LAEFF Reporter

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

http://www.laeff.esa.es

MINISTERIO DE DEFENSA
INTA

Año VIII, núm. 32. Julio 2002

¿Influye el Sol en el cambio climático?

Hitos científicos del proyecto XMM-Newton

Descubierto un sistema planetario análogo al nuestro

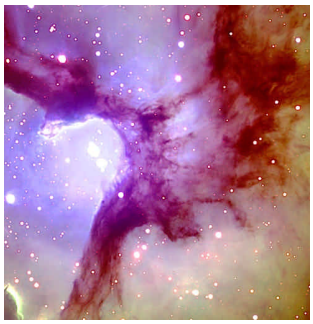
Explosiones de supernovas: posible origen de los GRBs

La geometría del universo temprano y el VSA

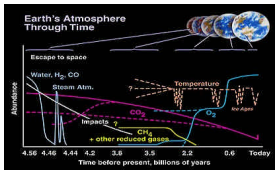
Un púlsar devora una estrella

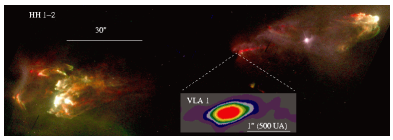
Discos y Jets en las fases extremas de la evolución de las estrellas de baja masa: retos futuros

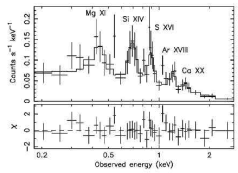
SUMARIO

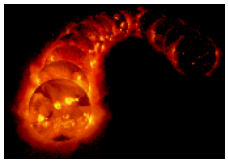


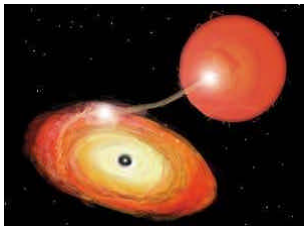
La imagen de la portada muestra las nubes de gas excitadas por la radiación de estrellas azules jóvenes y los canales de polvo interestelar oscuro en la Nebulosa Trífida, una región de formación estelar en la constelación de Sagitario. La Nebulosa Trífida, conocida también como M20, tiene una edad de aproximadamente 300.000 años y está situada a 5000 años luz de distancia. (Imagen obtenida con el telescopio Gemini Norte, EE.UU.).











Primera Plana — 3
¿Influye el Sol en el cambio climático?
Benjamín Montesinos Comino

La Tarima — 7
Discos y jets en las fases extremas de la evolución de las estrellas de baja masa: retos futuros
José María Torrelles, Luis Felipe Miranda y Guillém Anglada

Dossier — 11
Hitos científicos del proyecto XMM-Newton
Matteo Guainazzi

Apuntes — 14
Visión cósmisa 2020: el nuevo programa científico de la ESA.
J. Miguel Mas Hesse

Charlas — 15

Astronoticias — 16
- Descubierto un sistema planetario análogo al nuestro
- Un púlsar devora una estrella
- Explosiones de supernovas: posible origen de los GRBs
- La geometría del universo temprano y el VSA

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

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

Consejo de Redacción

David Barrado, Itziar de Gregorio, José Francisco Gómez, Elena Jiménez, Miguel Mas, Bruno Merín, Benjamín Montesinos, Concha Prieto.

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.

Primera Plana

¿Influye el Sol en el cambio climático?

Benjamín Montesinos Comino

El Sol, tal y como lo conocemos hoy, es distinto al Sol hace 4.500 millones de años, más grande, más caliente, más luminoso y con un período de rotación más largo.

¿Tiene y ha tenido el Sol influencia en los cambios climáticos que ha experimentado la Tierra desde su origen?

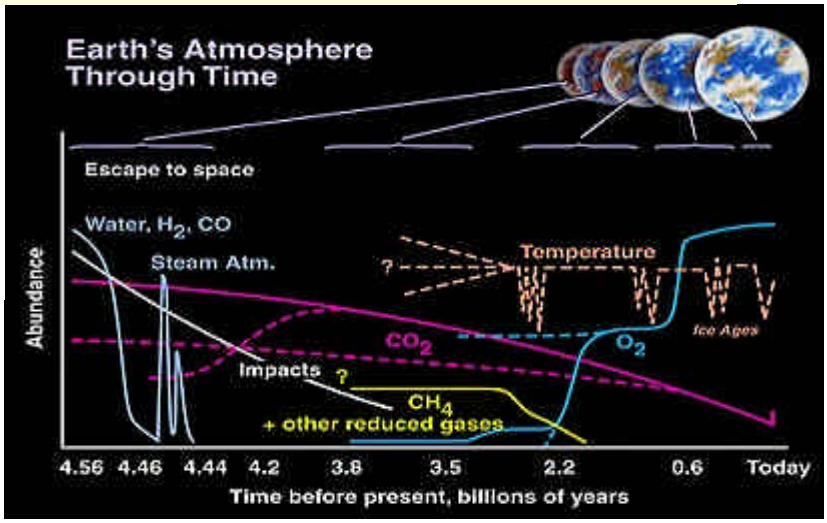


Figura 1.: La evolución de la composición de la atmósfera terrestre desde la formación del planeta a nuestros días (en el eje horizontal las unidades son miles de millones de años desde el presente).

En este artículo vamos a intentar dar una panorámica de lo que se conoce en la actualidad acerca de este tema, resaltando los problemas a los que los científicos se enfrentan a la hora de intentar responder a esta pregunta.

Un punto importante que ha de ser tenido en cuenta es la evolución del propio Sol desde su entrada en lo que los astrónomos denominan la *secuencia principal,* es decir, la época en la que, después de la fase de contracción de la nube de gas y polvo interestelar que dio origen a nuestra estrella, ésta comenzó a fusionar en su núcleo hidrógeno a un ritmo estable. En este punto de la evolución del Sol, que ocurrió hace aproximadamente 4.500 millones de años, su temperatura superficial era alrededor de 200 grados más baja, su radio un 89% del valor actual y por tanto su luminosidad total era alrededor de un 70% de la que recibimos en este momento.

Este hecho plantea un problema interesante, conocido como la *paradoja del Sol débil*: si se supone una composición estándar de gases de efecto invernadero para la atmósfera de la Tierra, los cálculos dicen que la superficie de la Tierra debería haber estado a una temperatura por debajo del punto de congelación del agua hasta hace 2.000 millones de años. Sin embargo los paleontólogos tienen muchas evidencias de que esto no es cierto y por tanto, hemos de atacar otro difícil problema: ¿cuál ha sido la evolución de la composición de la atmósfera de la Tierra? Cuanto más nos intentamos remontar en el tiempo más y más difícil es responder a esta pregunta ya que los restos geológicos y biológicos son más complejos de interpretar. La figura 1 muestra un gráfico con los últimos resultados acerca de la composición de la atmósfera de la Tierra. En el eje horizontal se representa la edad de la Tierra.

