntima relación entre la música y el movimiento de los planetas y creó una composición asignando notas musicales en función de las ecuaciones matemáticas que describen el movimiento de los planetas y que mostraba "...cómo Dios ha expresado la armonía en los movimientos celestes".

UNA ESTRELLA "NUEVA"

En octubre de 1604 apareció en el cielo una estrella nueva de la que Kepler fue testigo. Circularon numerosas interpretaciones astrológicas que la relacionaban con un futuro gran evento asociado al Emperador, del que Kepler era matemático y astrólogo oficial. Kepler investigó el fenómeno y, basándose en la paralaje, determinó que se trataba de un evento ocurrido en la "esfera de estrellas fijas", lo que le hizo dudar de la supuesta inmutabilidad que, según el modelo aristotélico, presentaba esta esfera más allá de los planetas.

ÚLTIMOS DÍAS

Tras muchos cambios de residencia por toda Europa llegó a Ratisbona en 1630, donde enfermó y murió, pero no sin antes demostrar nuevamente su ingenio e inquietud en *Somnium*, un cuento en el que se describió un viaje a La Luna y que es, casi con toda seguridad, la primera novela de ciencia ficción.





LS-RCrA 1

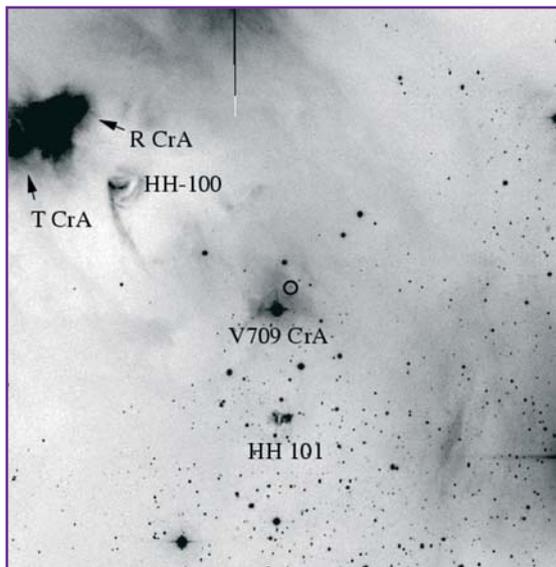


Nacida en Madrid en 1964. Licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid, hizo su tesis en el Observatorio Astronómico Nacional y en la Universidad Autónoma de Madrid (1993). Actualmente es Científica Titular del CSIC en el IAA.

Tengo un grupo de estrellas preferidas. Todas tienen una masa parecida a la del Sol, pero son mucho más jóvenes que él: tienen una edad de un millón de años, frente a los casi 5000 millones de años del Sol. Llevo ya dos décadas estudiando la última etapa de la formación de estas estrellas, en la que la materia del disco de acreción cae sobre la estrella. Ese disco rodea a la estrella y a partir de él se formarán, una vez terminado el proceso de acreción, planetas y cuerpos menores. La materia del disco que se va aproximando a la estrella y la que impacta sobre su superficie añaden brillo y líneas de emisión al espectro de la estrella. Con un poco de experiencia es fácil apreciar esas marcas distintivas.

En el año 2000, en una visita a Fernando Comerón, del Observatorio Europeo Austral (ESO), él me enseñó un espectro muy llamativo. Numerosas líneas de emisión se superponían a un espectro tardío (correspondiente a una estrella bastante fría). Creo que a él le había llamado la atención lo tardío del espectro, a mí me llamaban la atención esas líneas tan bonitas y tan intensas. La combinación lo convertía en un objeto peculiar, así que decidimos estudiarlo con más detalle. Había que buscarle un nombre. Yo consulté a una profesora de una Universidad de Chile cómo se dice estrella en mapuche, porque Fernando había descubierto la estrella gracias a unas observaciones realizadas en el Observatorio de La Silla, en Chile. Pero finalmente decidimos seguir la tradición apenas instaurada de denominar a las estrellas de muy baja masa y a los objetos subestelares a partir del observatorio que los vio por primera vez, así que quedamos en llamarla LS-RCrA 1, donde LS son las iniciales del observatorio de La Silla, R CrA (R Corona Australis) es la región del cielo en la que se encuentra y 1 es un número de orden. LS-RCrA 1 resultó ser una estrella de tipo espectral M6.5 -M7, muy cerca del límite subestelar. En la imagen vemos la estrella rodeada por una circunferencia (el campo es de 10.7' x 10.7', con el norte hacia arriba y el este hacia la izquierda).

Las líneas de emisión de su espectro tie-



nen su origen no sólo en el proceso de acreción, sino también en el proceso de eyección de materia. Se trataba del primer objeto de tan baja masa en el que se observaban estos fenómenos. Nuestra publicación, en 2001, fue seguida por trabajos similares de otros autores que estudiaron objetos de todavía menor masa, adentrándose de lleno en el régi-

"No hemos logrado ver el disco de canto de la estrella más brillante de la muestra de objetos que se comportan como LS-RCrA 1. Quizá sea porque no lo está"

men subestelar.

Una cosa nos llamaba la atención: la baja luminosidad de LS-RCrA 1. Teniendo en cuenta su masa, edad y distancia, era unas diez veces más débil de lo que esperábamos. Pocos años antes, dos equipos independientes de teóricos habían propuesto que el proceso de acreción de masa podría alterar la edad y masa que medimos para la estrella subyacente. Quizá el fenómeno fuese más

apreciable en estrellas de muy baja masa. Por otro lado, un compañero, Wolfgang Brandner, nos sugirió que podríamos estar viendo el sistema estrella+disco de canto. En ese caso la emisión de la estrella se vería atenuada, al tener que atravesar el disco antes de llegar a nosotros. Las líneas de emisión podrían venir de zonas a cierta distancia de la superficie estelar y, por lo tanto, no tan atenuadas.

En 2003 publicamos resultados similares sobre otras estrellas de muy baja masa.

Qué casualidad que todas fuesen a tener el disco de canto. Entre tanto, David Barrado y colaboradores suyos publicaron en 2004 observaciones de alta resolución de LS-RCrA 1 y apoyaron la hipótesis de que veíamos el disco de canto. Ese mismo año publicamos Fernando y yo, junto con otros colaboradores, observaciones de otras estrellas igualmente subluminosas y con espectros con intensas líneas de emisión y apoyábamos la hipótesis de que se trataba de un fenómeno intrínseco, no asociado a la perspectiva.

En 2005 publicamos espectros de alta resolución (UVES, Paranal) de LS-RCrA 1 y de otra estrella con comportamiento similar. Los perfiles de ciertas líneas de emisión no se explicaban con un disco de canto.

Finalmente, como la unión hace la fuerza, todos los investigadores que he mencionado (y otros, entre ellos Nuria Huéllamo) nos hemos unido para llevar a cabo observaciones de muy alta resolución espacial y observaciones en otras longitudes de onda. Hasta ahora no hemos logrado ver el disco de canto en la estrella más brillante de la muestra de estrellas que se comportan como LS-RCrA 1. Quizá sea porque no lo está.

La noche de Noli

VISIÓN CÓSMICA DE GIORDANO BRUNO

POR MIGUEL ÁNGEL PÉREZ DE OCA

Año de gracia de 1578 en la playa de Noli, al noroeste de Italia.

