LAEFF Reporter

Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Villafranca del Castillo

http://www.laeff.esa.es

Año XI, núm. 42. Octubre 2005

Las últimas etapas de una estrella como el Sol

Eclipse de Sol

La relatividad de una historia

Observaciones marcianas

Disco protoplanetario alrededor de una estrella masiva

Agujero negro supermasivo solitario

Los anillos de Saturno tienen su propia atmósfera

Resultados de Deep Impact

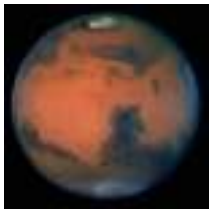
SUMARIO

Es inevitable que nuestra portada no estuviera ilustrada con una imagen del eclipse anular de Sol del pasado 3 de octubre. Para los interesados en detalles técnicos, la fotografía fue tomada en el momento central de la anularidad con una cámara Canon 10D conectada directamente a un telescopio Celestron C8-NGT Newton de 20 cm de diámetro f/5. Se usó un filtro Baader AstroSolar Safety Film y la exposición duró 1/80 s fijando ISO100.

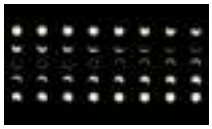
Cortesía de ESA.

Primera Plana — **3**
Evolución estelar en la fase post-AGB
Las últimas etapas de una estrella como el Sol
Olga Suárez

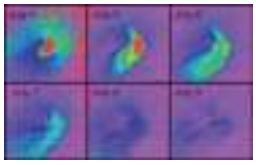
La Tarima — **6**
La relatividad de una historia
Rubens Freire



Apuntes — **14**
Observaciones marcianas
Judit Palacios



Eclipse — **16**
Un espectáculo de la naturaleza
Benjamín Montesinos



Astronoticias — **17**
Disco protoplanetario alrededor de una estrella masiva
Agujero negro supermasivo solitario
Los anillos de Saturno tienen su propia atmósfera
Resultados de Deep Impact

Director: Benjamín Montesinos
Redactora Jefe y Editora: Concha Prieto
Diseño: Concha Prieto
Distribución: Laboratorio

Depósito Legal: M-11899/95
ISSN: 1135-1802

Consejo de Redacción

David Barrado, Carmen Blasco, Itziar de Gregorio, Albert Domingo, Miguel Mas, Benjamín Montesinos, Concha Prieto, Olga Suárez.

El LAEFF es un laboratorio del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial en el que investigan científicos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en virtud de un convenio de colaboración firmado entre ambas entidades.

Evolución estelar en fases tardías
Las últimas etapas de una estrella como el Sol

Olga Suárez - LAEFF

Las estrellas siguen un largo camino a lo largo de sus vidas, en el que pasan por diferentes etapas durante las cuales van consumiendo todo su material combustible inicial, hasta terminar apagándose.

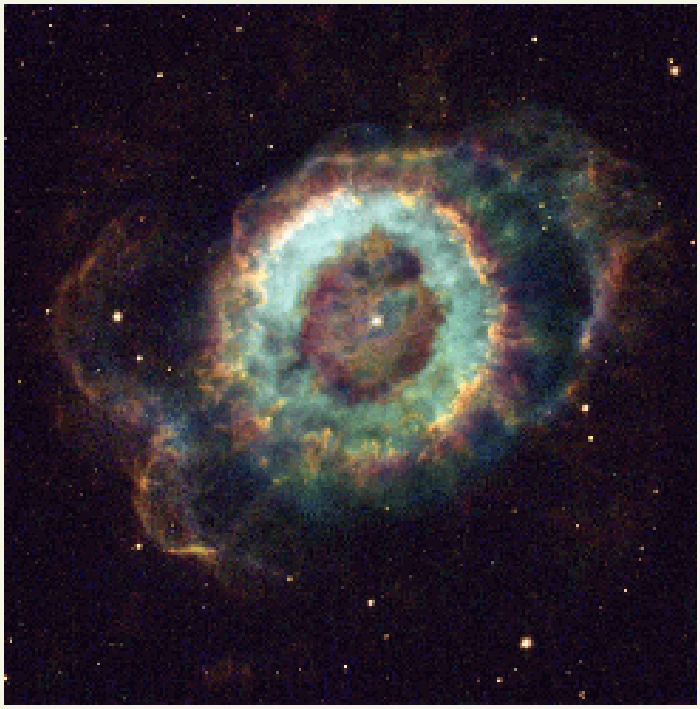


Figura 1: Nebulosa Planetaria del "Pequeño fantasma" (Little Ghost), observada con el *HST*, en la que se pueden ver las morfologías espectaculares que las envolturas expulsadas por las estrellas pueden llegar a presentar.

NASA, ESA y el Hubble Heritage Team (STSci/AURA).

Antes de apagarse dicen un último adiós con una etapa espectacular. La más conocida es aquella por la que solamente pasan las estrellas muy masivas (más de ocho masas solares) que es la explosión como supernova. La menos conocida pero también espectacular, es la de Nebulosa Planetaria, por la que pasan estrellas de hasta ocho masas solares, es decir, es el camino que seguirá nuestro Sol.

Aunque dependiendo de su masa, la evolución de las estrellas se produce a distinta velocidad, podemos tomar al Sol como ejemplo a lo largo de esta descripción de fases estelares. Una estrella como nuestro Sol pasará diez mil millones de años (10^{10}) en lo que se denomina "Secuencia Principal", que es la etapa en la que la estrella quema el hidrógeno que hay en su interior y en la que se encuentra el Sol ahora mismo. Los siguientes mil millones de años (10^{9}), transcurrirán en la Rama de Gigantes Rojas, donde la fuente de combustible será el hidrógeno de las capas que circundan el núcleo. Después de esta etapa, la estrella vivirá de la combustión del núcleo de hidrógeno, en la Rama Horizontal de Gigantes, y los diez mil años posteriores los pasará en la Rama Asintótica de Gigantes (AGB, de sus siglas en inglés), donde el combustible lo obtendrá de las capas de hidrógeno y de helio, que se irá encendiendo periódicamente (ver figura 2).

Etapa AGB

Durante esta última etapa, la estrella pierde una gran parte de su masa. Esta materia expulsada puede llegar a oscurecer su luz totalmente en el óptico, y emitirla en el infrarrojo, por lo que estas estrellas son potentes emisores en esta longitud de onda. Esta pérdida de masa viene asociada con una inestabilidad en las capas externas de la estrella, que la convierten en una estrella pulsante. Para detectar este tipo de fuentes es necesario realizar observaciones en el infrarrojo, donde su luminosidad es de las más altas de entre todos los objetos del cielo.

La materia expulsada durante la fase AGB es una de las mayores contribuidoras al enriquecimiento en materiales del medio interestelar. Hemos oído muchas veces que estamos formados por "polvo de estrellas", es decir, los átomos de los que estamos compuestos y de los que está formado todo lo que nos rodea, fueron un día sintetizados en el interior de alguna estrella lejana. Para que estos átomos hayan podido llegar hasta nosotros, fue necesario que en algún momento la estrella los expulsara al medio interestelar. Este proceso de expulsión, además de en las supernovas, se produce en la etapa que estamos contemplando, la AGB, en la que la estrella llega a perder masa a una velocidad de 10^{-4} masas solares por año.

Etapa post-AGB

La siguiente etapa en la evolución de la estrella será la fase posterior a la rama asintótica de gigantes (post-AGB). Esta etapa es muy rápida, de entre cien y diez mil años. En ella, el material expulsado durante la fase AGB continúa su separación progresiva de la estrella central, lo que produce que la estrella vuelva a ser visible en el óptico.

Al ir descubriendo capas más internas de la estrella, la temperatura efectiva de ésta aumenta, y llega un momento en que es suficientemente alta para que pueda comenzar a ionizar la envoltura expulsada.

Etapa NP

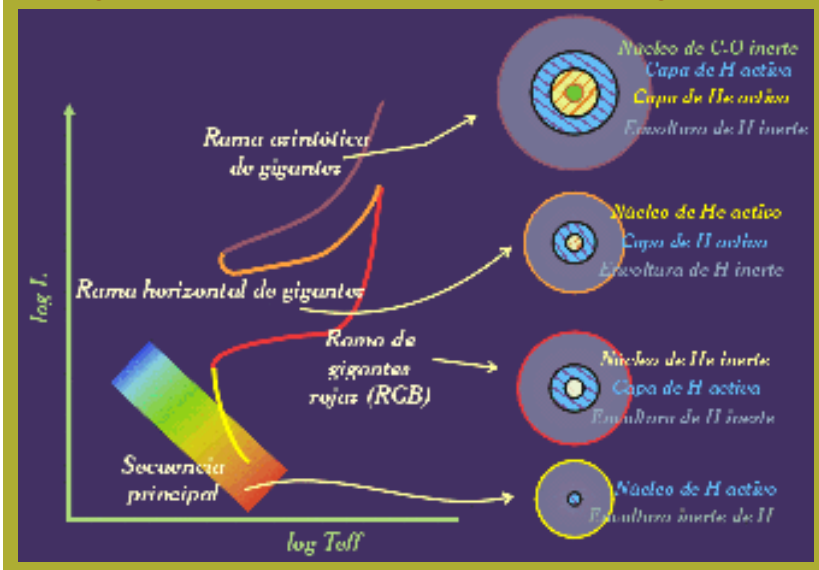
Cuando esto ocurre, se dice que la estrella ha entrado en la fase de Nebulosa Planetaria (NP). Es en esta etapa donde se encuentran unos de los objetos más bellos del cielo como se puede ver en las figuras 1 y 3.