Otra característica del Sol primitivo que muchas veces se deja de lado es su periodo de rotación que en la actualidad es de alrededor de 26 días. Sin embargo, se sabe que hace 4.500 millones de años su velocidad de rotación era unas diez veces mayor. Los estudios de estrellas

similares al Sol nos han demostrado que cuanto más rápido rota una estrella mayor es la cantidad de energía que emite en longitudes de onda cortas, que corresponden a radiación de alta energía, es decir, en el ultravioleta y sobre todo, en rayos X. La influencia de esta radiación en las capas altas de la atmósfera no ha sido incluida en los modelos de calentamiento atmosférico de la Tierra primitiva, con su poder de ionizar átomos y de disociar moléculas en las capas más altas.

Dado que el espacio de que disponemos en este artículo es limitado, vamos a concentrarnos principalmente en los últimos mil años de la vida de la Tierra. Este periodo es extremadamente interesante porque, uniendo información de muy diversos campos, podemos reconstruir un retrato bastante fiel de lo que ha ocurrido en el clima de nuestro planeta en esa época y de cuáles han podido ser las causas.

Desde el año 1610, aproximadamente, disponemos de observaciones sistemáticas del número de manchas solares. El Sol presenta ciclos de actividad magnética que tienen una periodicidad media entre sus máximos de 11 años, aunque esta periodicidad no es estricta, ya que se conocen ciclos con duraciones de 9 y 13 años. Los máximos de actividad se caracterizan por la presencia de un gran número de manchas y regiones activas en la superficie del Sol, acompañadas por un aumento en la actividad magnética. En la figura 2 podemos ver un gráfico que muestra el número de manchas solares frente al tiempo desde 1610 hasta nuestros días.

Sin embargo, y por razones que los físicos solares aun no han llegado a explicar, el Sol ha tenido lo que se conoce como *grandes mínimos de actividad*, siendo el más llamativo el mínimo de Maunder, que ocurrió entre 1650 y 1710; durante este periodo se produjo una casi total ausencia de manchas. Existe otra época, ésta menos acusada, entre 1800 y 1820, conocida como mínimo de Dalton en la que, aunque se aprecia la existencia de ciclos, los números máximos de manchas son más pequeños que en ciclos anteriores y posteriores. Durante los últimos tres ciclos solares hemos sido capaces de medir la cantidad *total* de radiación solar, lo que se conoce como *irradiancia solar.* Sabemos que el Sol es más brillante en los máximos de actividad (curiosamente cuando el número de manchas solares, que son más frías y oscuras que la fotosfera circundante es mayor) que en los mínimos... pero sólo por un porcentaje mínimo, alrededor del 0.15%. Una reconstrucción del comportamiento de la irradiancia solar nos dice que la diferencia de energía que ha emitido el Sol en media en los pasados 20 años y la que emitía durante el mínimo de Maunder es de tan sólo un 0.24%.

¿Qué sabemos del clima en Europa en los siglos XVI y XVII? El siglo XVII es conocido como el siglo de oro el paisajismo holandés en pintura. Entre los muchos motivos que los pintores de los Países Bajos plasmaban en sus tablas figuran los canales

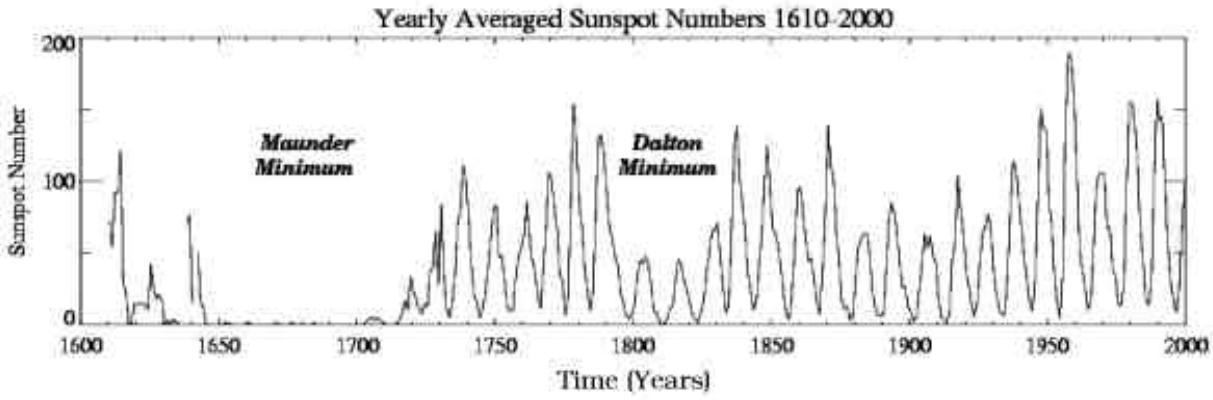


Figura 2.: Número de manchas solares frente al tiempo. Se aprecian los dos grandes mínimos, el de Maunder y el de Dalton.

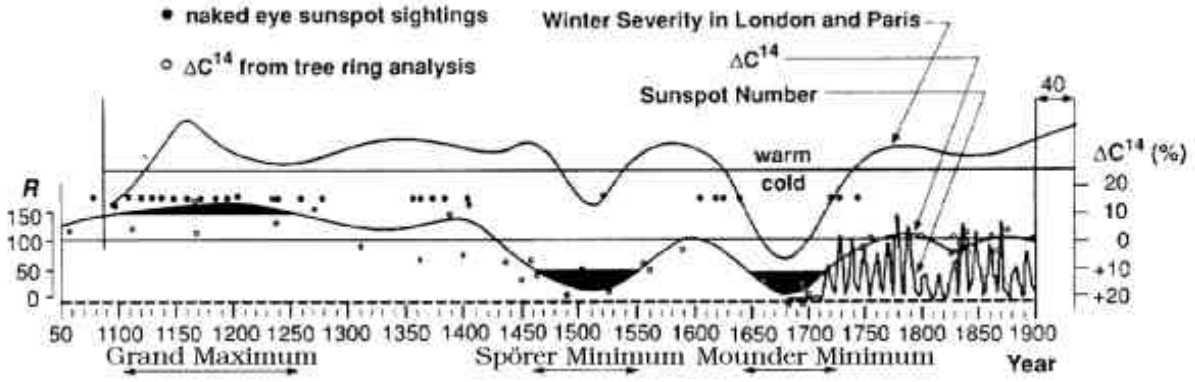


Figura 4.: Relación entre la actividad solar y la temperatura en el último milenio. La "pequeña glaciación" coincide con una época de baja actividad solar.

helados y la multitud de actividades y juegos que ahí se desarrollaban. En la figura 3 mostramos una acuarela de Hendrick Avercamp (1585-1634), uno de los mejores paisajistas holandeses. Este motivo repetitivo en los cuadros de la época, y el hecho de que las personas que en ellos aparecen estén equipadas para moverse en el hielo, nos indican que la congelación de los canales era un hecho muy frecuente... más que en la época actual donde esto sucede cada cuatro o cinco años.