Estaba anocheciendo. Las mansas olas morían a los pies de un hombre de unos treinta años que se arrebujaba en su capa, protegiéndose de la humedad. Era un individuo de baja estatura y ademanes impacientes. De vez en cuando, su mirada se clavaba en las lejanías celestes mientras los cabellos le flotaban al viento, descubriendo al despeinarse claridades que delataban la recién abandonada tonsura. Un descuidado bigote trataba de ocultar su personalidad. El maestro Filippo, profesor particular de Lógica, Matemáticas y Astronomía en las casas ricas de la vecindad, era en realidad un proscrito por el Santo Oficio. La Iglesia lo conocía como fray Giordano Bruno y le acusaba de arriano, aunque su verdadero pecado, que él no negaba en absoluto, era el de reclamar el derecho a pensar y discutir libremente y poner en cuestión cualquier cosa divina o humana.

Bruno, de portentosa memoria, recitaba mentalmente capítulos enteros de sus autores preferidos: Erasmo, Nicolás de Cusa, Ramón Llull, Ficino, Pico de la Mirandola, Copérnico... Decía Nicolás de Cusa que el Universo, necesariamente, ha de ser infinito, sin centro ni bordes, pues todo aquello que hubiera más allá de las estrellas, aunque fuera espacio vacío, también sería Universo. El viejo cardenal no creía en las esferas celestes cristalinas, y se imaginaba a la Tierra girando sobre su eje cada veinticuatro horas, movida para siempre en su rotar por el ímpetu inicial de la creación, ese *ímpetus* divino del que hablaba Filopón. La Luna, los planetas y el Sol sufrirían la influencia de ese ímpetu y, como cautivos de un remolino celeste, serían arrastrados en un giro eterno alrededor de nuestro mundo, tanto más lentamente cuanto más lejanos estuvieran de él; y más lejos aún, las estrellas fijas ya no participarían de movimiento alguno y permanecerían eternamente quietas en el espacio. Pero, ¿qué había más allá del firmamento estrellado? Y el cusano se imaginaba que tras las estrellas, allá

donde la vista no alcanzase, otros infinitos mundos habitados por mortales, movidos por el ímpetu de Dios y rodeados de planetas viajeros, soles y lejanas estrellas, darían gloria a su Creador...

“BRUNO, DE PORTENTOSA MEMORIA, RECITABA MENTALMENTE CAPÍTULOS ENTEROS DE SUS AUTORES FAVORITOS”



“¡Qué visión tan magnífica! -se decía Bruno. Aunque Copérnico ha puesto las cosas en su sitio. La Tierra no solo gira sobre su eje, también da vueltas como un planeta más alrededor del Sol, que es el verdadero centro del sistema. Así, todo encaja, se explican las retrogradaciones planetarias, la marcha pareja de Venus y Mercurio con el Sol, y tantas otras cosas... Pero Copérnico está en cierto modo atado a la filosofía clásica de Aristóteles; ha cambiado el centro del Universo, pero sigue creyendo en las esferas cristalinas, en las deferentes y los forzados epiciclos, en un Mundo artificial, finito y cerrado”.

La oscuridad ya era total y en lo alto se pintaba la silueta inquietante de la Vía Láctea. Bruno aguzó la mirada. “Si fuera posible

atisbar los otros mundos, más allá de la bóveda celeste, se podría reconocer su estructura copernicana, los soles en el centro y alrededor planetas como la Tierra, como Júpiter, rodeados de firmamentos de estrellas fijas... Pero quizá están demasiado lejos, o nuestra bóveda celeste es opaca...”.

Y de pronto, ¡¡DE PRONTO!!, un violento escalofrío recorrió la espalda del fugitivo.

Algo estalló en el interior de su cabeza. Maravillado y aterrado a la vez, vio cambiar radicalmente su propia interpretación del Universo que tenía ante sus ojos y que ahora adoptaba otra forma, más real a la vez que más fantástica, sin haber cambiado de imagen. La evidencia fue tan aplastante que no comprendía cómo el cusano o el polaco no la descubrieron en su día; cómo nadie hasta entonces se había dado cuenta. “¡Están allí! ¡Los otros mundos están allí! Los otros mundos que profetizó el cardenal de Cusa son, precisamente, las llamadas estrellas fijas. No forman un enjambre esférico a nuestro alrededor. No están iluminadas por el Sol. Son, ellas mismas, lejanísimos soles, rodeados con toda seguridad de planetas remotos e invisibles”.

Por fin un mortal había comprendido cómo es el cielo, ese cielo que siempre estuvo sobre la cabeza de los humanos sin que nadie supiera desentrañar su misterio. Nunca en la Historia se ha

“MARAVILLADO Y ATERRADO, VIO CAMBIAR RADICALMENTE SU PROPIA INTERPRETACIÓN DEL UNIVERSO QUE TENÍA ANTE SUS OJOS.”

dado ni se dará jamás un momento más hermoso. Nunca sabio alguno habrá sufrido una conmoción tan brutal y maravillosa en su espíritu. A partir de entonces y para siempre, dentro de mil años o mil siglos, cada vez que unos ojos inteligentes miren hacia arriba, verán el cielo que vio Bruno en la noche de Noli.

Por vivir un momento como aquel, vale la pena morir en la hoguera.

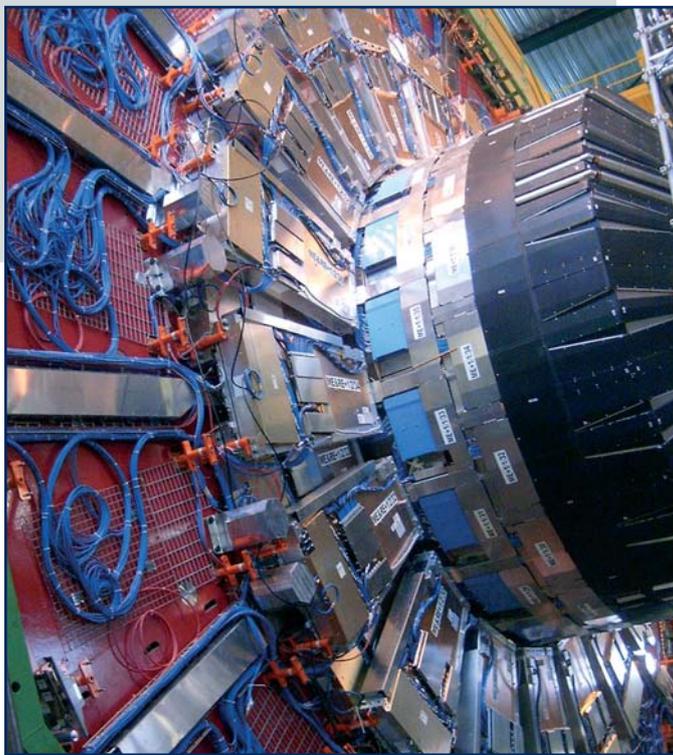
El LHC entra en acción

... aunque puede que se le adelanten con el bosón de Higgs

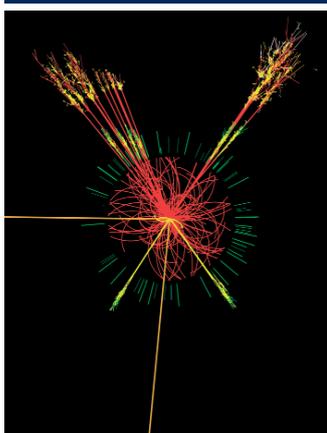
Expertos en astropartículas defienden que el bosón de Higgs podría hallarse con telescopios de rayos gamma

► El Gran Colisionador de Hadrones (LHC), el que para muchos es el ingenio más complejo jamás realizado por el hombre, vuelve a estar operativo desde mediados del pasado mes de noviembre, tras una avería de más de catorce meses. Pero el acelerador de partículas no sólo ha vuelto a la vida, sino que lo ha hecho con una excelente salud. El pasado 30 de noviembre, sólo diez días tras el reencendido, el LHC batió todos los récords alcanzados por las generaciones anteriores de aceleradores al acelerar dos haces gemelos de protones en direcciones opuestas hasta una energía de 1.18 TeV, casi un 20% más elevada que la anterior mejor marca (alcanzada por el Tevatron del Fermilab en 2001). Pero esto es sólo el comienzo, aseguran desde el CERN (el laboratorio líder a nivel mundial en física de partículas, con sede en Ginebra), pues el aparato aún está en fase de pruebas. Cuando el LHC comience a ofrecer resultados útiles a la comunidad científica, lo cual se espera que ocurra antes de abril de este año, se alcanzarán energías de colisión de hasta 7 TeV. Y este valor será sólo la mitad de aquel para el cual fue diseñada la máquina, pues cuando se encuentre a pleno rendimiento alcanzará los 14 TeV. Realmente espectacular.