La primera NP fue descubierta en 1764 por Charles Messier, pero fue William Herschel, en 1784 quien bautizó a estos objetos como Nebulosas Planetarias. La imagen de estas estrellas en los telescopios de aquellos tiempos era la de un disco borroso, muy parecida a la de los planetas lejanos (como Urano, descubierto también por Herschel), por lo que, en un principio, se pensó que podrían tener alguna relación. Aunque con los años se colocó a estos objetos en su posición correcta del *puzzle* de la evolución estelar, el nombre de "Nebulosas Planetarias" se ha mantenido.

Sus formas espectaculares y la variedad de elementos que al ser observados con distintos filtros dibujan los distintos colores que se nos presentan en las imágenes, hacen que sean unos de los "grandes éxitos" de las imágenes divulgativas del Telescopio Espacial Hubble.

Pero también esta etapa tiene su fin, cuando el progresivo alejamiento de las capas que en este momento son tan vistosas, las hace diluirse en el medio interestelar, perdida ya toda influencia de la estrella. La estrella a su vez, quedará reducida a su parte interior, entrando en la etapa de Enana Blanca.

Figura 2: Esquema de la evolución estelar en el diagrama H-R.



Las preguntas y cómo responderlas

Aunque las generalidades de las últimas etapas de evolución estelar son bien conocidas, hay todavía muchas cuestiones abiertas que son las que se investigan en este campo científico. Las más importantes son las siguientes:

¿Qué mecanismos hacen que

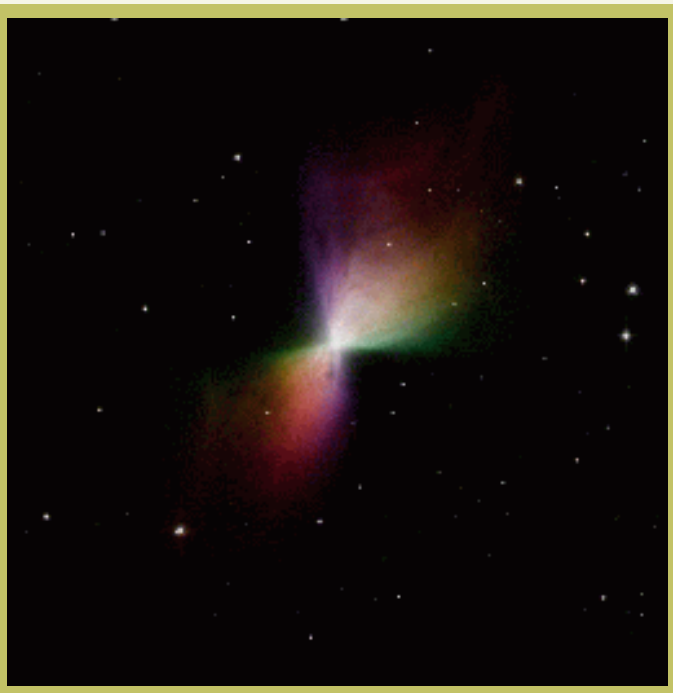


Figura 3: Nebulosa planetaria "Boomerang", observada con el *HST* en luz polarizada.

NASA, ESA y el Hubble Heritage Team (STSci/AURA).

una estrella que tiene pérdida de masa esférica, como ocurre en la AGB, pueda dar lugar a Nebulosas Planetarias sin simetrías o con simetrías axiales como las que se ven en las figuras 1y 3?

¿En qué momento se produce el paso de pérdida de masa esférica a no esférica?

¿Existe alguna relación entre la evolución de la estrella central y la evolución de las capas expulsadas?

Para responder a estas preguntas, es fundamental disponer de un número suficiente de objetos en estas fases evolutivas, que permitan realizar un estudio estadístico sobre las propiedades de estas estrellas. Aunque el número de Nebulosas Planetarias (alrededor de 2000 catalogadas) es bastante grande, el número de estrellas conocidas en la fase post-AGB es muy pequeño, debido al poco tiempo que las estrellas pasan en esta etapa. En la tesis de la autora que lleva por título "Stellar evolution in the post-AGB stage", realizada, en parte, en el LAEFF, se elaboró un atlas espectroscópico que contiene, entre otras, 105 estrellas pertenecientes a la fase post-AGB, incrementando de manera importante el número de objetos en esta etapa conocidos hasta el momento, que eran alrededor de 200.

Las estrellas observadas se han dividido en diferentes estados evolutivos, caracterizados por sus propiedades ópticas e infrarrojas. Sin embargo, hay parámetros difíciles de conocer, como su masa, que son determinantes en su evolución. El estudio tiene que proseguir para conseguir dar respuestas a la evolución de cada tipo de estrella según su masa. El hecho de disponer de un gran catálogo, permite seguir estudiando las propiedades individuales de cada estrella para poder así obtener resultados globales evolutivos, mediante el uso de la estadística.

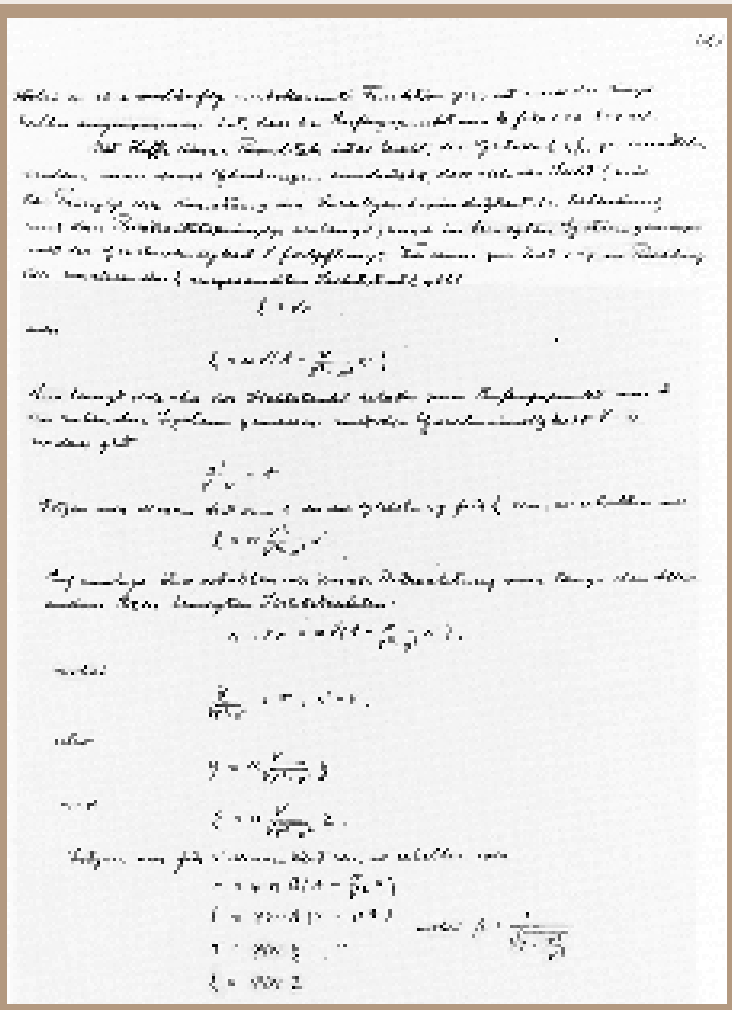
Para poder responder a las preguntas relacionadas con la morfología de las nebulosas planetarias, es necesario estudiar un gran número de objetos en la fase post-AGB y NP con una resolución angular alta, que permita conocer su forma con mucha precisión, y relacionarla con el momento evolutivo y la masa de cada estrella. La binariedad y los campos magnéticos parecen desempeñar un papel fundamental en la formación de nebulosas bipolares como las que se pueden ver en las figuras 1 y 3, pero estas son todavía cuestiones abiertas que hay que seguir investigando.

Así pues, el estudio tiene que continuar, y ayudados con los nuevos instrumentos disponibles y nuevos modelos evolutivos estelares, se irán contestando a estas preguntas, a la vez que se abrirán nuevas puertas a cuestiones que actualmente todavía no se han planteado.

La Tarima

La relatividad de un historia

Rubens Freire
Observatoire Astronomique - Strasbourg



Facsímil de la página 9 de la copia hecha por Einstein en 1943 de su manuscrito sobre la teoría de la relatividad de 1905.

En 2005 se festeja el año internacional o mundial de la Física, un evento que entre otras manifestaciones conmemora el centenario de las publicaciones de cuatro artículos importantes de Einstein.

La Tarima

Estos cuatro artículos tratan sobre:
(1) el efecto fotoeléctrico,
(2) el movimiento browniano,
(3) la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (la Relatividad Especial),
(4) la relación entre la masa y la energía.