Hagamos una pequeña digresión: en el segundo plano del cuadro se pueden ver a dos personas jugando con dos instrumentos muy parecidos a los actuales palos de golf. Según los documentos de la época, ese juego era llamado *colf* de modo que de acuerdo con algunas fuentes, parece que fueron los holandeses los inventores de este deporte.

Figura 3.: "Una escena en el hielo" (Hendrick Avercamp).

Existen otros registros históricos que permiten reconstruir el clima en esa época: se sabe que en ese siglo hubo muchas cosechas que se perdieron, mayor actividad de los glaciares, que las temperaturas en París y Londres eran realmente más bajas de lo normal (hay compilaciones de lo que los climatólogos llaman *índices de severidad* en estas ciudades) e incluso se achaca el cambio de la costumbre de beber vino a cerveza como debido a un descenso de las temperaturas que hacía inviable el cultivo de vides (ejemplo claro del cambio climático sobre la actividad económica).

Además de recurrir a estos registros históricos, hay formas de trazar la actividad solar para remontarse a épocas anteriores al conteo de manchas. Existe una estrecha relación entre la cantidad de C^{14} que se forma en la parte alta de la atmósfera y la

actividad solar. Los rayos cósmicos galácticos son los responsables de la formación de C^{14}. Cuando la actividad solar es mayor, es decir, en épocas cercanas a los máximos de manchas, el campo magnético de la Tierra está más distorsionado y es más difícil para los rayos cósmicos, que son partículas cargadas, penetrar en la atmósfera de la Tierra. En consecuencia, se forma *menos* C^{14} cerca de los máximos de actividad magnética y *más* en los mínimos. Los paleoclimatólogos acuden a los anillos de los árboles para medir la cantidad de este isótopo del carbono y han podido trazar la actividad solar durante el pasado milenio.

En la figura 4 mostramos un gráfico de lo que sabemos acerca de la actividad solar y del clima en ese periodo. Por un lado, desde el centro a la derecha del diagrama se puede ver el número de manchas solares registrado a través de observaciones directas. También se muestran con puntos y con una curva suavizada, los niveles de actividad medidos a partir del exceso o defecto de C^{14}, y otra curva nos muestra la variación de los índices de severidad del clima en París y Londres. Además de los mínimos de Maunder y de Dalton, puede apreciarse la presencia de otro mínimo, el de Spörer, entre 1460 y 1550 y un máximo entre 1100 y 1250. Los mínimos en los niveles de actividad corresponden a épocas en las que las temperaturas fueron inferiores a la media, y de hecho, el periodo comprendido entre aproximadamente 1460 y 1710 se conoce como la *pequeña glaciación*.

La pregunta es: dado que en esa época aun no había comenzado la Revolución Industrial y por tanto, no existía ningún tipo de contaminación atmosférica humana, ¿qué pudo causar esta pequeña glaciación? La diferencia del 0.24% que mencionábamos más arriba en la irradiancia solar entre ese periodo y el actual tan sólo sería capaz de predecir un descenso de 0.1 grados en la temperatura global, según los últimos modelos, de modo que hay que buscar la explicación en alguna otra causa. Una de las teorías que merece ser explorada es la diferencia en la cantidad de rayos X emitidos durante los máximos y los mínimos de actividad: el cociente entre ambos valores puede alcanzar un valor de 500. En la figura 5 se muestran dos imágenes del Sol en rayos X obtenidas en un mínimo y en un máximo de actividad. El efecto de esta radiación de alta energía en las partes altas de la atmósfera y su ausencia durante los grandes mínimos puede ser la causa de los descensos acusados de temperatura.

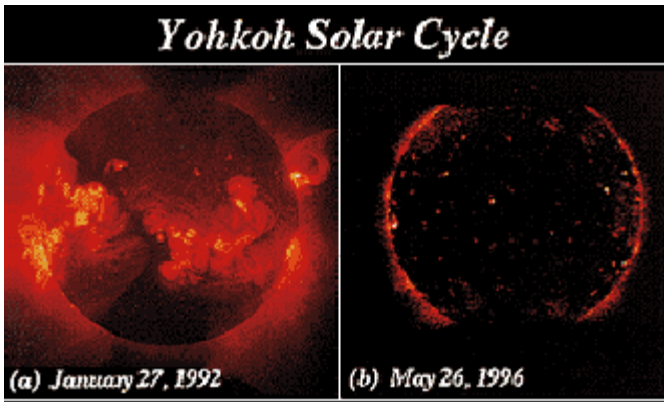


Figura 5.: El Sol visto por el satélite japonés Yohkoh en rayos X durante un máximo y un mínimo de actividad.

En la actualidad se habla mucho del *calentamiento global*. Desde los tiempos de la Revolución Industrial, la influencia humana sobre la atmósfera ha sido indudable: se han ido depositando paulatinamente cantidades variables de gases de efecto invernadero, como por ejemplo CO_2, y el resultado, parece ser -aunque contrariamente a lo que se piensa no es aun concluyente- es un ligero aumento de la temperatura media de la superficie terrestre. Las medidas que en los próximos años realizarán satélites como el recién lanzado *Envisat,* proporcionarán más datos que permitirán atacar este problema con más fiabilidad. Lo que es indudable es que los efectos del Sol en el clima actual son más difíciles de discernir dado que a esa potencial influencia se superponen todos los factores de origen humano.

La Tarima

Discos y *jets* en las fases extremas de la evolución de las estrellas de baja masa: retos futuros

José M. Torrelles (IEEC/CSIC), *Luis F. Miranda y Guillem Anglada* (IAA,CSIC)

Actualmente sabemos que en el proceso de formación de las estrellas con masa parecida a la del Sol desempeñan un papel muy importante los discos de acrecimiento y los chorros supersónicos.