La excitación que el LHC está generando en la comunidad científica es mayúscula. Pero no sólo entre los físicos de partículas, cuyas teorías llevan décadas esperando un ingenio de estas características, sino también entre buena parte de los astrofísicos. La razón hay que buscarla en el



Arriba, el Gran Colisionador de Hadrones (LHC).
Debajo, simulación de la producción de un bosón de Higgs en el detector ATLAS del LHC (CERN).



impacto que el LHC tendrá en el estudio de la materia oscura, un tipo de materia que se cree domina el Universo y que sin embargo ha escapado todavía a su detección directa mediante todo tipo de experimentos, ya estén situados bajo tierra, sobre ella o en el espacio. Esta enigmática forma de materia -que constituye más del 80% del contenido total de materia en nuestro Universo- no interactúa con la luz, por lo que su pre-

sencia sólo ha podido ser inferida a partir de efectos gravitatorios sobre su entorno.

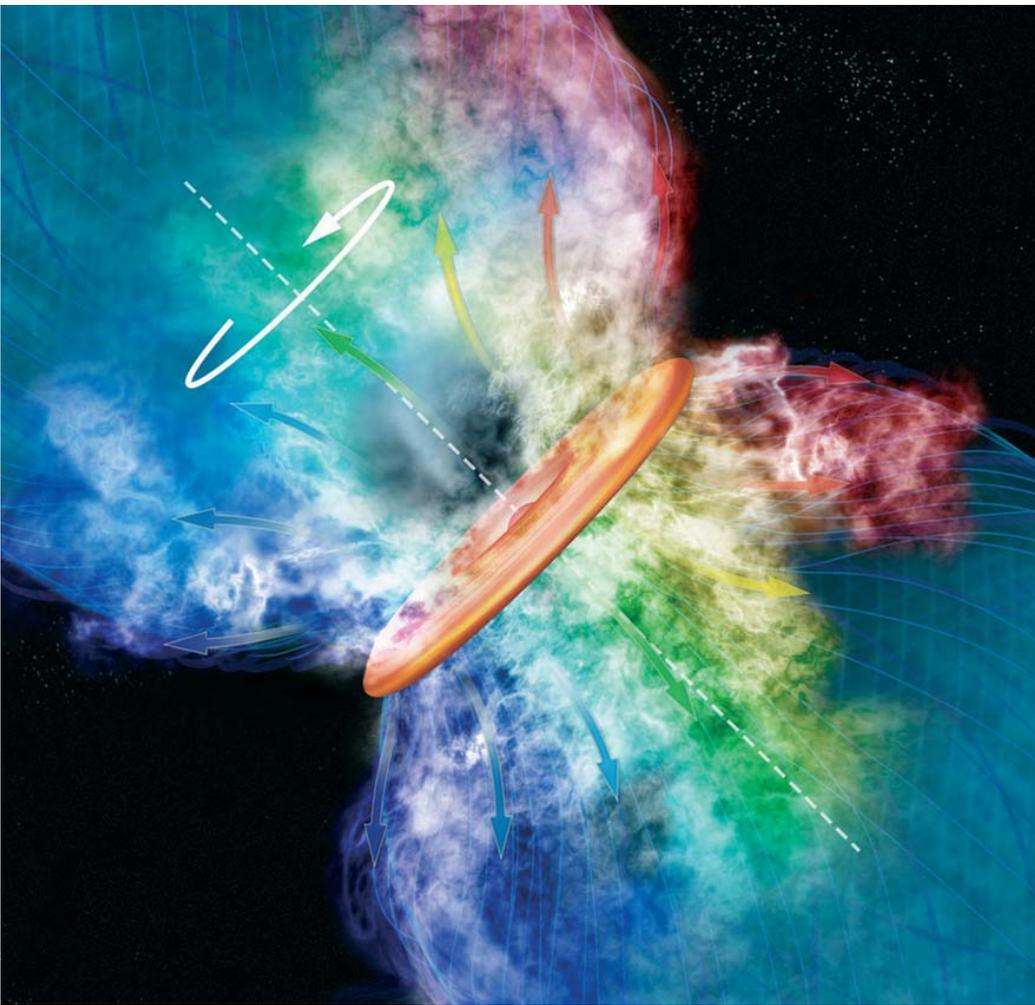
La naturaleza exacta de la partícula que conforma dicha materia oscura aún es un enigma. El Modelo Estándar de la Física de Partículas no ofrece ningún candidato posible; sin embargo, las posibilidades son muchas si recurrimos a extensiones de dicho modelo, como la supersimetría, posiblemente la extensión preferida y más estudiada por los físicos de partículas. Se espera que el LHC juegue un papel fundamental para dilucidar cuáles de esos candidatos son realmente posibles y cuáles no, e incluso, con un poco de suerte, para descubrir definitivamente cuál de ellos es la partícula que forma la materia oscura. La sinergia entre físicos de partículas y astrofísicos parece totalmente necesaria e irremediable si se pretende atacar adecuadamente el problema. De hecho, de unos años a esta parte se habla del campo de las astropartículas, una nueva rama que da cuenta de este

esfuerzo conjunto entre ambas comunidades de físicos. Y el LHC bien podría significar para ellos el santo grial en un futuro cercano, al poder desentrañar y comprender tanto lo más pequeño como lo más grande de nuestro Universo.

Nueva posibilidad

Un ejemplo de trabajo combinado entre físicos de partículas y astrofísicos (esto es, de astropartículas), es el realizado por Marco Taoso y colaboradores sobre la posibilidad de detectar el bosón de Higgs mediante telescopios de rayos gamma (tales como el satélite Fermi o telescopios Cherenkov como MAGIC). El bosón de Higgs es la única partícula del Modelo Estándar de la Física de Partículas que aún no ha sido detectada y sin embargo constituye por sí misma la pieza clave del modelo, de forma que su detección supondría su espaldarazo definitivo. Tal es la importancia de dicha partícula que su búsqueda representa el objetivo científico número uno del LHC. Sin embargo, el trabajo de Jackson y colaboradores apunta a otro método posible para su detección, sin duda mucho más barato que la construcción y uso de una máquina como el LHC. Partiendo de la base de que las partículas de materia oscura se aniquilen entre ellas al encontrarse, estos investigadores demuestran que sería posible obtener de dichas aniquilaciones un fotón y el bosón de Higgs. Una línea espectral en el rango de los rayos gamma sería la huella del proceso. Si los cálculos son correctos, Fermi podría ver la primera evidencia del Higgs en menos de un año de esta manera. ¡Sin duda los físicos de partículas se sorprenderían al ver que la primera evidencia del tan buscado bosón de Higgs viene del espacio y no de un acelerador bajo tierra! No obstante, la confirmación de dicho descubrimiento por parte del LHC resultaría también completamente necesaria para una identificación definitiva.