Y explican una serie de fenómenos físicos sobre la base de conceptos novedosos:

(1) la luz esta constituída por paquetes de energía, los quanta,
(2) la materia se compone efectivamente de partículas: los átomos y las moléculas,
(3) el espacio y el tiempo no son absolutos: la medida de distancias y de intervalos temporales depende del observador así como la noción de simultaneidad: el concepto de espacio tiempo reemplaza los conceptos clásicos e independientes de espacio y de tiempo; para ello postula el Principio de Relatividad (las leyes físicas son las mismas en todo sistema de referencia no acelerado) y el hecho de que la velocidad de la luz no depende de la velocidad de la fuente emisora,
(4) la conversión de masa en energía.

Desde hace un siglo, se han escrito cientos de libros y miles de artículos sobre el impacto de esas ideas en el desarrollo de la Física del siglo XX hasta el punto de atribuirles, sobre todo a la Teoría de la Relatividad, el carácter de revolución científica, como la que se da a la concepción copernicana de nuestro sistema planetario. Una revolución, por el aporte de una visión o de un punto de vista diferente del usualmente aceptado por el mundo científico de una época: una manera diferente de interpretar la realidad y también de encarar las demostraciones. Muchos historiadores de la Ciencia están de acuerdo en que la mayoría de las ideas sobre la Relatividad circulaban (intercambios epistolares o discusiones en reuniones científicas) en el mundo intelectual de finales del siglo XIX, pero faltaba alguien que concretara la síntesis coherente de las mismas de manera simple y elegante.

Aunque es cierto que el carácter "revolucionario" de ciertas ideas sólo se aquilata posteriormente, después de muchos años de haber sido rechazadas o criticadas acerbamente y sólo cuando el resto de la comunidad científica se percata de, y comienza a aceptar, las consecuencias necesarias que aquellas implican así como la generalidad genial que permite múltiples desarrollos o aplicaciones posteriores. Entre otros, citemos como confirmación del efecto gravitacional relativista:

(a) el desplazamiento del perihelio de Mercurio (43" por siglo),
(b) la desviación de la luz de las estrellas por efecto gravitacional del Sol, cerca del limbo solar,
(c) el desplazamiento hacia el rojo de la luz emitida por objetos de gran masa,
(d) los lentes gravitatorias, así como la confirmación de:
(e) la transformación de la masa atómica en energía (energía atómica, bombas atómicas) y
(f) la posibilidad de obtener luz coherente (láser).

Aplicaciones actuales como el sistema de localización terrestre a partir de señales enviadas a y por ciertos satélites (GPS) utilizan los retrasos temporales relativistas para ajustar intervalos correspondientes a las diferencias de recorrido de la señal electromagnética y obtener una precisión de posición en la Tierra de algunos metros.

Nos podemos ahora preguntar, ¿de qué manera la mente humana consigue elaborar un conjunto intrincado de ideas convenientes, que le permitan llegar a realizar descubrimientos científicos, sobre todo aquellos de gran envergadura?

El matemático William Kingdon Clifford (1845-1879), a los 23 años, en una conferencia pronunciada en la Royal Institution (Inglaterra) explicaba cómo, según él se realizaban los descubrimientos científicos:
"*There is no scientific discover, no poet, no painter, no musician, who will not tell you that he found ready made his discovery or poem or picture: that it came to him from outside, and that he did not consciously create it from within.*" [1]

Pero tal vez, una revolución científica aparece primero como tal en la mente del individuo que la crea, produciéndole un cierto estupor y frenesí, no

1. Extraido de www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathematiciens/Clifford.html.

exento de temor, al dirigirse su pensamiento en una dirección imprevista, desconocida e incierta. A la sorpresa inicial, quizás siga una atracción aventurera, ineluctable y angustiosa del explorador de regiones intelectuales ignotas. Algo parecido a un cambio inesperado de agujas en las vías de un tren que es obligado, en un determinado momento, a hacer un desvío para dirigir al viajero explorador hacia una dirección desconocida. La analogía que elijo no es por cierto arbitraria, porque detrás de esta parte de la historia de la Física, sobre todo la referente a la Teoría de la Relatividad, se encuentra disimulada la historia de la evolución de los ferrocarriles hacia fines del siglo XIX.

Tal como nos recuerda Peter Galison, historiador de Física de la Universidad de Harvard[2], Einstein planteó el problema del tiempo a través del de la simultaneidad de dos eventos alejados. "*Debemos tomar en cuenta que todas nuestras sentencias sobre el tiempo, constituyen en realidad sentencias sobre eventos simultáneos. Si digo por ejemplo, 'este tren llega a las 7', estoy sobreentendiendo algo como 'cuando la aguja de mi reloj indique las 7' y 'cuando el tren llegue', son dos eventos simultáneos*". Esta simultaneidad puntual (en un mismo lugar) resulta claramente aceptable. Por el contrario, ¿cómo decidir objetivamente, si dos eventos que suceden en dos lugares diferentes son o no simultáneos? O de otra manera, ¿cómo poder sincronizar dos relojes alejados entre sí? Supongamos un reloj "maestro" o "central" (en el centro de coordenadas) donde un observador consigna la llegada de impulsos luminosos de eventos que suceden en diferentes puntos del espacio y a distancias diferentes del centro de coordenadas. Si el observador cambia de origen, la simultaneidad de ciertos eventos, válida en el primer sistema de referencia, deja de serlo en el nuevo, pues la luz se desplaza con velocidad finita y no infinita. Einstein afirma entonces que no puede haber ningún reloj central que garantice la medida de la simultaneidad entre dos eventos y sugiere que sólo se pueden sincronizar los relojes de diferentes observadores siempre y cuando cada uno tenga en cuenta la distancia a la que se encuentra de otro del cual recibe el impulso luminoso emitido a una hora definida con antelación: la hora de recepción de la señal luminosa será la de la hora predefinida más el intervalo utilizado por la luz para recorrer la distancia entre los dos puntos, el emisor y el receptor.

El matemático William K. Clifford.

Pero recordemos que a fines del siglo XIX y principios del XX el medio de transporte moderno por excelencia era el tren y que seguramente el joven Einstein lo utilizó en sus desplazamientos en Europa en múltiples ocasiones. El buen funcionamiento de los trenes estuvo relacionado desde el principio con el del conocimiento y el del control de la hora de salida de, y de llegada a, las diferentes estaciones en función de las velocidades desarrolladas por las locomotoras y de los tiempos medios puestos para recorrer las distancias conocidas entre dos estaciones. En todas las estaciones, no sólo había (como hoy) diferentes relojes que indicaban la misma hora, sino que la hora de los viajeros y del personal ferroviario que viajaba en el tren debía corresponderse con la de la estación de salida y con la de la estación de llegada.

¿Cómo consiguieron las compañías férreas hacia fines del siglo XIX coordinar los relojes de las diferentes estaciones ferroviarias? Desde 1830 una gran cantidad de inventores se dedicaron a construir sistemas de distribución eléctricos que ligaban varios relojes distantes con uno central,

2. Le train fantôme de la relativité restreinte, La Recherche hors série no 5, Le Temps, avril 2001.

primario o maestro, logrando que todos ellos indicaran la misma hora (simultaneidad) con un error del orden del segundo. Desde mediados del siglo XIX, Alemania dispuso de sistemas de distribución eléctrica y automática de la hora, en muchas ciudades importantes, y Suiza la imitó casi inmediatamente. En particular, la red urbana de relojes (sincronizados) de Berna fue inaugurada en 1890.

Este desarrollo tecnológico contribuyó al deseo de la unificación de la hora de manera nacional e internacional. Recordemos que en la primera mitad del XIX, cada ciudad europea tenía una hora diferente fijada en general en función de la hora solar media para un meridiano bien determinado, pero que sin embargo conducía a veces a diferencias de decenas de minutos entre las horas de dos ciudades no muy distantes una de otra.

A partir de 1891, Alemania decidió por razones económicas pero también militares, unificar la hora en todo su extenso territorio, unificado ya política y militarmente desde 1870, y luego los demás países europeos la imitaron[3].

Nos cuenta Galison que en Suiza, uno de los más renombrados relojeros desarrolló un sistema de sincronización con circuitos de baja tensión y que su empresa no sólo trabajó para los ferrocarriles sino también para los campanarios de las iglesias y los relojes despertadores en los hoteles. El culto de la hora exacta y de los relojes mecánicos o eléctricos se manifestaba en todas partes: calles, oficinas, empresas, casas y ... bolsillos de los chalecos.

Debido a la aceleración del proceso de extensión de las redes de sincronización eléctrica de la hora, cantidad de patentes (generadores de baja tensión, receptores electromagnéticos, interruptores de contacto, etc.) fueron depositadas en las Oficinas de Patentes hacia fines del XIX y principios del XX. Muchas de ellas pasaron por la Oficina Federal de Patentes de Berna donde Einstein trabajaba desde junio de 1902 como perito técnico de la evaluación de las patentes electromagnéticas y seguramente le ayudó sobremanera la experiencia adquirida en la empresa familiar de su padre y de su tío, en la que se aprovechaban las patentes de este último para construir dispositivos electromagnéticos sensibles de medida de intensidades y potencias eléctricas. Los dispositivos de sincronización horaria tenían como objeto fundamental transformar corrientes eléctricas de intensidad débil en movimientos de rotación de gran precisión.