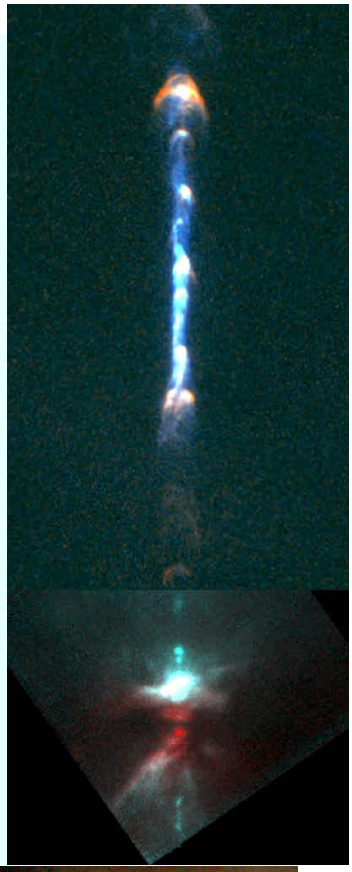


Figura 1a: Imagen óptica/infrarroja del jet de HH 111 (Reipurth y colaboradores). El *jet* tiene una longitud de 43'' (20.000 UA). En la parte inferior de la imagen se aprecia una ausencia de emisión ocasionada por la gran extinción que produce la presencia del disco de gas y polvo alrededor de la fuente de energía del *jet*.

En el esquema teórico generalmente aceptado, este proceso comienza con la formación de un objeto central (*protoestrella*) a causa del colapso gravitatorio de condensaciones de gas molecular y polvo. Debido a la presencia de un cierto momento angular inicial en la nube molecular y a su conservación en el proceso de colapso, se crea un disco en rotación en torno al objeto central, de modo que el material no cae directamente sobre la protoestrella sino a través del disco de acrecimiento, el cual presuntamente dará lugar a la formación de un sistema planetario (*disco proto-*

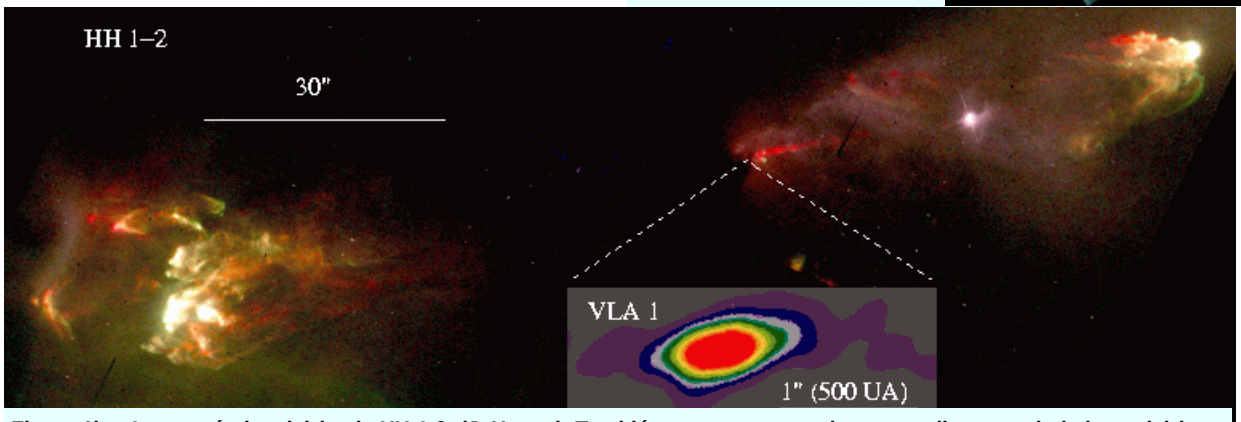


Figura 1b.: Imagen óptica del *jet* de HH 1-2 (J. Hester). También se muestra una imagen radio trazando la base del *jet* a una escala de unos centenares de UA (Rodríguez y colaboradores). La fuente de energía, denominada VLA 1, se encontraría en el centro del radiojet y se cree que está rodeada por un disco protoplanetario, no detectado todavía.