Miguel A. Sánchez-Conde (IAC)



Los detalles ocultos sobre la formación de estrellas masivas

Observaciones interferométricas de la estrella Orión I han aportado detalles fundamentales sobre la evolución de estrellas jóvenes

► La constelación de Orión alberga una gran actividad de formación estelar. En su interior existe un cúmulo de estrellas jóvenes masivas que no pueden ser cartografiadas con los telescopios ópticos debido a la presencia de un velo de gas y polvo que las oculta. Las ondas de radio permiten atravesar ese velo. Además, utilizando técnicas interferométricas, pueden obtenerse imágenes de alta resolución angular (mejores que un milisegundo de arco) sobre los procesos de formación de estas estrellas masivas.

Un grupo de astrónomos norteamericanos, liderado por el Dr. L. D. Matthews (CfA, MIT) ha estudiado

un objeto estelar joven (YSO, *Young Stellar Object*) masivo conocido como Orión I dentro de Orión. Lo han hecho mediante observaciones multiépoca (observaciones mensuales durante un periodo de dos años) a 43 GHz con la técnica de interferometría de muy larga base. Estas observaciones proporcionan una capacidad de detalle de 0,2 Unidades Astronómicas (UAs) a la distancia a la que se halla el objeto. Las imágenes han revelado la presencia de un viento frío que emerge perpendicularmente al disco de gas caliente ionizado que rodea a la estrella central. Este viento se traza a partir de la emisión máser de gas de monóxido de silicio. Los investigadores han detectado miles de nubes de gas, algunas de ellas tan próximas a la estrella central como la órbita de Júpiter en torno al Sol.

Detalles inéditos

Gracias a las observaciones multiépoca se ha podido construir una película que muestra la cinemática del gas a lo largo de los chorros, a distancias de entre 20 y 100 UAs del objeto central, en un periodo de dos años. Las velocidades que se han determinado para los máseres individuales se encuentran en el rango 5,3-25,3 kilómetros por segundo, con un valor promedio de 14 kilómetros por segundo. A partir de estas observaciones, el equipo investigador ha concluido, por un lado, que hay indicios de que el disco de acrecimiento del objeto estelar joven se ve prácticamente de canto, se encuentra en rotación y las órbitas del gas disminuyen su radio conforme se acercan a la estrella central; por otro, que el viento frío emana del disco central en dos chorros cónicos, produciendo un flujo con forma de reloj de arena. El gas situado en los brazos Sur y Este está predominantemente desplazado al azul, mientras que el gas situado en los brazos Norte y

Oeste está desplazado al rojo. Existen además filamentos de emisión a velocidades intermedias que actúan de puente entre las diferentes regiones emisoras; finalmente, este trabajo ha desvelado que la trayectoria del gas se va curvando conforme se aleja del objeto central. El campo magnético parece ser responsable de esta morfología, ya que guiaría las trayectorias del gas.

Concepción artística de Orión I, que presenta un disco de gas caliente e ionizado que la oculta a nuestra vista. Un viento estelar frío parte desde las regiones superiores e inferiores del disco (indicado con las flechas) y es modelado en forma de reloj de arena por las líneas de campo magnético (en azul).

El disco (y el viento que emana de él) se hallan en rotación. Gracias al desplazamiento doppler se ha averiguado que la rotación es contraria a las agujas del reloj. Fuente: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF.

Oeste está desplazado al rojo. Existen además filamentos de emisión a velocidades intermedias que actúan de puente entre las diferentes regiones emisoras; finalmente, este trabajo ha desvelado que la trayectoria del gas se va curvando conforme se aleja del objeto central. El campo magnético parece ser responsable de esta morfología, ya que guiaría las trayectorias del gas.

Campo magnético

Según los investigadores, los datos disponibles no permiten discernir si el campo magnético se origina en la estrella o en el disco de acrecimiento. Tampoco se ha podido determinar de forma directa la intensidad del campo magnético en el disco de la fuente Orión I. Sin embargo, puede estimarse cuál sería la magnitud del mismo: gracias a observaciones de máseres de hidroxilo se conoce que el campo es del orden de la decena de mil Gauss a distancias de diez mil Unidades Astronómicas; asumiendo que la intensidad escala con la raíz cuadrada de la densidad del gas, se deduce una intensidad del orden de 0,3 Gauss que podría ser capaz de formar y colimar el flujo bipolar.

La cinemática de los máseres junto con resultados en radio obtenidos por otros autores muestra que la masa del objeto central debe ser superior a ocho masas solares. Estas observaciones sugieren que, para estrellas de este rango de masas, tanto el acrecimiento de material a través de discos como la presencia de flujos bipolares de baja velocidad y de ángulo de apertura ancho son elementos fundamentales en la evolución de protoestrellas y estrellas jóvenes.

Antxon Alberdi (IAA)

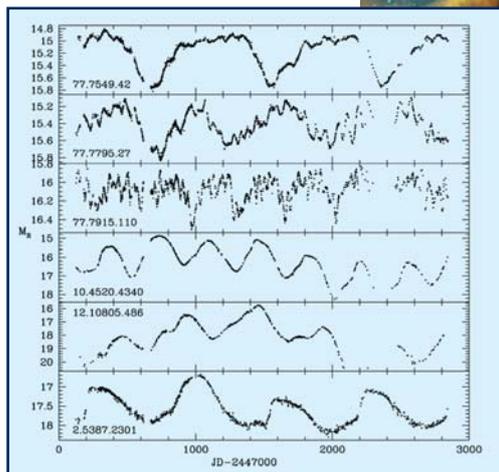
De cómo las misteriosas variaciones de brillo de las estrellas gigantes asombran a los astrónomos

A estas alturas del siglo XXI es casi imposible encontrar un artículo de una revista científica profesional cuyo resumen termine en la frase siguiente: *“El origen inherente de las variaciones LSP y de la eyección de masa permanece desconocido”*

► Es también notable que un resultado nulo, es decir, que reconoce no haber encontrado lo que buscaba, resulte digno de ser comentado por ESO como reciente hito en la investigación astrofísica.

Tal y como se muestra en el artículo que acaban de publicar P. R. Wood and C. P. Nicholl (Apj), las variaciones de periodos secundarios, lo que llaman ellos variaciones LSP, están íntimamente relacionadas con la pérdida de masa de las estrellas cuando alcanzan su estado de gigante en el curso de su evolución. En la gráfica que se adjunta se puede comprobar que estos periodos son del orden de años mientras que los periodos con los que estas estrellas oscilan son del orden de días, de ahí su nombre de secundarios.

La importancia del descubrimiento de estos investigadores radica, a mi entender, en la apreciación de que la pérdida de masa -un fenómeno muy conocido, pero cuyo origen es incierto- y estas variaciones de luminosidad pueden tener un origen común o incluso una ser la causa de la otra. Ellos también demuestran que estas variaciones no pueden ser debidas ni a pulsaciones intrínsecas propias de las estrellas en este estado evolutivo ni tampoco a la presencia de un objeto que gire alrededor de ellas y que periódicamente module su luz. Por otro lado, hay muy pocas mane-



ras de comprobar experimentalmente los modelos numéricos que los astrofísicos nos hacemos de la estructura interna de las estrellas. Uno de los más usados, y quizás el único con cierta precisión, es la astrosismología, o el estudio de cómo se propagan las ondas en las cavidades resonantes que son las estrellas. En general, el estudio de los modos de oscilación de cualquier cuerpo material nos permite averiguar, con todo tipo de detalles, cómo se distribuye la masa en su interior. La técnica se usa no solamente para saber de qué está hecho el interior de la Tierra -sismología-, sino también para conocer el estado físico de cualquier pieza de avión o descubrir nuevos yacimientos petrolíferos o vías de agua subterráneas. La apli-



Evolución de una estrella de tipo solar (ESO).

cación de este método requiere de una perturbación del sistema físico a estudiar, que en el caso de los terremotos es una perturbación natural

localizada en el tiempo y en el espacio, y en el caso de las estructuras aviónicas y los estudios subterráneos se trata de perturbaciones provocadas. Afortunadamente las estrellas tienen mecanismos propios para mantener excitados durante mucho tiempo sus modos normales de oscilación, lo que se podría llamar una “radiografía” de sus cuerpos, conocida técnicamente como su contenido en frecuencias.