Como prueba de que la actividad profesional de Einstein no fue ajena a la elaboración y publicación de su artículo preparatorio de la Teoría Especial de la Relatividad, Galison señala que el texto del mismo se parece más al de una patente que al de un artículo científico clásico: no presenta notas al pie de páginas, tiene pocas ecuaciones y mucho texto explicativo de carácter casi filosófico (Silvio Bergia corrobora también el aspecto poco ortodoxo del artículo, en *Einstein, le pére du temps moderne*, Belin Pour la Science, 2004, París, Chap. 4.).

Pero la idea importante de ese trabajo es que la *noción* del tiempo se asimile a la de la *medida* del tiempo. Definiendo la sincronización de relojes por el intercambio de señales luminosas, Einstein pudo completar la descripción de la “teoría electromagnética de los cuerpos en movimiento” sin hacer referencia alguna al éter en reposo (supuesto sistema absoluto) que en la experiencia de simultaneidad equivale a considerar como necesario un reloj maestro, primario o básico. De esta manera no existe ningún sistema de referencia privilegiado y desaparece la asimetría entre sistemas de referencia.

En la práctica, es obvio que la sincronización electromagnética funciona correctamente para distancias cortas y fue por ello que desde 1905 la marina norteamericana comenzó a utilizar la coordinación de los relojes por ondas de radio evitando así los circuitos materiales costosos o permitiendo el envío de señales a distancias mayores sin necesidad de redes materiales. Y a partir de 1910, una estación de radio reguló la hora de toda Europa desde la torre Eiffel.

¿No podríamos entonces establecer una gran similitud entre la revolución einsteniana y la copernicana, en la medida en que Einstein destronó el tiempo absoluto y el referencial absoluto del éter, en tanto que Copérnico destronó la Tierra del centro del Universo?

Pero ahora quisiera traer a colación una parte de la historia que tal vez sea menos conocida. Herbert

3. "Ese tiempo del reloj tampoco era una referencia unívoca en España hasta los primeros años del pasado siglo, cuando mi abuelo Miguel Aguilar Cuadrado, en su calidad de primer astrónomo del Observatorio del Retiro, fue encargado de redactar la propuesta de unificación de la hora por primera vez para todo el territorio peninsular y el archipiélago balear, que en adelante quedó anclada en la del meridiano de Greenwich, porque con anterioridad difería por ejemplo la hora oficial de La Coruña de la de Barcelona." de M.Angel Aguilar en CincoDias.com, 28/04/05, www.cincodias.es.

Herbert George Wells, autor de "La guerra de los mundos".

George Wells (1866-1946), novelista británico, publicó en 1898 (siete años antes de la publicación de la Teoría Especial de la Relatividad) "La guerra de los mundos" ("*The War of the Worlds*") y "La maquina de explorar el tiempo" o "La Maquina del Tiempo" ("*The time machine*").

En el capítulo I de "La Máquina del Tiempo", Wells nos cuenta una escena donde varios invitados conversan con el dueño de la casa (que será luego el Viajero del Tiempo) acerca de las nociones de espacio y de tiempo[4].

"*Can a cube that does not last for any time at all, have a real existence? Filby became pensive. `Clearly,' the Time Traveller proceeded, any real body must have extension in four directions: it must have Length, Breadth, Thickness, and ... Duration. But through a natural infirmity of the flesh, which I will explain to you in a moment, we incline to overlook this fact.* ***There are really four dimensions, three which we call the three planes of Space, and a fourth, Time****".*

Y agrega: "*Sin embargo tenemos tendencia a establecer una distinción irreal entre las tres primeras dimensiones y la última, dado que nuestra conciencia se desplaza, de manera intermitente, en una dirección a lo largo del tiempo, desde el comienzo hasta el fin de nuestra vida....* ***Es realmente el significado de esta cuarta dimensión... No es más que otra manera de concebir el Tiempo****".*

Y afirma enseguida: *There is no difference between time and any of the three dimensions of space except that our consciousness moves along it." Y un poco más lejos dice: "That Space, as our mathematicians have it, is spoken of as having three dimensions, which one may call Length, Breadth, and Thickness, and is always definable by reference to three planes, each at right angles to the others. But some philosophical people have been asking why three dimensions particularly - why not another direction at right angles to the other three?- and have even tried to construct* ***a Four-Dimension geometry. Professor Simon Newcomb was expounding this to the New York Mathematical Society only a month or so ago...*** *Scientific people, proceeded the Time Traveller, after the pause required for the proper assimilation of this,* ***know very well that Time is only a kind of Space****. ... But, said the Medical Man, staring hard at a coal in the fire, if Time is really only a fourth dimension of Space, why is it, and why has it always been, regarded as something different? And why cannot we move in Time as we move about in the other dimensions of Space? The Time Traveller smiled".*

Einstein tenía 19 años en el momento de la publicación de esta novela. Sabemos que más tarde existió una correspondencia entre Wells y Einstein. Pero nuestra duda persiste ¿leyó Einstein la novela? Es muy probable que sí, pues fue una obra que tuvo un gran impacto público. De todas maneras, Einstein reconoció años más tarde, la importancia de los trabajos de Newcomb para su Teoría Especial de la Relatividad[5].

Simon Newcomb (1835-1909), norteamericano de origen canadiense, fue físico, matemático, astrónomo, economista y oficial de la marina de los Estados Unidos de la época: tuvo una gran ascendencia por sus trabajos de organización de los servicios de la hora y las efemérides náuticas. Por lo menos sus ideas sobre la geometría de cuatro dimensiones aparecen ya explícitamente en su artículo "*The modern mathematical thought*" (*Nature*, Feb.1, 1894, 325-329):

4. Texto copiado del sitio internet http://www.bartleby.com/1000/1.html (Wells,H.G. The Time Machine, Bartleby.com, 2000, www.bartleby.com/1000/): la traducción francesa (éditions Mercure de France, 1959) propone un texto más elaborado que el texto inglés conciso.

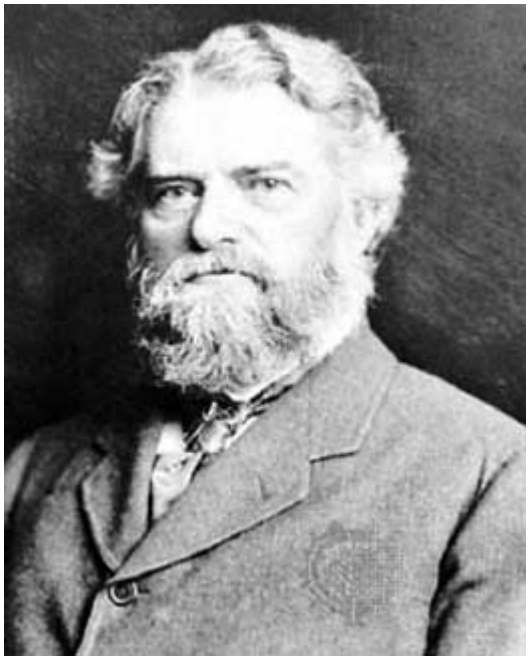
5. Ver p.ej. el sitio: www.ast.cam.ac.uk/~adh/newcomb.

La Tarima

"Ahora bien: un principio fundamental de la ciencia pura es el de tener libertad ilimitada para formular hipótesis. No es necesario que probemos que la hipótesis es una realidad antes que nos esté permitido hacerlo. Es legítimo (poder) anticipar todas las posibilidades. Por lo tanto, un ejemplo de pensamiento perfectamente legítimo (es el de) imaginar lo que resultaría si no nos detenemos en las tres dimensiones de la geometría, sino que construimos una espacial teniendo cuatro... él no puede construir en su propia mente una imagen de las cosas con la apariencia que ellas tuvieran en el espacio de las cuatro dimensiones..."

Y prosigue*: "As in space of two dimensions, one line can be drawn perpendicular to another at a given point, and by adding another dimension to space, a third line can be drawn perpendicular to these two; so in a fourth dimension we can draw a line which shall be perpendicular to all three.... Add a fourth dimension to space, and there is room for an indefinite number of universes, all alongside of each other, as there is for an indefinite number of sheets of paper when we pile them upon each other.*

El matemático Simon Newcomb.



Desde este punto de vista de la Ciencia Física, considerar admisible la realidad de una cuarta dimensión, resulta ser una cuestión muy interesante. Todo lo que podemos decir es que, en lo que respecta a las observaciones de que disponemos hoy, todas las conclusiones más legítimas (que derivan de aquellas) parecen estar en contra. Ninguna inducción de la Ciencia Física resulta más universal o completa que la de que tres condiciones fijan la posición de un punto. El fenómeno de la luz muestra que ninguna vibración se escapa del espacio tridimensional, incluso en el éter 'luminífero'.