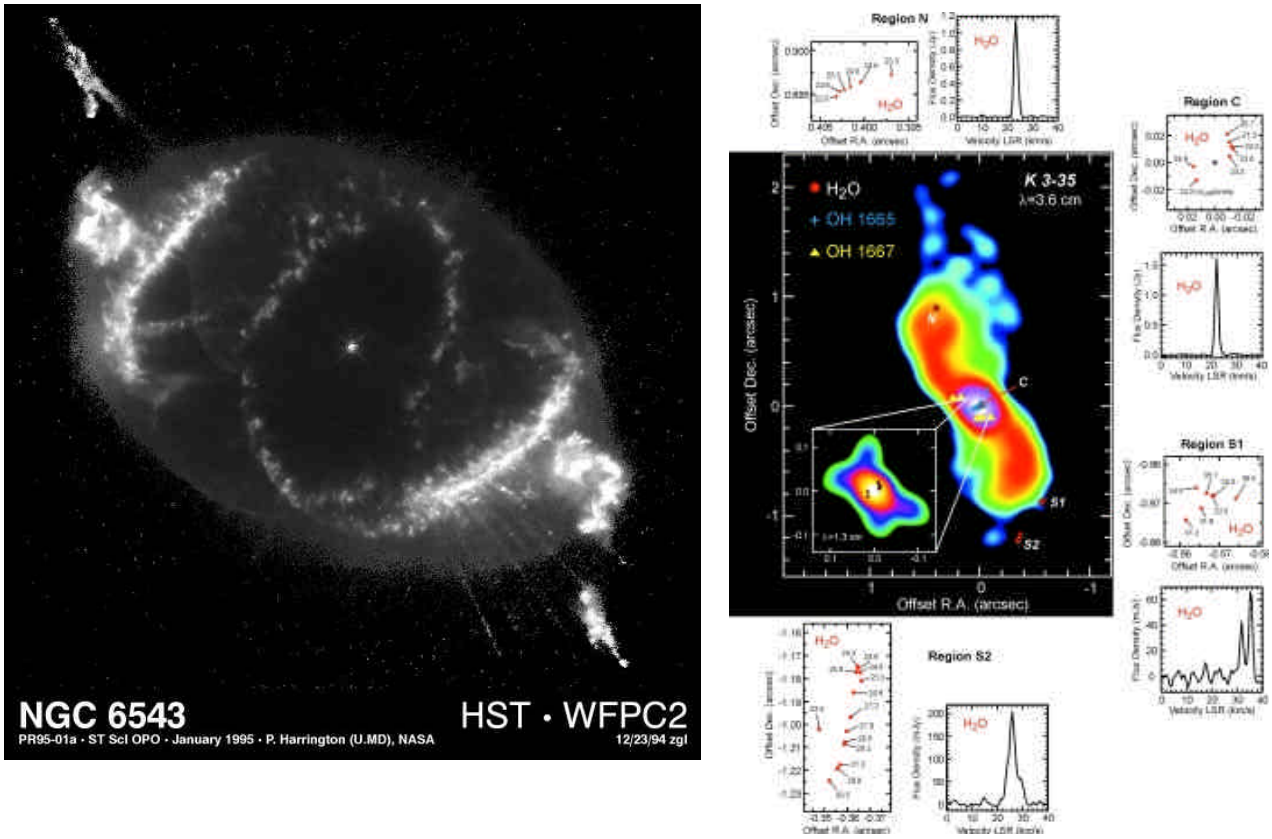


Figura 2.: (a;izda.) Imagen óptica de la nebulosa planetaria NGC6543 , mostrando la presencia de *jets* precesantes. (b;dcha.) Imágenes radio de la nebulosa planetaria K3-35 que muestran su estructura bipolar, con las partes más intensas de la misma trazando un jet bipolar precesante. Los paneles adjuntos muestran la distribución y cinemática de los máseres de agua en las cuatro zonas de la nebulosa donde han sido detectados (Miranda y colaboradores).

planetario). Una fracción muy importante del material que cae sobre el disco de acrecimiento se acelera magnéticamente y se expulsa en la dirección del eje de rotación del disco, dando origen a un viento bipolar supersónico colimado (*jet*) moviéndose con velocidades de centenares de kilómetros por segundo. Estos *jets* se manifiestan tanto en su componente ionizada (en longitudes de onda radio, infrarrojo y óptico) como en su componente molecular (en longitudes de onda radio e infrarrojo, (figura 1). Además, el material expulsado se lleva parte del momento angular del sistema protoestrella-disco, impidiendo que éste gire demasiado deprisa y que se destruya, haciendo posible con ello que el objeto protoestelar siga acumulando materia del disco hasta alcanzar la masa apropiada para convertirse en una estrella.

En el otro extremo del proceso de evolución de las estrellas con masa parecida a la del Sol, una vez consumido el hidrógeno de su núcleo, las estrellas sufren una espectacular transformación, aumentando considerablemente su tamaño y convirtiéndose en gigantes rojas. Estas estrellas expulsan su atmósfera formando una envoltura alrededor del núcleo estelar cada vez más caliente. Cuando la temperatura del objeto central alcanza unos 30.000 grados, el campo de radiación ultravioleta es tan intenso que ioniza la envoltura, iluminándola y dando origen a una Nebulosa Planetaria (NP). Como ha sucedido en la investigación del campo de la formación estelar, el concepto que teníamos sobre el proceso de transformación en NP ha cambiado también radicalmente

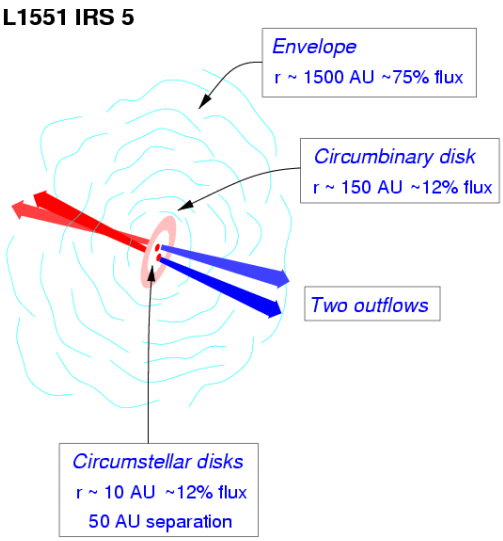


Figura 3.: Ilustración, mostrando las diferentes componentes que se han observado en el sistema binario joven L1551-IRS5 (autor del dibujo:Oliver Ray).

en los últimos años con el descubrimiento de que la gran mayoría de las NPs no son esféricas y, además, con la detección inesperada de discos y *jets* (frecuentemente precesantes), los cuales parecen ser también inherentes al propio proceso de formación de las NPs (figura 2). El origen de estas nuevas estructuras descubiertas en las NPs se ha intentado explicar mediante varios modelos teóricos, entre los que destacan el modelo de una estrella binaria y el modelo de vientos estelares magnetizados.

Vemos, pues, que tanto en las etapas cercanas a su nacimiento como a su muerte, las estrellas con masa parecida a la del Sol interaccionan muy intensamente con el medio circundante, mostrando un asombroso paralelismo en algunos de los fenómenos observados. En ambas etapas parece ser que la conexión "disco-*jet*-objeto central", junto con la presencia de campos magnéticos, es el "motor" causante de estos fenómenos. Sin embargo, más allá de estos esquemas básicos, queda mucho aún por definir. En lo que sigue de este artículo resaltaremos algunos de los retos que la investigación en estos campos tiene planteados, y que creemos pueden superarse en un futuro muy cercano.

Por ejemplo, en las etapas tempranas de la evolución estelar faltaría evaluar, tanto desde el punto de vista observacional como teórico, cómo se modificaría, en el caso de la formación de sistemas binarios y múltiples, el escenario básico para estrellas aisladas descrito anteriormente. Es decir, necesitamos aún conocer cómo se forman esos sistemas y cómo evolucionan. Más concretamente, ¿se forma en cada una de las protoestrellas de los sistemas múltiples un sistema "disco-*jet*", o sólo se forma en una de ellas? Puesto que la mayoría de los sistemas estelares son múltiples, el profundizar en esta investigación es esencial para poder caracterizar cuán frecuente es la incidencia de discos y, por tanto, de sistemas planetarios, en otras estrellas parecidas a nuestro Sol. Este es un campo del cual se esperan grandes avances en la próxima década. De hecho, contamos ya con algunos resultados observacionales muy prometedores, como en el caso del sistema binario joven L1551-IRS5, donde cada una de las dos protoestrellas, que están separadas entre sí 50 Unidades Astronómicas (UA), está rodeada por un disco protoplanetario de 10 UA de radio (Rodríguez y colaboradores). Estos dos discos protoplanetarios "*gemelos*", a pesar de su pequeño tamaño, tienen la suficiente cantidad de materia (un 5% de la masa del Sol) como para que en cada uno de ellos pueda llegar a formarse un sistema planetario parecido al nuestro. Además, en este mismo sistema binario de L1551-IRS5 se han descubierto dos jets cada uno muy probablemente expulsado desde una estrella diferente (figura 3). Por el contrario, en el caso del sistema binario joven asociado con SVS13, en la región de formación estelar NGC1333, sólo una de las dos estrellas, separadas por 65 UA, parece tener a su alrededor un disco protoplanetario (Anglada y colaboradores). Lo que aún desconocemos es si esto se debe a que una de las estrellas se encuentra en un estado evolutivo más avanzado, habiendo ya prácticamente dispersado su disco circunestelar original, o bien si nunca llegó a desarrollarlo.