Sirva toda esta digresión para intentar transmitir al lector la misma sensación de sorpresa de los autores de este artículo, y modestamente del que esto suscribe, cuando intentaron identificar estos LSP con oscilaciones debidas a los modos propios de oscilación de un objeto estelar en el estado evolutivo de gigante roja.

Lo sorprendente del resultado es que si no es una oscilación ni tampoco se debe a la presencia de un cuerpo que orbite la estrella, entonces ¿qué es? Los astrofísicos humildemente declaramos, llegados a este punto, no tener imaginación para idear un nuevo mecanismo físico. La recompensa a quien lo imagine, y por supuesto pueda demostrar que funciona, es no sólo encontrar una respuesta a estas misteriosas variaciones de brillo sino también posiblemente a la pérdida de masa de las estrellas en la fase de gigantes rojas. Como Carl Sagan nos recordaba, somos hijos de las estrellas, en tanto en cuanto nuestros constituyentes más íntimos son fabricados en sus interiores; pero aparte de las gloriosas explosiones de las supernovas, no conocemos muchas otras maneras de dispersar estas semillas. Resulta irónico que no sepamos el mecanismo básico mediante el cual las estrellas se ayudan para dispersar los átomos que finalmente utilizamos para descubrir este mecanismo.

Rafael Garrido (IAA)

EN BREVE

Gases “alienígenas” en nuestra atmósfera

► Una investigación sobre la composición del gas atrapado en pozos de Nuevo México apunta a que parte de la atmósfera terrestre se originó en los confines del Sistema Solar.

Hoy día se cree que la Tierra se formó a partir de la nube de gas y polvo primordial que dio ori-

gen al Sistema Solar, y que atrapó en su manto los gases que las erupciones volcánicas expulsarían después. Esos gases, junto con el oxígeno y otras moléculas aportadas por los primeros seres vivos, formarían la atmósfera terrestre.

Si fuera así, las burbujas de gas enterradas desde hace miles de millones de años deberían presentar una composición similar a la de aquella nube primigenia, conocida gracias a las

mediciones del viento solar obtenidas por los satélites. Y no ocurre así, al menos en el caso de las cantidades de xenón y kriptón, que en cambio sí se aproximan a las existentes en algunos meteoritos. Como conclusión, los investigadores proponen que parte de la atmósfera terrestre llegó cuando la Tierra ya se había formado del todo, acarreada por cometas que colisionaron con el planeta.

Lugares donde la vida no debería existir (pero lo hace)

Los astrónomos se afanan en buscar planetas de tipo terrestre, capaces quizá de sustentar vida, pero ¿cómo de “habitual” es la vida? La revista *Smithsonian* (smithsonian.com) ha publicado una lista con los hábitats más improbables que resulta muy reveladora

En la estratosfera

Es la capa de la atmósfera que se sitúa entre la troposfera y la mesosfera, y se extiende desde unos once hasta unos cincuenta kilómetros de distancia de la superficie. Las enormes tormentas de polvo del Sáhara y otros desiertos mueven millones de toneladas de tierra al año, y un impresionante número y variedad de microbios se suman a la expedición. Se han hallado cientos de variedades de bacterias, hongos y virus, entre ellos algunos patógenos humanos bien conocidos, como la legionela o los estafilococos.

Los lugares más fríos de la Tierra

Aunque el invierno polar puede resultar terrible para criaturas de sangre caliente, en la Antártica los pingüinos emperador pasan los meses de invierno a temperaturas de menos cuarenta grados bajo cero, en la oscuridad y sin comer mientras incuban sus huevos. Se acurrucan para compartir el calor y minimizar la superficie de sus cuerpos expuesta al frío, y además reducen su ritmo metabólico al 25% y su temperatura corporal unos grados.



Chimeneas marinas

Las chimeneas hidrotermales marinas constituyen un hábitat extraño: en 1977 se descubrió que estas regiones sulfurosas, en completa oscuridad y bajo una gran presión, presentaban ecosistemas complejos. Estas chimeneas se hallan en las intersecciones entre dos placas

oceánicas y se generan porque las placas se separan: el agua penetra en la corteza, se calienta y vuelve a salir, a modo de géiser, pero con una dosis adicional de minerales.

En estas regiones del fondo marino no sólo se han encontrado microbios, sino cientos de especies que incluyen serpientes, mejillones o gambas.



Bajo una grieta en el Valle de la Muerte

El Valle de la Muerte es el lugar más bajo, caliente y seco de los Estados Unidos. Aunque no parezca el hogar ideal para un pez, se han hallado siete especies de “cachorritos” (peces de la familia de los ciprinodóntidos, que sobreviven desde que los lagos se secaron hace diez mil años). Ahora se hallan aislados en marismas saladas y en el Agujero del Diablo (*Devil's Hole*), un acuífero subterráneo accesible solo a través de una estrecha grieta.



En ambiente radiactivo y bajo mucha presión

En 1979, en la Isla de las Tres Millas

(EEUU), un accidente provocó el derretimiento parcial de un reactor y liberó gas radiactivo a la atmósfera. Las tareas de limpieza se prolongaron durante años, en su mayor parte con robots y grúas operadas por control remoto mediante videocámaras. Para sorpresa del equipo de limpieza, el agua refrigerante próxima al núcleo se enturbió: una población de microorganismos prosperaba a pesar de los altos niveles de radiactividad.

En cuanto a la presión, el récord resulta sorprendente: la *Escherichia coli*, una bacteria del tracto intestinal, fue sometida accidentalmente a una presión ¡16.000 veces mayor que la presión atmósfera a nivel del mar! Y sobrevivió.

Soledad absoluta

Generalmente, los ecosistemas son complejos y unas especies interactúan con otras. Pero en una mina de oro en Sudáfrica, a más de tres kilómetros de profundidad, una especie de bacteria sobrevive en absoluta soledad y a unos sesenta grados de temperatura; se alimenta de sulfatos y fija su propio nitrógeno.

En los manantiales termales de Yellowstone

Con la temperatura del agua próxima al punto de ebullición y una acidez suficiente para disolver nuestras uñas, estos manantiales constituyen el hogar de diversas especies de microbios, cuyo metabolismo produce los colores sorprendentes. Allí encontramos la bacteria *Thermus aquaticus*, que genera una enzima que se emplea en genética para elaborar copias de ADN, microorganismos que se alimentan de hidrógeno y, hace unos años, se descubrió un nuevo filo de bacteria fotosintética.



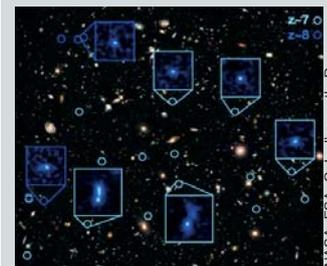
EN BREVE

Agua en la Luna



► Datos procedentes de varias misiones sugieren que no solo existe agua en la Luna, sino que se está creando allí. Ha sido el instrumento SARA del proyecto *Chandrayaan-1* el que ha aportado una de las claves al relacionar el agua lunar con el viento solar. Las partículas eléctricamente cargadas del viento solar bombardean la superficie de la Luna, compuesta por granos poco cohesionados conocidos colectivamente como regolito. La interacción entre los protones (núcleos de hidrógeno) del viento solar y el oxígeno del regolito produce hidroxilo y agua.