If there is another universe, or a great number of other universes, outside of our one, we can only say that we have no evidence of their exerting any action upon our own... Intimately associated whith this is the concept of what is sometimes called curved space. I confess that I do not like this expression, as I do not see how space itself can be regarded as curved". Y continúa mencionando los trabajos de Lobatchewsky y Gauss sobre las geometrías no euclidianas.

Newcomb retoma las mismas ideas y las desarrolla en su comunicación a la American Mathematical Society *The philosophy of hyperspace* (Buletin of American Mathematical Society 1898, vol.4, pp 187-195 que apareció también publicada en Science 7,1-7, 1898): "*The question whether a fourth dimension may possible exist..., But give us a fourth dimension, with the faculty of moving into it, and we pass completely outside of our three dimensional universe, by a single step..., Were motion in the fourth dimension possible, an object moving in that dimension by the smallest amount would be completely outside of what we recognize as the universe, and* ***would therefore become invisible****".*

Recordemos cómo Wells nos cuenta lo que le sucede a la maqueta de la Máquina del Tiempo ante los ojos asombrados de los invitados: *Esta cosa pequeña, dijo el Viajero del Tiempo, dejando sus codos sobre la mesa y apoyando sus dos manos juntas sobre el aparato, es solamente un modelo. Es mi plan de una máquina que viaje a través del tiempo. Ustedes notarán que tiene un aspecto singularmente deforme y que hay (como) una rara apariencia centelleante alrededor de esta*

barra, como indicando ya, de alguna manera, que era irreal". E indicó con su dedo esta parte (del aparato). Además, aquí hay una pequeña palanca blanca y allí hay otra...

Y prosigue el Viajero del Tiempo:

"*Now I want you clearly to understand that this lever, being pressed over, sends the machine gliding into the future, and this other reverses the motion. This saddle represents the seat of a time traveller. Presently I am going to press the lever, and off the machine will go.* ***It will vanish, pass into future Time, and disappear****. "Todos vimos que la palanca giraba. Estoy absolutamente convencido de que no hubo trampa (o fraude). Hubo un soplo de viento y la llama de la lámpara de elevó (en el aire). Una de las velas sobre la repisa (de la chimenea) se apagó, y la pequeña máquina giró sobre sí misma de repente, cobró una apariencia confusa, se la vió tal vez durante un segundo como un fantasma, como un torbellino reluciente y débil de latón y de marfil; ¡y la máquina se esfumó! Salvo la lámpara, la mesa quedó vacía".*

Pero Wells nos habla del Tiempo como una cuarta dimensión que se agrega a las otras tres del espacio, a igualdad con ellas. Por el contrario, Newcomb nos propone sólo otra cuarta dimensión espacial. ¿Será entonces Wells, a través de un relato de ficción científica, el que debe llevarse las palmas, pues es el que realmente propone de manera osada y directa, que el Tiempo no es más que la cuarta dimensión *olvidada* de nuestro universo, dado que estamos continuamente inmersos en ella?[6]

Pero hay más: Ian Stewart (en p. 58 de *Les Mathématiques*, ediciones "Pour la Science", Belin, París, 1989, trad. *The problems of Mathematics*, Oxford University Press, 1987) menciona que en la tesis presentada por Riemann ante su profesor Gauss en 1854, él defendió la idea de que en el espacio la geometría podría variar de un punto a otro pasando de hiperbólica a euclidiana y de ésta a elíptica, siendo la curvatura local la que daría el tipo de geometría que debería considerarse en ese punto. Además parece sugerir que las propiedades métricas del espacio puedan ser función de las fuerzas que actúan en el punto considerado.

Nos dice además que Clifford, que ya mencionáramos, estudió las geometrías no euclidianas influenciado por los trabajos de Riemann y de Lobachevsky, y en 1870 escribió una obra titulada *On the space theory of matter*. En ella, retomando las ideas precedentes, afirmaba que pequeñas regiones del espacio podrían parecerse a pequeñas colinas sobre una superficie casi plana y argüía que la energía y la materia eran simplemente diferentes aspectos de la curvatura del espacio[7].

El espacio se deformaría elásticamente en presencia de una masa deformante por efecto de las fuerzas gravitatorias. Todas las partículas deberían "caer" hacia el objeto masivo, modificando su trayectoria rectilínea. De allí a pensar que un haz de luz, interpretado como una sucesión de partículas pueda ser desviado por efecto gravitatorio pensamos que hay sólo un paso.

Pero también 2005 es un año de múltiples conmemoraciones: al cincuentenario de la desaparición del propio Einstein, se agregan la de los 90 años de la Teoría de la Relatividad General (1915), el cincuentenario del "Manifiesto contra la guerra (convencional y nuclear) y por la solución pacífica de los conflictos políticos" (promovido por A. Einstein y B. Russell), los sesenta años del final de la Segunda Guerra Mundial, el centenario de la desaparición de Julio Verne, así como el cuadricentenario de la publicación de la primera parte del Quijote. Dirán ustedes, ¿qué pueden aportar las otras conmemoraciones de hechos no científicos a este modesto análisis de la obra de Albert Einstein? Podría argüirles que hay coincidencias y simultaneidades que a mi modo de ver, resultan bastante sorprendentes, como intentaré mostrales.

A Julio Verne, escritor del XIX, puede considerársele como el iniciador de una nueva forma de literatura, de imaginación y de aventuras, cuya temática explora las posibilidades de la técnica y de la ciencia del siglo y la prolonga en un futuro hipotético: una nueva literatura precursora de la llamada ficción científica (FC) o ciencia ficción del siglo XX. ¿Podríamos atribuir a Verne el haber sido el promotor de una cierta revolución literaria ? Algo difícil de sostener frente a los expertos literarios que siempre minimizaron la obra verniana como siendo de vulgarización científica, o dirigida sólo a la juventud o de un estilo simplemente descriptivo

6. Recordar los dos primeros párrafos ya citados del Cap. I. de *la Máquina del Tiempo*. Por otra parte, es solamente en 1905 que Poincaré propone una cuarta coordenada temporal, correspondiente al término **ict**. (S. Bergie, *op. cit.* p. 54).

7. Extraído de www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Mathemticiens/Clifford.html

Grabado de Don Quijote leyendo novelas de caballería.

o enumerativo. Sin embargo los hay que piensan todo lo contrario, pues la literatura verniana dominó mundialmente todo el siglo XIX y no hubo ningún otro escritor talentoso que le hiciera frente en su propio dominio. Solamente hacia fines del siglo aparecen las obras de H.G. Wells, que prefiguran una transición hacia la FC del siglo XX y que ya hemos mencionado.

En cuanto a Cervantes, su obra El Quijote ("El Ingenioso Hidalgo Don Quixote de la Mancha") ¿puede o no ser considerada como una obra que revolucionó la literatura o las ideas de su tiempo? Aunque en su época pocos lo reconocieron como tal, es sobre todo hoy día cuando se le atribuye ese carácter (Ver *Curso sobre El Quijote* de Vladimir Nabokov, ediciones Byblos, 325 pp., Barcelona, España, 2004, traducido de "Lectures on Don Quixote", 1982). ¿Por qué recóndita coincidencia histórica esta obra podría relacionarse con la vida y obra de Einstein? ¿Será sólo la coincidencia de que el Quijote comporta en realidad dos volúmenes publicados respectivamente en 1605 y en 1615 y que Einstein, por su lado, publicó dos artículos sobre la Relatividad en 1905 y en 1915, separados ambos por 10 años de intervalo?

"...la noticia de que a la muerte del gran Einstein, del constructor de la mayor obra de síntesis que ha conocido la humanidad, del sabio inmenso que ya en vida ha visto adelantarse la historia y adjudicar a su cerebro un puesto al lado de los de Newton, Galileo y de Arquímedes, fue encontrado en su mesa de noche un ejemplar del Quijote en alemán. Esto para nosotros es simplemente magnífico. El creador de la Teoria de la Relatividad daba solaz a su trabajado cerebro en las páginas de nuestro Cervantes. ¿Qué pasajes le endulzarían mejor sus ratos de descanso?[8]"

Y agregaríamos nosotros ¿Se vió Einstein como un Quijote luchando por ideales incomprendidos de paz y de progreso por los dirigentes mundiales, o contra molinos de viento que él malinterpretó como desaforados gigantes, pensando que las gentes eran de una manera cuando en realidad eran diferentes? ¿Se habrá considerado un incomprendido como en parte es el Quijote frente a un mundo que lo soporta y que de vez en cuando lo castiga sin razón aparente? ¿Habrá considerado acertado el testamento del Quijote condenando los libros de caballería como si pudieran condenarse las teorías antiguas que conducen a hacer errar las gentes sin rumbo definido? Seguramente ninguna de estas hipótesis tiene valor alguno e ignoraremos siempre las verdaderas razones que motivaron su lectura del Quijote hasta los últimos instantes de su vida, pero esto nos muestra una vez más, los inefables y sutiles vínculos que ligaron, ligan y ligarán siempre los espíritus creadores, y revolucionarios, de las Artes y de las Ciencias.

El autor agradece la ayuda del personal de las bibliotecas del CSIC y Residencia de Estudiantes de Madrid, así como la de los servicios de biblioteca de la Universidad de Estrasburgo.