Las detecciones de sistemas binarios con discos, reseñadas en el párrafo anterior se han realizado con el radiointerferómetro *Very Large Array* (VLA), mediante observaciones de la emisión en el continuo a 7 mm y

a 3.6 cm, alcanzándose una resolución angular de unas décimas de segundo de arco. Estas observaciones han resultado ser una excelente primera aproximación para abordar el problema de cómo se modifica el escenario de formación estelar básico de estrellas aisladas, para el caso de sistemas múltiples. Este tipo de estudios necesitan, sin embargo, extenderse a otras regiones de formación estelar y complementarse mediante observaciones en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas (mm/submm), tanto de continuo como de línea espectral (líneas de recombinación y moleculares), con gran resolución angular (mejor que unas décimas de segundo de arco) y sensibilidad. Es en este rango de longitudes de onda (mm/submm) donde se espera que la emisión del polvo y del gas molecular, principales constituyentes de las regiones de formación estelar, sea más importante. Sólo con este nuevo tipo de observaciones podremos caracterizar adecuadamente las propiedades físicas de las componentes de los sistemas múltiples jóvenes, estudiando la cinemática del gas (tanto en discos como en *jets*), determinando el perfil de temperatura de las diferentes componentes, la composición química del gas, la relación polvo/gas, y además conocer el estado evolutivo de cada una de las estrellas del sistema múltiple. Sin lugar a dudas, los nuevos interferómetros que actualmente se están desarrollando en ese rango de longitudes de onda, como el *Submillimeter Array* (SMA) y el *Atacama Large Millimeter Array* (ALMA), producirán avances muy significativos en el campo de la formación estelar y de sistemas planetarios.

En lo que hace referencia a la fase de NP, y más en concreto acerca del origen de las expulsiones de *jets* precesantes, un punto clave es la determinación de la intensidad y estructura del campo magnético a una escala de cientos de UA de la estrella, así como el establecimiento del papel que puedan jugar posibles compañeras binarias. Como en el caso de los objetos jóvenes, existen también en este campo resultados prometedores que indican que este reto es superable. Por ejemplo, muy recientemente, una serie de observaciones de máseres en la NP K3-35, realizadas con el VLA con resolución angular de décimas de segundo de arco, han permitido, por primera vez, establecer la presencia de moléculas de agua en una nebulosa planetaria. La emisión máser de agua ha revelado que dichas moléculas se encuentran distribuidas en un disco magnetizado de 85 UA de radio y, además, también se encuentran en los extremos de los lóbulos de los *jets* bipolares de la NP, a una distancia de 5000 UA de la estrella (ver figura 2b). El disco magnetizado, con una intensidad del campo magnético del orden del miligauss, obtenida mediante mediciones de polarización de las líneas de emisión máser de la molécula de OH, está situado en el plano ecuatorial de la nebulosa, orientado perpendicularmente a los *jets* bipolares, tal y como predicen los modelos de colimación magnética. Este tipo de observaciones con el VLA abre una vía muy novedosa, todavía no explotada en otras NPs, para estudiar las primeras etapas de la formación de estos objetos, permitiendo observar con gran resolución angular las expulsiones bipolares y simultáneamente medir el campo magnético cerca de su origen. Falta aún estudiar el papel que juegan las posibles compañeras de sistemas binarios en la formación y precesión de los *jets*. En este sentido, si bien existen algunos métodos indirectos con los cuales se ha podido inferir la presencia de estrellas centrales binarias en NP jóvenes, una caracterización de la presencia de las mismas pasa necesariamente por su detección directa. Es en este aspecto donde los nuevos interferómetros SMA y ALMA jugarán también un papel muy relevante, permitiendo con ellos observar las primeras etapas de la transformación de las estrellas en NPs. Con esos interferómetros podremos estudiar, tanto la distribución y cinemática del gas y polvo alrededor del sistema, como la propia interacción del sistema central con ese gas circundante, lo cual será un elemento clave para revelar el funcionamiento del "motor" central.

Agradecimientos

Quisieramos agradecer profundamente a Patricia Smiley, del departamento de artes gráficas de NRAO, su ayuda en la preparación de la figura de K3-35 (figura 2b).

Dossier

Hitos científicos del proyecto XMM-Newton

Matteo Guainazzi
XMM-Newton Science Operation Centre (Villafranca. ESA)

El observatorio XMM-Newton lleva en funcionamiento dos años y medio. En ese tiempo se han obtenido nuevos resultados científicos que, a menudo, han abierto nuevas -e inesperadas- ventanas a nuestro conocimiento de los procesos cósmicos de altas energías.

Hasta junio de 2002, se han observado con éxito más de 1000 objetos, de ellos 16 han sido fenómenos que por su naturaleza no pueden ser predichos (ToO en su abreviatura en inglés, *Target of Opportunity*). Se han publicado 136 artículos en revistas con árbitro, y el ritmo de publicaciones crece de forma constante. Con la apertura del archivo científico de *XMM-Newton* el 15 de abril de 2002 (http://xmm.vilspa.esa.es/xsa), una gran cantidad de datos están ahora mismo disponibles para el uso público de la comunidad astrofísica.

Uno de los principales objetivos del proyecto *XMM-Newton* es la explotación de su área colectora, sin precedentes hasta el momento, en rayos X duros (energía del fotón > 2 keV), para descubrir nuevas fuentes en rayos X. En diez años de operaciones, se espera descubrir de 500000 a 1000000 nuevas fuentes en rayos X. En la mayoría de los casos, no es posible una identificación directa de los objetos simplemente a partir de sus propiedades en rayos X. Un programa de observación en el rango óptico (XID) coordinado por el *XMM-Newton Survey Science Centre* está en marcha, con el objetivo de realizar la identificación espectroscópica de alrededor de un 10% de las nuevas fuentes descubiertas.