Las galaxias más viejas



► El Telescopio Espacial Hubble ha fotografiado las siete galaxias más antiguas conocidas, que nacieron entre 600 y 800 millones de años después del Big Bang. Estas galaxias se caracterizan por ser muy pequeñas -apenas un 5% del tamaño de la Vía Láctea y menos del 1% de su masa. Además, algunas estrellas que las componen se formaron 300 millones de años antes que las propias galaxias, lo que indica que los primeros brotes de formación estelar tuvieron lugar pocos cientos de millones de años después del Big Bang.

NASA, ESA, G. Inghamworth, R. Bouwens (UC Sta Cruz), HUDF09 Team.



El “joyero” de la Galaxia

La combinación de imágenes de tres de los telescopios más avanzados del mundo ha permitido ver el cúmulo NGC 4755, conocido como El Joyero, con una resolución sin precedentes

► El cúmulo de estrellas NGC 4755 recibió su apodo del astrónomo John Herschel quien, al observar en 1830 el potente contraste de sus estrellas azules y anaranjadas pensó en una pieza de joyería. De hecho, El Joyero es uno de los objetos más espectaculares del cielo del hemisferio Sur, y ha resultado serlo aún más

con esta combinación de tres imágenes del Telescopio Espacial Hubble (NASA/ESA), el *Very Large Telescope* (ESO) y el MPG (ESO).

Jesús Maíz, astrónomo del IAA y responsable de la campaña de observación en la que se ha obtenido la imagen, destaca “la altísima resolución obtenida, que

cubre longitudes de onda desde el ultravioleta hasta el infrarrojo cercano”. “Se trata del primer cúmulo abierto del que se ha obtenido una imagen de alta resolución en el ultravioleta lejano -añade el astrónomo-, y estamos viendo un rango de masas estelares de entre media masa solar hasta las veinte masas solares”.

Una factoría de supernovas extremadamente fértil

Observaciones en radio han desvelado, en la región central y oculta por el polvo de la galaxia IC 694, veintiséis objetos, la mayoría supernovas jóvenes y remanentes de supernovas

► Un grupo de astrónomos, encabezado por Miguel Ángel Pérez-Torres, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, ha hallado en las regiones centrales de la galaxia IC 694 una factoría de supernovas realmente prolífica: se han descubierto veintiséis fuentes que corresponden en su mayoría a radio supernovas jóvenes y a remanentes de supernova, que constituyen diferentes estadios evolutivos del mismo fenómeno, la muerte de estrellas de más de



ocho masas solares. Los resultados han sido posibles gracias al uso del *European VLBI Network*, una red europea de radio telescopios que permite observar con una resolución única en el mundo.

“Las observaciones que hemos realizado de IC 694 nos permiten estudiar casi en tiempo real cómo las estrellas más jóvenes y masivas mueren e interaccionan con el medio circundante -explica Miguel Ángel Pérez-Torres, principal autor de la investigación-. Si quisiéramos realizar un estudio así en una galaxia similar a la nuestra necesitaríamos cincuenta o cien años. En el caso de IC 694, que presenta estallidos de formación estelar reciente, lo hemos podido

Concepción artística de la factoría de supernovas en IC 694. Los círculos son ondas de choque de las supernovas recientes. Fuente: NASA/Walt Feimer.

ENTRE BASTIDORES

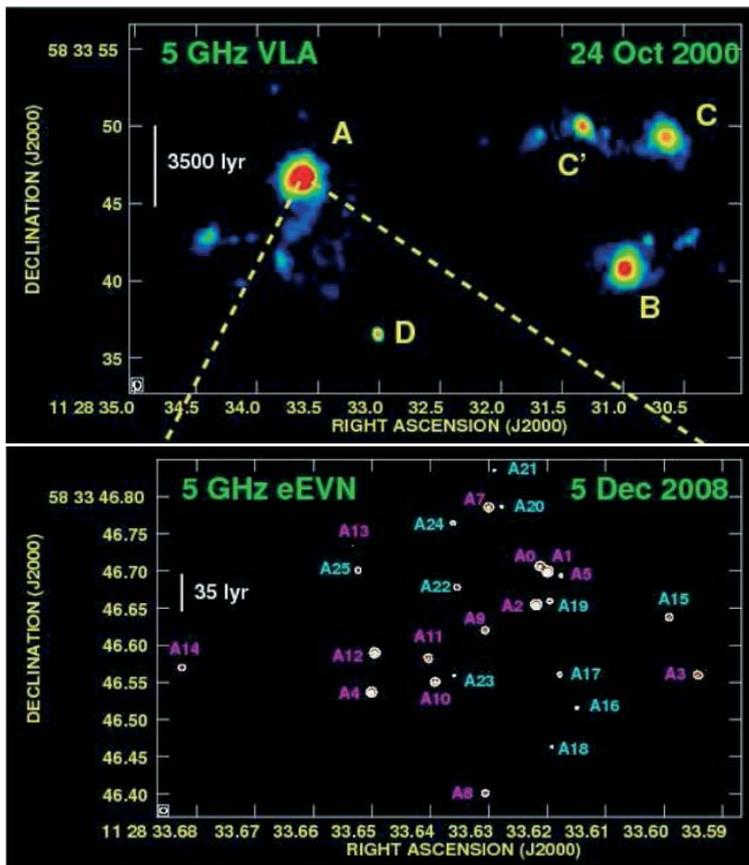
CERN Y CONCERNED

CARLOS BARCELÓ (IAA-CSIC)

Imagino que todos ustedes habrán oído hablar de la puesta en marcha por parte del CERN (Centro Europeo para la investigación Nuclear) del Gran colisionador de Hadrones (LHC). En esta gigantesca instalación científica se aceleran núcleos de hidrógeno (protones) hasta velocidades cercanas a la de la luz para luego hacerlos colisionar. La finalidad es utilizar la observación de los subproductos del choque para adentrarnos en el todavía desconocido universo de lo subnuclear (10^{-17} cm). Sin embargo, no sé si habrán oído hablar de “conCERNed”, espero que como mucho de forma marginal. El pasado noviembre el grupo de opinión representado por estas siglas elevó una protesta al Comité de derechos humanos de las Naciones Unidas por la puesta en funcionamiento del LHC. Apoyándose en presuntos expertos, este grupo aduce que el LHC puede poner en grave peligro a toda la humanidad, por lo que pide que se paralice su operación hasta no haber pasado una evaluación externa y multidisciplinar de sus riesgos. Desde estas líneas, solamente queremos poner nuestro granito de arena para tranquilizar al lego en estos asuntos.

En ciencia, como en probabilidad, nunca se puede decir “esto no puede pasar”, pero sí “esto es descabelladamente improbable”. Siempre que se explora un nuevo territorio pueden suceder imprevistos, ¿de eso se trata! Y siempre podemos idear una teoría especulativa que prediga efectos devastadores para el mundo o la humanidad al crear la nueva mezcla. El problema estriba en cómo de especulativa tiene que ser esa teoría. Por lo que sabemos, y aquí me refiero a la comunidad científica, no hay razones serias para temer al LHC. Colisiones tan energéticas como las del LHC se producen todos los días en el Universo, en particular en nuestra propia atmósfera, y no vemos que se haya producido ningún cataclismo. En el caso de formarse miniagujeros negros en el LHC, cosa que creo sorprendería grandemente incluso a los proponentes de la idea, es más que probable que su existencia sea tan efímera que realmente solamente detectemos los productos de su evaporación. La idea de que uno de esos hipotéticos miniagujeros negros engulla rápidamente la Tierra es tan descabellada que, de suceder, más de uno moriríamos esgrimiendo una última y magnífica carcajada.