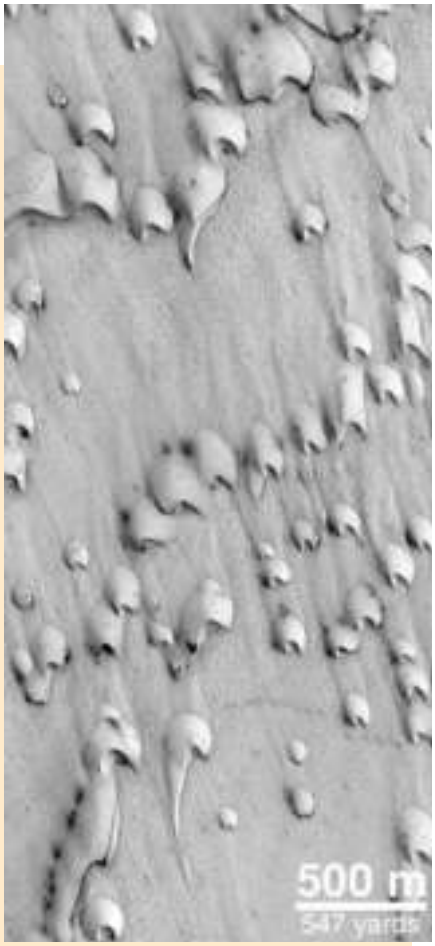
8. En *Breve estudio del tiempo y del espacio en el Quijote*, p. 18, de Edgar R. Agostini Banus (catedrático), 1958, 20 pp., Publ. del Instituto de Estudios manchegos, Ciudad Real.

Apuntes

Observaciones marcianas

Judit Palacios - LAEFF

Un mapa de Marte.



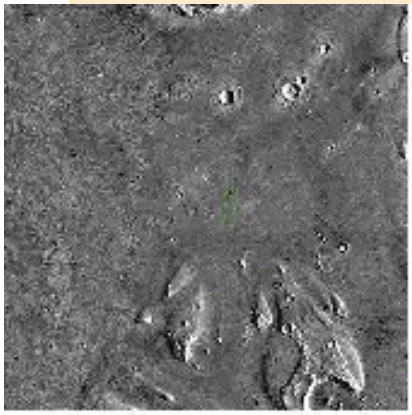
A primera vista, podemos observar el planeta del dios de la guerra como un punto rojizo no parpadeante, que se va moviendo por el fondo de estrellas de la eclíptica, que es, aproximadamente, el plano del Sistema Solar. Con un telescopio mediano podemos discernir algunos detalles de su superficie, como el casquete de hielo del polo sur (en la imagen se ve invertido), variable con las estaciones y Syrtis Major, una zona más oscura que es en realidad una llanura basáltica en las cercanías del ecuador marciano. Los polos son de hielo de agua (Norte) y hielo de agua y dióxido de carbono (Sur). Todo el suelo, al estar tan lejos del Sol, tiene una capa de *permafrost* (escarcha permanente) También se suelen observar tormentas de polvo que pueden cubrir toda la superficie.

Los casquetes polares son zonas glaciares en las que hay mucho polvo. Cuando éstas se funden, o en la cercanías del casquete, aparecen dunas de polvo cubiertas de permafrost, como en la siguiente foto.

Ya más en detalle, podemos observar configuraciones que nos dan referencias de la estructura interna. Vemos Valles Marineris, un cañón inmenso de unos 5000 km de longitud, considerando el tamaño mucho más pequeño de Marte; su radio es la mitad que el de la Tierra.

Este gran cañón, con estructuras de derrumbe en sus paredes, se cree apareció a consecuencia del "levantamiento" de la gran cúpula o domo de Tharsis, una gran megacúpula volcánica que agrupa a cuatro grandes montes: Olimpo y, alineados, Arsia, Pavonis y Ascreus. El monte Olimpo es el más alto del Sistema Solar, con sus 23000 metros de altura y sus casi 1000 km de diámetro en la base. Los otros tres grandes montes y el domo están sustentados por una litosfera rígida, porque, si no, se hundirían bajo su inmenso peso. Una litosfera rígida no puede presentar tectónica de placas, pero quizás en el pasado la hubo. En la caldera de Olimpus podemos ver derrumbamientos en los bordes, e impactos de

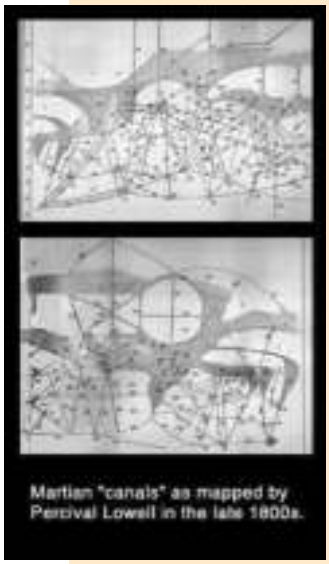
Apuntes



Isletas en forma de lágrimas.

meteoritos. En la base se observan "aureolas" o zonas de un antiguo glaciar con arenas, etc.

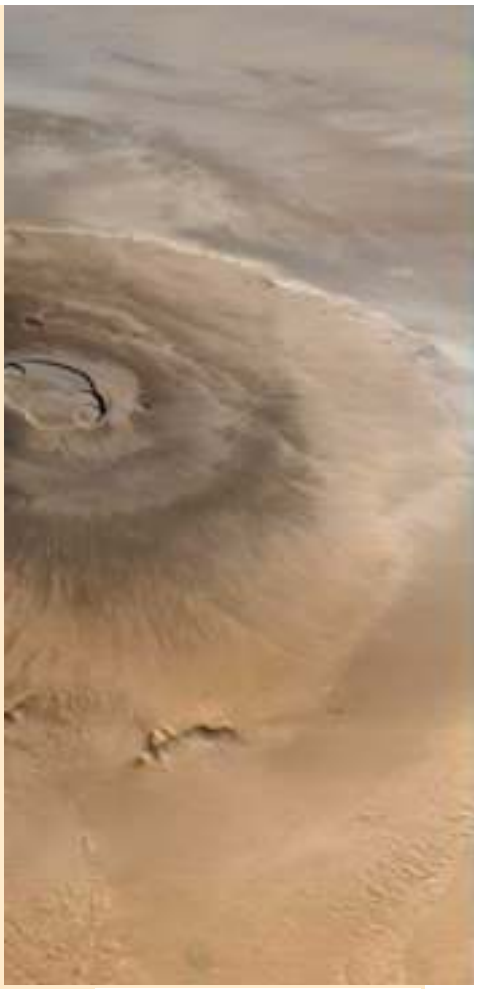
Podemos ver también una tormenta de arena en Hellas Planitia, la gran cuenca de impacto de Marte. Sabemos que la superficie está cubierta de impactos de meteoritos ya que tiene una atmósfera demasiado tenue como para desintegrar por rozamiento los meteoroides a la entrada. Por ello veremos un cráter representativo, Orcus Patera, un bonito cráter de impacto ¡oblicuo! La superficie de Marte presenta una textura fluida en buena parte de los cráteres de impacto, como si se proyectaran coladas de barro.



Martian "canals" as mapped by Percival Lowell in the late 1800s.

Otro aspecto morfológico importante es la "dicotomía" de Marte o el límite 1/3-2/3, que es una gran escarpe que separa la zona que está cubierta de impactos de meteoritos por una zona en la que no hay. Recibe el segundo nombre ya que las zonas ocupan 1/3 y 2/3 respectivamente, y se baraja la posibilidad de que fuera el talud del lecho de un antiguo océano.

Las redes de drenaje o canales (como podemos apreciar, Marte presenta una rica morfología geológica que estamos muy lejos de entender bien. Los datos de las antiguas misiones junto a los de las que aún están operativas darán muchas claves para hacerlo) son estructuras de flujo de agua, como lechos de ríos, pequeñas desembocaduras, zonas de sedimentación.... en todas esas zonas se han encontrado hematites, y también estratos cruzados, que en la geología terrestre son reveladores de flujos de agua de diferente caudal.



Antiguo glaciar con arenas.

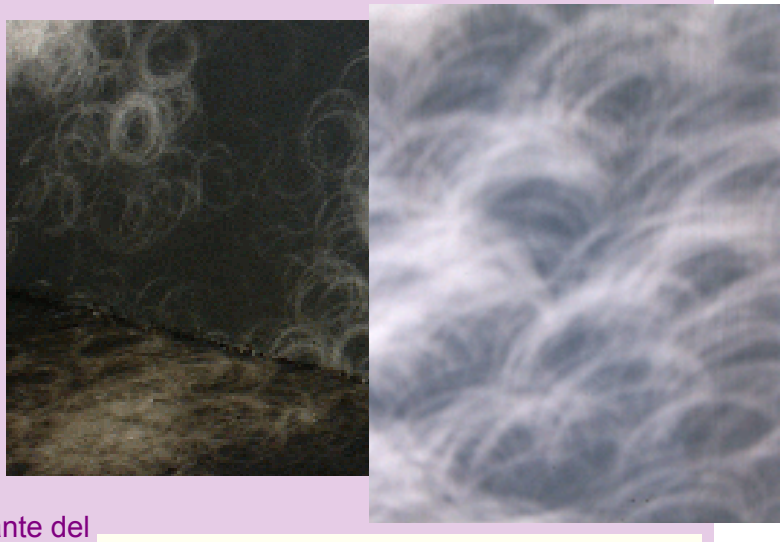
También se han encontrado "mensas" o estructuras de bordes recortados, producidas por glaciares. Sabemos que los casquetes de hielo presentan obviamente glaciares, pero estas estructuras son casi ecuatoriales, así que hubo glaciares hace tiempo en Marte en el ecuador ¿quizás por alguna era glacial, o movimiento de eje de rotación de Marte? A la izquierda, podemos ver una red de drenaje ("cauces secos") y algunos aspectos sedimentológicos, como las "isletas" en forma de lágrima.