Los primeros resultados del programa AXIS ("*An XMM-Newton International Survey*")-el soporte principal de XID, con 85 noches de observación en La Palma- muestran que la fracción de fuentes identificadas es muy alta (93%) con una mayoría de núcleos de galaxias activas (AGN en su abreviatura del inglés, *Active Galactic Nuclei*), en una proporción 25/27. El cociente del número de AGNs con líneas anchas respecto al de AGNs con líneas estrechas es de alrededor de 3:1, típico para búsquedas en rayos X duros, y consistente con las predicciones de los modelos recientes de síntesis de poblaciones para el fondo de radiación en rayos X. Estos modelos han sido corroborados muy firmemente por los primeros resultados de las observaciones profundas de Chandra y *XMM-Newton*.

Probablemente, el hallazgo más notable de las primeras observaciones AXIS es que el 10% de las fuentes identificadas son cuasares con líneas de absorción anchas (BAL en su abreviatura en inglés, *Broad Absorption Lines*). Los espectros en rayos X de esos BALs no muestran evidencias de absorción fotoeléctrica, lo que está en aparente contradicción con las observaciones de *ASCA* y *Chandra* de la misma clase de objetos. El programa AXIS quizás pueda dar respuesta a la pregunta de si este resultado muestra una clase nueva de BALs con propiedades en rayos X poco usuales. La búsqueda a latitudes galácticas altas continúa y alrededor de 250 nuevas fuentes en rayos X han sido identificadas espectroscópicamente.

La combinación de un gran área colectora y del poder de resolución en la banda de energías de 0.3-2.0 keV ($E/\Delta E$=100-500) permite investigar las propiedades de algunos AGNs con un detalle no logrado hasta el presente. MGC-6-30-15 es la primera galaxia Seyfert 1 en que se ha observado una línea de emisión en rayos X con un perfil ensanchado y asimétrico, consistente con las predicciones de que los fotones de la línea son emitidos por un disco de acrecimiento relativista iluminado por rayos X en el potencial gravitatorio de un agujero negro supermasivo. La observación de *XMM-Newton*, además de confirmar la existencia de la línea de hierro Kα, ha permitido medir un perfil de emisividad radial más escarpado que el que predicen los modelos estándar de discos de acrecimiento. Se ha sugerido que el escenario más probable para lograr una fuente tan poderosa y concentrada es la extracción magnética de la energía de rotación del agujero negro, un proceso

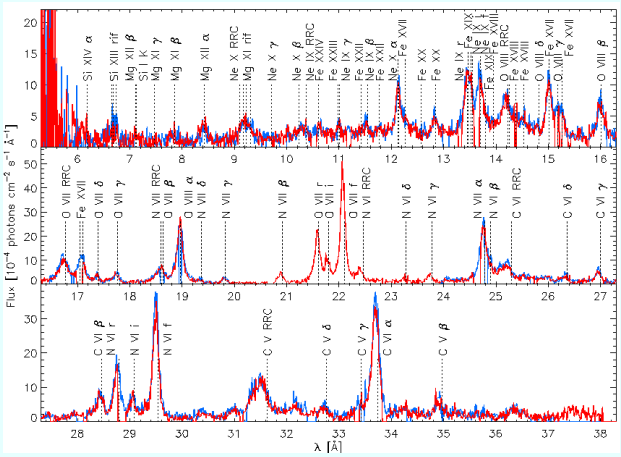


Figura 1.: Espectros de NGC1068 obtenidos con los instrumentos RGS1 (rojo) y RGS2 (azul) de *XMM-Newton*. Se han etiquetado las líneas del orden principal de los iones con estructuras electrónicas similares a H y He y el continuo de recombinación (RRC, *Radiative Recombination Continuum*).

predicho teóricamente hace 25 años.

Es interesante apuntar que la misma fenomenología se ha detectado en las observaciones de *XMM-Newton* de XTE J1650-500, un candidato a agujero negro galáctico, lo que sugiere que una predicción fundamental de la relatividad general podría ser confirmada en un rango de masas para el agujero negro de 6 órdenes de magnitud.

Esta no es, sin embargo, la única explicación posible de las características espectrales observadas en MCG-6-30-15. Un escenario alternativo sugiere que la fuente de rayos X está situada en el eje de simetría del agujero negro, a una altura de tres radios gravitatorios, y es capaz de producir la escarpada ley de emisividad mostrada por los datos observacionales. Mientras que las observaciones de AGNs no absorbidos nos permite investigar los procesos físicos de las regiones internas más próximas al agujero negro, las observaciones en alta resolución en rayos X de AGNs absorbidos (es decir, galaxias Seyfert 2) nos ofrece la posibilidad de estudiar la naturaleza del gas que rodea el núcleo. El primer espectro en rayos X blandos de la conocida y muy estudiada galaxia Seyfert 2 NGC 1068 con el *XMM-Newton Reflection Grating Spectrometer* (RGS) está dominado por un bosque de lineas de emisión de iones con la misma estructura electrónica que H y He, iones con bajo número atómico (desde C a Si) e iones Fe (capa L) (ver figura 1). El espectro observado puede ser descrito por un modelo donde un cono de plasma es irradiado por el continuo del AGN y emite a través de cascadas radiativas de recombinación que siguen a la fotoionización y de decaimientos radiativos que siguen a la fotoexcitación. La observación de grandes conos de ionización (del orden de 500 pc) en las imágenes en alta resolución de este objeto obtenidas por *Chandra*, sugiere que la materia absorbente fluye hacia el exterior.

Las galaxias no activas, donde la emisión de la región central no está dominada por la contribución abrumadora del acrecimiento sobre un agujero negro supermasivo, nos permite investigar la población de binarias de rayos X, candidatos a agujeros negros, variables cataclísmicas y restos de supernova en la galaxia. *XMM-Newton* ha estudiado la galaxia espiral más cercana a la Via Láctea, Andrómeda (M31). Se han detectado 116 fuentes con brillo por encima del límite de detección de $6x10^{35}$ erg/s. Al menos el 25% de las más brillantes mostraron variabilidad entre dos observaciones realizadas con un intervalo de seis meses. Entre las fuentes variables más interesantes está un nuevo objeto muy luminoso con episodios de brillo y quiescencia, con propiedades similares a las de las binarias de rayos X galácticas que contienen agujeros negros, y una fuente de rayos X “superblandos” (poco energéticos) con un periodo de 865 s, que probablemente es una enana blanca magnética girando a gran velocidad, y que podría ser identificada como una nova clásica o simbiótica.