Tengo que decir, sin embargo, que durante la escritura de estas líneas me he convencido de la importancia de que una agrupación como “conCERNed” pueda hacer oír su demanda. Sus temores son descabellados, lo que solicitan al CERN no lo es tanto. Aún respetando a este tipo de agrupaciones, siempre que sus temores y demandas surjan de la honestidad, a uno le gustaría que el control sobre el poder político incidiera en asuntos mejor seleccionados.



La imagen superior muestra, en observaciones con VLA del año 2000, la fuerte emisión en radio de IC 694. En la imagen inferior están señaladas las veintiséis fuentes detectadas en este trabajo.

llevar a cabo en menos de un año. Sin duda, es una verdadera fábrica de supernovas”.

Una galaxia muy fértil

La fertilidad de esta galaxia tiene un origen conocido: IC 694 se encuentra en los inicios de un proceso de fusión con otra galaxia menor, NGC 3690, interacción que produce una violenta inyección de gas y que desencadena, sobre todo en IC 694, intensos brotes de formación estelar. Los brotes más compactos, que presentan mayor densidad de estrellas masivas, suelen surgir en las regiones centrales de este tipo de galaxias, difíciles de observar debido a la abundancia de polvo. Existe, sin embargo, un trazador claro de esta explosión demográfica estelar: las estrellas jóvenes emiten gran cantidad de radiación ultravioleta, que los granos de polvo absorben y reemiten en el infrarrojo; así, las galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo son las mejores candidatas para albergar estallidos de formación estelar.

Y dichos estallidos producen, lógicamente, una tasa de mortalidad estelar superior a la media: si en una galaxia como la nuestra se espera una explosión de

supernova cada cincuenta años, en las galaxias luminosas y ultraluminosas en el infrarrojo esta tasa puede ser entre diez y cien veces mayor. Considerando que las estrellas más masivas aportan la mayor parte de la luminosidad estelar global y que mueren como supernovas, el cómputo de supernovas se revela como un prometedor método para comprender la física de los procesos de formación estelar.

“El gran número de objetos detectados implica que estamos viendo tanto supernovas jóvenes como numerosos remanentes de supernovas, y su estudio con el tiempo nos permitirá entender cómo evolucionan estos objetos en las condiciones extremas de IC 694 que, junto con M82 y Arp 220, es posiblemente el mejor laboratorio del Universo local donde llevar a cabo estos estudios”, apuntan los autores. De hecho, tres de los veintiséis objetos hallados se han confirmado como radio supernovas muy jóvenes cuya evolución, lenta y duradera, sugiere que las condiciones del medio a su alrededor juegan un papel fundamental en su comportamiento.

Silbia López de Lacalle (IAA)

Pilares científicos

AGUJEROS NEGROS EN NÚCLEOS GALÁCTICOS

ACTUALMENTE SABEMOS QUE LA MAYORÍA DE LAS GALAXIAS A PARTIR DE UN CIERTO TAMAÑO POSEEN UN AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO EN SU CENTRO

En 1908, el astrónomo Edward Arthur Fath encontró, sin reconocerlo, el primer indicio de un núcleo galáctico activo estudiando la galaxia M77: al descomponer su luz, en ciertas longitudes de onda se observaba una mayor radiación, lo que llamamos líneas espectrales de emisión. Por aquellos tiempos se trataba de dilucidar si las “nebulosas en espiral” eran nubes de gas con caprichosas formas o lejanísimas agrupaciones de estrellas. Un siglo después tenemos una amplia visión de la variada fenomenología que rodea estos núcleos. Las galaxias pasan en su evolución por períodos de actividad nuclear y períodos tranquilos. Los núcleos

galácticos activos o AGN (del inglés *Active Galactic Nuclei*) se encuentran entre los fenómenos más energéticos del Universo. Estos núcleos activos se caracterizan por albergar una fuente de energía extraordinaria que produce gran variedad de efectos observables en las propiedades de las galaxias que los contienen. Mediante el estudio de su variación de brillo, y el efecto que la radiación emitida tiene sobre el gas circundante (técnica del mapeo por reverberación), se puede deducir la naturaleza del objeto central. De esta forma hemos encontrado masas de entre un millón y mil millones de veces la masa del Sol, en espacios menores que el Sistema Solar. Por exótico que nos parezca, el único objeto imaginable que pueda permanecer estable con estas características es un agujero negro supermasivo, por lo que utilizaremos este término

como sinónimo de la región central. Pero estos agujeros negros no son exclusivos de los núcleos galácticos activos. Si comparamos la densidad de AGN en el pasado del Universo con la del Universo actual, deducimos que los agujeros negros supermasivos deberían estar presentes en casi todos los centros galácticos. La primera confirmación de un agujero negro durmiente fue en el centro de nuestra propia galaxia, a partir del movimiento de estrellas individuales a su alrededor. Después llegaron las observaciones en ondas de radio del movimiento de gas molecular alrededor del centro de otras galaxias, como en M106. Finalmente, estudios de la dinámica estelar en los núcleos galácticos (principalmente con el Telescopio Espacial Hubble) han ampliado la lista de agujeros negros supermasivos confirmados en galaxias cuiescentes a decenas de objetos.

Incetidumbres

AGN Y FORMACIÓN ESTELAR

¿CÓMO SE “DA DE COMER” A UN AGUJERO NEGRO?

Actualmente disponemos de un esquema básico, pero bastante robusto, de lo que ocurre en los núcleos galácticos activos. El origen de la energía de los AGN parece ser la caída de gas en torno a un objeto compacto central formando un disco de acrecimiento. En este proceso se transforma parte de la energía gravitatoria en radiación.

Un asunto más peliagudo es cómo llega el gas hasta la zona central para alimentar el AGN. Tanto las interacciones o choques entre galaxias como las barras pueden transportar gas hacia la zona nuclear, pero no se encuentra una mayor incidencia de AGN en estos entornos. Puede que la solución resida en las distintas escalas de tiempo involucradas, pero siempre queda el problema de hacer llegar el gas hasta la zona donde la gravedad del agujero negro domina (de unos pocos a unas decenas de parsecs de distancia).

Hasta hace poco se pensaba que la formación estelar violenta y los núcleos activos constituían fenómenos paralelos, y en ocasiones simultáneos, pero sin relación directa. En otras palabras, la presencia de gas en la zona nuclear alimenta tanto el AGN como la formación estelar en esta zona, aunque esto no implica que la presencia de uno afecte necesariamente al otro. Sin embargo, el nacimiento y muerte de estrellas cerca del núcleo puede consti-

tuir el último empujón necesario para que el material caiga al AGN. Por otro lado, los modelos actuales de evolución galáctica incorporan el efecto de retroalimentación por AGN, en el que parte del material que cae al agujero negro puede salir despedido en un chorro relativista que interactúe con el gas circundante, inhibiendo así la formación estelar.

En estos últimos años se ha descubierto además una relación muy importante entre la masa del agujero negro supermasivo central y las propiedades del bulbo galáctico que lo contiene.

¿Cómo se relacionan propiedades galácticas globales con otras locales? ¿Por qué lo hacen mediante un solo parámetro y precisamente con ese escalado? Necesariamente debe haber un vínculo entre la formación y el crecimiento del bulbo galáctico y la del agujero negro central, pero no sabemos exactamente cómo están acoplados.

Para abordar estas cuestiones es importante entender con detalle los elementos que participan en el problema. Por ello, el estudio de los procesos de formación estelar en la zona nuclear de galaxias AGN resulta fundamental para entender estos interrogantes.