Eclipse

Un espectáculo de la naturaleza

Benjamín Montesinos - LAEFF

Cuentas atrás de los niños justo antes del momento de la anularidad, aplausos y gritos de admiración de los más pequeños... y no tan pequeños; una luz bastante especial; la sombra de los árboles proyectando la imagen del eclipse en el suelo a través de cada resquicio que dejaban las hojas; un solo de violín en el Planetario de Madrid; páginas web colapsadas, retrasmisiones via internet a todas aquellas zonas que no podían disfrutar de la anularidad; programas especiales en varias televisiones; las radios, por unos minutos arrinconando sus tertulias mundanas... y allá arriba, claro, los causantes de todo: la Luna pasando por delante del Sol y proporcionando un espectáculo natural a millones de personas.

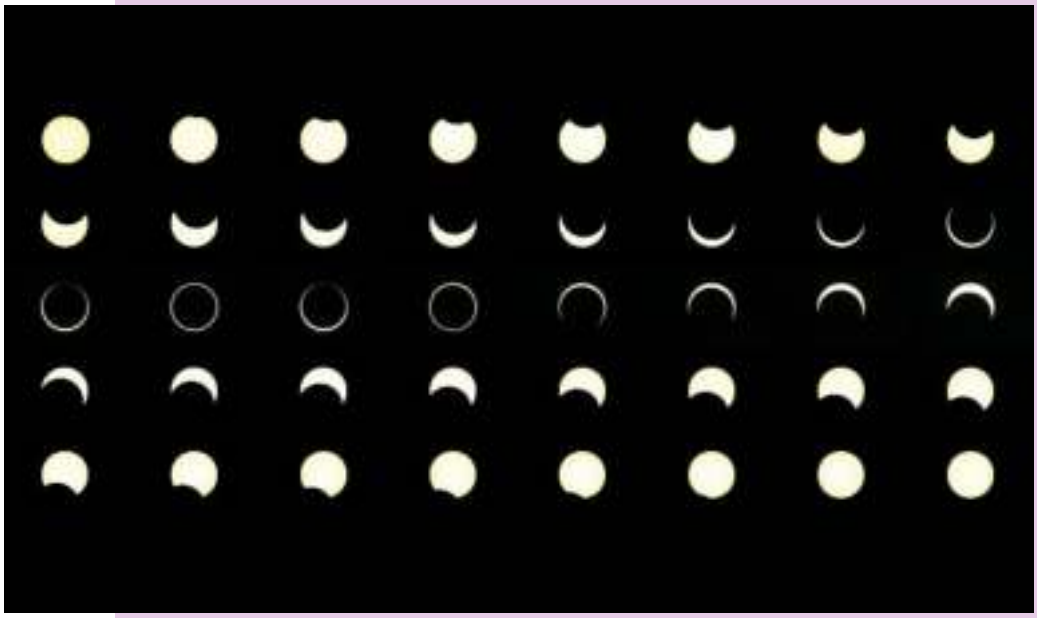


Cortesía de Olga Suárez y Amelia Bayo

La sombra de las hojas proyectando el eclipse.

Así podríamos describir el eclipse del pasado 3 de octubre. Los eclipses de Sol han pasado de ser excelentes oportunidades de extraer datos científicos -no olvidemos que la curvatura del espacio predicha por Einstein se comprobó experimentalmente durante dos eclipses- a espectáculos populares que nos sirven como excusa a los astrónomos para hacer divulgación.

Cuando ya casi nada nos asombra, es enigmático y estimulante preguntarse qué sentirían nuestros antepasados, hace 5000 o 10000 años, ante un fenómeno de esta categoría...



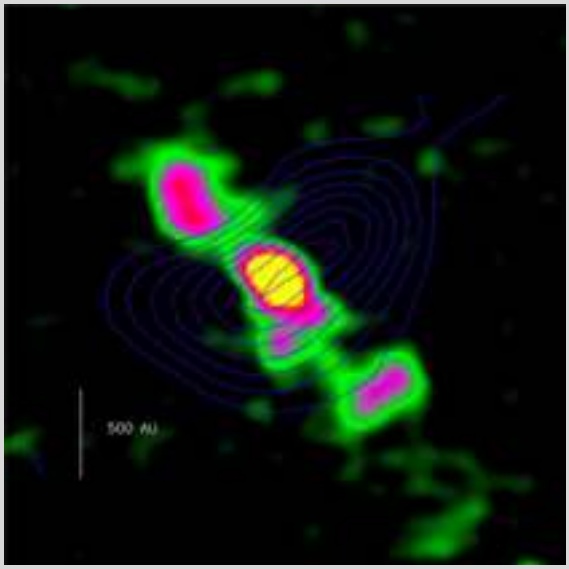
Cortesía de ESA

Secuencia total del eclipse anular.

Astronoticias

Recopilación de Carmen Blasco e Itziar de Gregorio

DISCO PROTOPLANETARIO ALREDEDOR DE UNA ESTRELLA MASIVA



Un grupo de científicos encabezado por astrónomos del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, y del que forman parte varios científicos españoles del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ha detectado un disco de gas y polvo alrededor de una estrella de alta masa. Dicho disco aparece asociado a chorros de gas perpendiculares al mismo, como es común observar en estrellas de baja masa. Este descubrimiento ha sido realizado en la región de Cefeo, entorno a una proto estrella de unas 15 masas solares.

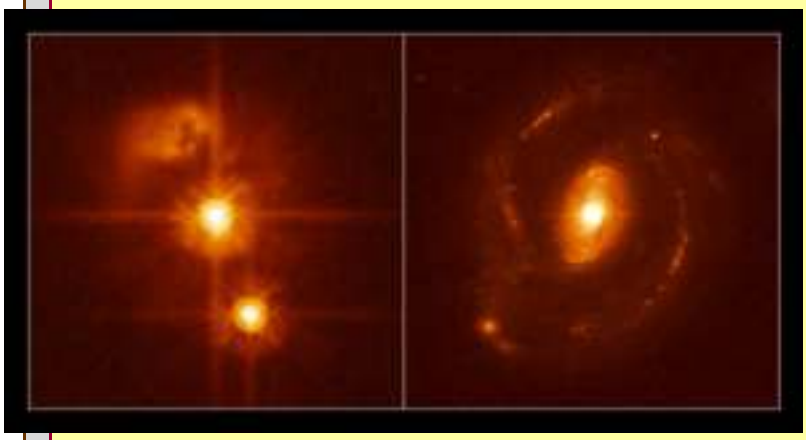
Hoy día todavía no se sabe con seguridad si las estrellas de alta masa se forman de la misma manera que las menos masivas. La importancia de este descubrimiento radica en que la detección de este sistema formado por un disco más chorros de gas es indicativo de que las estrellas de alta masa se forman de la misma manera que las de baja masa, como nuestro Sol.

El descubrimiento ha sido realizado utilizando el Submillimeter Array (SMA), que es un conjunto de radiotelescopios situados en la isla de Mauna Kea, Hawai.

Disco protoplanetario (contornos azules) asociado a chorros de gas perpendiculares al mismo (emisión en verde) en torno a la proto estrella Cefeo A HW2.

Cortesía de Nature.

AGUJERO NEGRO SUPERMASIVO SOLITARIO



Un equipo de astrónomos europeos ha utilizado el Telescopio Espacial Hubble y el Very Large Telescope (VLT) en Cerro Paranal para la detección de un agujero negro supermasivo que no está inmerso en una galaxia. Su nombre es HE0450-2958 y se encuentra a 5000 millones de años luz. Se habría formado tras una colisión entre una galaxia espiral "normal" y un objeto exótico que albergara un agujero negro muy masivo. Sin embargo, se ha detectado una pequeña nube de gas de unos 2500 años luz de anchura cerca del cuásar. Probablemente, esta es la materia que está alimentando al agujero negro supermasivo.