El centro de la galaxia NGC5135 es rico en zonas de formación estelar y cúmulos estelares jóvenes, cercanos al núcleo activo.

divulgación

> SEMANA DE LA CIENCIA 2009 // 17-20 NOV. // www.iaa.es/scyt2009 //

En 2009, en el que celebramos el Año Internacional de la Astronomía y el Año Darwin, el IAA y la EEZ propusieron a los ciudadanos una cita en la Biblioteca de Andalucía para hablar de la evolución, concepto que se examinó desde diferentes ámbitos: Galileo y Darwin como motores de cambio en la astronomía y la biología, la evolución química del Universo y de la vida (¿cómo surgieron los elementos que forman lo que vemos?), la evolución de nuestro modo de estudiar la naturaleza gracias a las lentes (el telescopio y el microscopio como extensiones de nuestros ojos) y la influencia del entorno desde el punto de vista de la habitabilidad en otros planetas y en el nuestro propio (conceptos de selección, adapta-

ción y herencia). Además del ciclo de charlas Noches de Ciencia 3, vespertino y para público general, el Instituto de Astrofísica de Andalucía organizó sesiones matutinas para público escolar en las que se trataron los diferentes aspectos de la evolución a través de fragmentos de películas. Las actividades se completaron con una exposición realizada por la Sociedad Astronómica Granadina y un ciclo de cine de ciencia ficción en la Filmoteca de Andalucía.

Las sesiones de Noches de Ciencia fueron grabadas y masterizadas por el programa de radio La otra mirada, y están disponibles en la web <http://www.7esencias.com/?p=7189>



congresos

> PRO-AM // 20-23 DE NOV. 09 // <http://www.iac.es/congreso/proam/>

Organizado por la Sociedad Española de Astronomía (SEA), en colaboración con la Universidad de Córdoba, el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), Consolider-Ingenio GTC y el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN), el objetivo principal de este encuentro, que se celebró del 20 al 23 de noviembre, residía en conocer el potencial observacional de los astrónomos aficionados españoles y ofrecerles la oportunidad de participar en proyectos de investigación científica competitivos en colaboración con astrónomos profesionales.

> III Reunión de e-Ciencia Andaluza (e-CA) // 19-20 DE ENE 2010 // <http://e-ca.iaa.es/php/70-inicio.htm>

La III Reunión de e-Ciencia Andaluza (e-CA), Organizada por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), se celebró los días 19 y 20 de enero y acogió a más de ciento diez participantes procedentes de toda la geografía andaluza y de diversos ámbitos de investigación, como Medicina, Historia, Biología o Astrofísica, entre otros. El congreso, que tuvo lugar en tres sedes -el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC), el Parque de las Ciencias y el Business Innovation Center de la Junta de Andalucía-, sirvió para poner en contexto internacional las actividades de e-Ciencia de la comunidad andaluza y para mostrar sus avances durante los últimos años.

DESARROLLO TECNOLÓGICO

CARMENES

CARMENES (de sus siglas en inglés Calar Alto high-Resolution search for M dwarfs with Exoearths with a Near-infrared Echelle Spectrograph o Búsqueda de enanas M con exotierras con un espectrógrafo echelle de alta resolución en el infrarrojo cercano desde Calar Alto) es un proyecto del Instituto de Astrofísica de Andalucía, en colaboración con otros centros españoles y alemanes, para el desarrollo de un instrumento único en el mundo que detecte "exotierras" y "superti-

erras" orbitando alrededor de estrellas enanas rojas. El grupo de científicos del departamento de Física Estelar, junto con los ingenieros de la Unidad de Desarrollo Instrumental y Tecnológico (UDIT) del IAA estamos desarrollando el diseño opto-mecánico, electrónico y de software para que el instrumento pueda medir las variaciones pequeñísimas en la velocidad de la estrella producidas por el efecto gravitatorio del planeta cuando este se mueve en su órbita alrededor de ella. La precisión requerida en velocidad radial es del orden de un metro por segundo, algo que nunca hasta ahora se

ha conseguido con instrumentos astronómicos observando en longitudes de onda del infrarrojo cercano. Como comparación sirva el hecho de que Júpiter produce una variación en la velocidad radial del Sol del orden de los diez metros por segundo y la Tierra de diez centímetros por segundo. Las características principales de este instrumento son su altísima estabilidad mecánica y térmica, ya que cualquier pequeñísima variación de la temperatura o cualquier leve movimiento harían imposible la precisión necesaria en las medidas.

Pedro Amado (IAA)

AGENDA

CONFERENCIAS DE DIVULGACIÓN EN EL IAA

<http://www.iaa.es/conferencias>

25 febrero	Juan Fabregat (U. Valencia)	Título por confirmar
25 marzo	Josefa Masegosa (IAA-CSIC)	Título por confirmar

CONGRESOS

<http://www.iaa.es/congresos>

8th Workshop "Estallidos de formación estelar", del 8 al 10 de marzo de 2010
Hotel Best Western, Salobreña (Granada)

RECOMENDADOS

OCHO MINUTOS LUZ

8 Minutos Luz es una sección de periodicidad semanal del programa "La Hora de Granada" que emite Canal Sur Radio y que presentan Susana Escudero (Canal Sur Radio) y Emilio J. García (IAA).

8 Minutos Luz también es la distancia a la que está el Sol de La Tierra, el tiempo que tarda la luz del Sol en llegar a la superficie terrestre es de ocho minutos; en lo que dura cada uno de estos programas de divulgación astrofísica la luz del Sol viaja unos 150 millones de kilómetros aproximadamente...

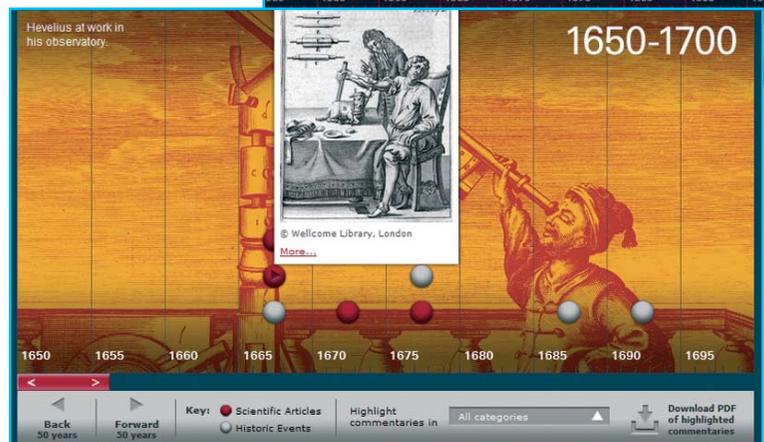
<http://universo.iaa.es/php/1023-ocho-minutos-luz.htm>

TRAILBLAZING: 350 AÑOS DE HISTORIA DE LA CIENCIA

La *Royal Society* británica, como conmemoración de su 350 aniversario, ha creado una página web que pone por primera vez a disposición del público artículos originales de enorme valor histórico y científico.

El portal de Internet se llama *Trailblazing* y recoge documentos manuscritos sobre algunos de los descubrimientos científicos más importantes de los últimos 350 años.

Entre los artículos que pueden consultarse se encuentra la Teoría de Newton sobre la luz y los colores (1672), o un artículo de Benjamin Franklin, uno de los padres fundadores de EEUU, sobre cómo remontar una cometa en una tormenta eléctrica. También figura un estudio de 1770 que confirmaba que Mozart era un genio a los ocho años, o un terrible relato sobre una transfusión sanguínea de 1660. Asimismo, recoge las notas de Edward Stone de 1763 sobre el éxito de la corteza del sauce para tratar la fiebre o un estudio de 1776 sobre cómo el capitán James Cook salvó a sus marineros del escorbuto con repollo en vinagre, limones y malta, mucho antes de que se desarrollaran investigaciones sobre nutrición. Entre los artículos más recientes se encuentran los primeros escritos de Stephen Hawking sobre los agujeros negros, de 1970.



CHARLAS DIVULGATIVAS PARA COLEGIOS EN EL IAA

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