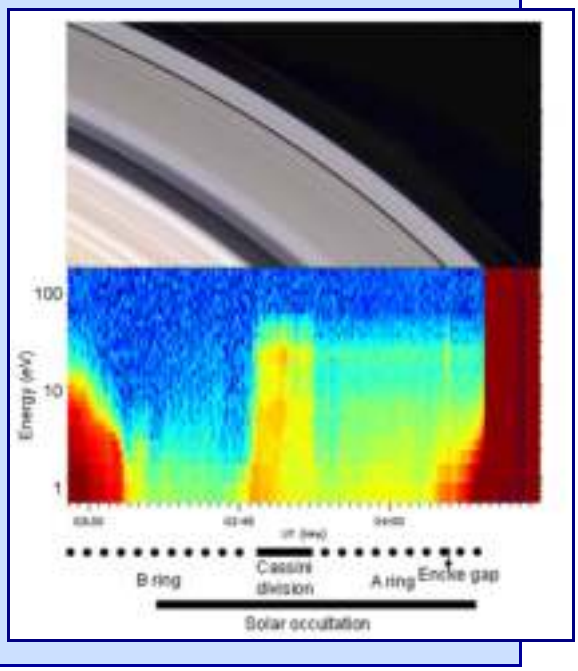
Una comparación entre un cuásar habitual (inmerso en una galaxia) y HE0450-2958. A la derecha se encuentra el cuásar HE1239-2426, que muestra la galaxia que lo rodea. A la izquierda, HE0450-2958, que como se aprecia, carece de galaxia que lo albergue.

Cortesía de ESA

Astronoticias

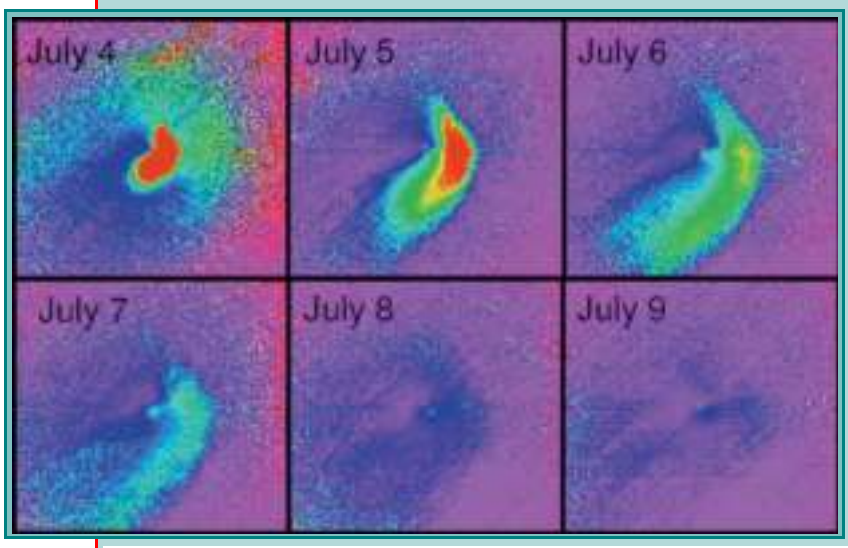
LOS ANILLOS DE SATURNO TIENEN SU PROPIA ATMÓSFERA

Los datos obtenidos de la nave Cassini indican que el sistema de anillos de Saturno tiene su propia atmósfera, separada de la del planeta. Durante el acercamiento de Cassini, sus instrumentos han determinado que su atmósfera está compuesta principalmente por oxígeno molecular. Es muy similar a las de Europa o Ganímedes (lunas de Júpiter).
Los anillos de Saturno están formados principalmente por hielo, así como pequeñas cantidades de polvo y material rocoso. Aunque tienen un diámetro de 250000 kilómetros, su espesor es de tan solo 1.5 kilómetros y su edad es de cientos de millones de años.
Las moléculas de agua son las primeras en desaparecer del anillo debido a la luz ultravioleta del Sol. Después se dividen en hidrógeno y oxígeno atómico por fotodisociación. El hidrógeno se pierde en el espacio, pero el oxígeno atómico y cualquier resto de agua que pudiera quedar se congelan debido a las bajas temperaturas, volviendo de nuevo al anillo. Esto provoca una concentración de moléculas de oxígeno en la superficie de los anillos, aunque el proceso por el que se forman no se conoce muy bien todavía.



Espectro procedente de Cassini indicando la existencia de atmósfera sobre los anillos.

RESULTADOS DE DEEP IMPACT



El 4 de julio tuvo lugar un encuentro entre la nave Deep Impact y el cometa 9P/Tempel 1. El objetivo era obtener información básica sobre el Sistema Solar en sus comienzos ya que los materiales que constituyen los cometas están entre los menos modificados desde que se formaron los planetas. Para el seguimiento del impacto se utilizaron 73 telescopios de 35 observatorios de todo el mundo. Del estudio de los datos obtenidos se ha podido concluir que la corteza (manto) exterior del núcleo cometario está compuesta básicamente por polvo muy fino (microscópico) y tiene varias decenas de metros de espesor. El hielo, componente principal de los cometas, está debajo de este manto. Los datos revelan que el impacto excavó la corteza, pero no penetró por debajo de este manto ni alcanzó el núcleo de hielo.

Imagen publicada en el artículo de la revista Science (Meet et al. 2005) donde se muestra la secuencia de imágenes del cometa Tempel 1 tomadas con el telescopio NOT después del impacto y procesadas de tal modo que se vea sólo la nube de polvo producida por el impacto de la nave y su evolución posterior. Los colores indican la cantidad relativa de polvo respecto a la que había antes del impacto, donde violeta quiere decir que había igual cantidad y rojo, más del doble. El norte está arriba y el este a la izquierda. La primera imagen fue tomada 16 horas después del impacto. La nube se expande hasta unos 11.800 km, lo que da una velocidad de expansión de 205 m/s. La secuencia de imágenes muestra claramente la evolución de la nube de polvo y como éste se disipó al cabo de cinco días.

Cortesía del IAC

LAEFF

Teléfonos y direcciones electrónicas

Para acceder al Laboratorio hay que marcar el 918131 (para llamadas desde dentro de España) o el 34-918131 (para llamadas desde otro país) antes de la extensión de teléfonos. Las direcciones electrónicas se componen añadiendo al código de usuario la terminación @laeff.esa.es.

Secretaría:161 / Fax:160
WWW:http://www.laeff.esa.es/

Doctores:

David Barrado Navascués	261	David.Barrado
Álvaro Giménez Cañete	155	Alvaro.Gimenez
Miguel Mas Hesse	196	Miguel.Mas-Hesse
Benjamín Montesinos Comino	195	Benjamin.Montesinos
Carmen Morales Durán	188	Carmen.Morales
Lourdes Sanz F. de Córdoba	193	Lourdes.Sanz
Enrique Solano Márquez	154	Enrique.Solano
Olga Suárez Fernández	163	Olga.Suarez
María Rosa Zapatero Osorio	309	Maria.Rosa.Zapatero
Marta Cueto Santamaría	264	Marta.Cueto

Colaboradores:

Beatriz González García	266	Beatriz.Gonzalez
Elena Jiménez Bailón	266	Elena.Jimenez
Bruno Merín Martín	194	Bruno.Merin
Luis M. Sarro Baro	138	Luis.Manuel.Sarro
Willem Wamsteker	193	Willem.Wamsteker

Postgraduados:

Amelia Bayo Arán	267	Amelia.Bayo
Carmen Blasco Fuertes	264	Maria.del.Carmen.Blasco
M. Dolores Caballero García	198	Maria.Dolores.Caballero
Itziar de Gregorio Monsalvo	194	Itziar.de.Gregorio
Albert Domingo Garau	266	Albert.Domingo
Raúl Gutiérrez Sánchez	260	Raul.Gutierrez
María Morales Calderón	163	Maria.Morales
Daniel Risquez Oneca	198	Daniel.Risquez
Carlos Rodrigo Blanco	260	Carlos.Rodrigo

Personal Administrativo:

Margie Guitart Martín	161	Margie.Guitart
Concha Prieto Alas	234	Concha.Prieto

Servicios Informáticos:

Alberto Azcueta Mendaña	194	Alberto.Azcueta
Jesús García Jiménez	263	Jesus.Garcia
Carlos Nunez-Barranco Fernández	155	Carlos.Nunez-Barranco
Sergio Suárez Carrasco	263	Sergio.Suarez

Direcciones postales

Servicios normales
Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental
Apartado 50.727
E-28080- Madrid. España
Servicios COURIER
Estación de Seguimiento de Satélites - ESA
Villafranca del Castillo. E-28691 -
Villanueva de la Cañada - Madrid - España

El Consejo de Redacción
no se responsabiliza del
contenido de los artículos.

Galería

Las supernovas son el resultado final de la evolución de estrellas mucho más masivas que nuestro Sol. Cuando en el núcleo de la estrella, después de muy pocos millones de años desde su nacimiento, se forman núcleos de hierro, que son los elementos más estables de la naturaleza, el paso siguiente es un colapso de toda la estructura de la estrella sobre el núcleo y la expulsión de una gran cantidad de materia al espacio, acompañada de un aumento espectacular en la luminosidad y de una lluvia de los exóticos neutrinos. Puesto que el medio interestelar alrededor de la supernova no está vacío, la materia expulsada por la estrella interacciona con el gas presente en aquél y produce espectáculos como el que se contempla en la imágen. El nombre de este remanente de supernova, observado con el *Hubble Space Telescope,* es **N 63A**

Cortesía de NASA, ESA, HEIC y el Hubble Heritage Team

Impresión: Imprenta Edigrafos
Depósito Legal: M-28147/2000