En el área de las fuentes transitorias, los estallidos de rayos gamma (GRB en la abreviatura inglesa de *Gamma Ray Burst*) son sin duda los más ex-

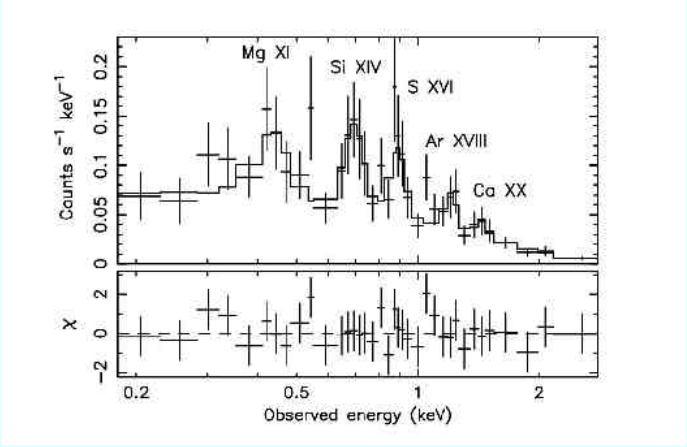


Figura 2.: Espectro tomado con el instrumento EPIC-pn a bordo de *XMM-Newton*, de los primeros 5 ks de la contrapartida en rayos X de GRB011211. El gráfico superior muestra el espectro observado, y el inferior los residuos con respecto al modelo en unidades de desviaciones estándar. Se han etiquetado las principales líneas de emisión.

traños y fascinantes. Para comprender el mecanismo responsable de esos fenómenos –las explosiones más potentes en el Universo- es crucial obtener una observación rápida de la emisión en rayos X que sucede inmediatamente después del estallido gamma. Desde el comienzo de la misión, ha sido posible apuntar *XMM-Newton* a un objeto de oportunidad en menos de cuatro horas a partir de su descubrimiento. El resultado de uno de esos rápidos apuntados, como reacción a una alerta, fue la obtención del espectro de la contrapartida en rayos X de GRB011211. El espectro de los primeros 5 ks de la observación, reveló la presencia de la transición Kα de iones de Mg, Si, S, Ar y Ca en altos estados de ionización (ver figura 2). Las líneas de emisión están desplazadas al azul aproximadamente ~0.1*c* con respecto a la velocidad de la galaxia que alberga el GRB (a z=2.141), lo cual implica un radio estimado para la capa emisora de alrededor de 100 UA, lo que equivale a una diferencia de cuatro días entre una posible explosión de supernova y el estallido gamma. Todo ello, unido a la baja abundancia de Fe deducida a partir de la ausencia de líneas de emisión de este elemento, permite descartar la coalescencia de dos estrellas de neutrones como el fenómeno progenitor de GRB011211. La hipótesis más aceptada es que el GRB se originó a partir de la explosión de una supernova, causada por el colapso de una estrella masiva. Este escenario está además reafirmado por la relación existente entre GRBs de larga duración (unos pocos cientos de segundos) y las regiones de formación estelar.

En el extremo opuesto del ciclo de la vida de las estrellas, *XMM-Newton* ha detectado, por primera vez, la emisión X asociada con un chorro protoestelar, emergiendo de la protoestrella L1551 IRS5. En este sistema, el objeto protoestelar aparece muy absorbido, lo cual hace posible la observación directa de la emisión del chorro en altas energías. El espectro es consistente con el de un plasma térmico a una temperatura de ~0.5 MK, que puede existir en un frente de choque producido por la interacción entre el chorro y el medio circunestelar. La luminosidad X del chorro es ~3x10^{29} erg/s. Esto implica que una fracción significativa de la luminosidad asociada con objetos estelares jóvenes o discos de acrecimiento puede ser emitida por choques en los chorros, en el caso en que estructuras de este tipo, con partículas de altas energías, sean fenómenos comunes en la formación estelar.

Para el segundo ciclo el *Science Operation Centre* (SOC) de *XMM-Newton* ha recibido un total de 870 propuestas, enviadas por 607 investigadores principales de 23 países, que solicitan alrededor de 113 Ms de tiempo de observación. Esto supone nueve veces el tiempo disponible para observaciones en 2003. Si se tiene en cuenta la nacionalidad de todos los coinvestigadores el número de paises crece hasta 36. Estas cifras demuestran el fuerte y contínuo interés de la comunidad astrofísica internacional en *XMM-Newton*. Es fácil de prever que en los próximos dos años se producirán nuevos y estimulantes descubrimientos, periodo para el cual *XMM-Newton* tiene financiación garantizada por la Agencia Espacial Europea.

Apuntes

Visión cósmica 2020: el nuevo programa científico de la ESA

José M. Mas Hesse

El pasado mes de mayo el Comité de Política Científica de la Agencia Espacial Europea aprobó el nuevo Programa Científico para los próximos 10 años. La redefinición del Programa Científico se había convertido en una necesidad, tras la aprobación por el Consejo Ministerial de la ESA celebrado el pasado mes de Noviembre de un presupuesto que no permitía cubrir el programa previamente establecido. Durante los últimos meses la ESA ha trabajado estrechamente con los equipos científicos y la industria para desarrollar un nuevo sistema de desarrollo que permitiera mantener el nivel del Programa Científico, a un coste sensiblemente inferior. De esta manera se ha creado el concepto de "Grupo de Misiones", que engloba a un conjunto de misiones desarrolladas en paralelo y que comparten plataformas, sistemas e incluso los grupos de ingeniería. Este desarrollo en paralelo, reutilizando *hardware* y tecnologías ya disponibles, permite abaratar sensiblemente las misiones, si bien crea nuevas limitaciones. En efecto, al unir de alguna manera el desarrollo de distintas misiones, los problemas de una de las misiones del grupo pueden afectar al resto. Por otra parte, el desarrollo conjunto de varias misiones compartiendo equipos y plataformas dota de una cierta flexibilidad al programa, ya que si una de ellas se retrasa, se puede adelantar el lanzamiento de otra, de forma que no se incurre en los sobrecostes industriales asociados a los retrasos.

De acuerdo con esta filosofía, los grupos de misiones que se han aprobado para los próximos años son los siguientes:

- *Herschel* + *Planck* + *Eddington*: *Eddington*, que hasta ahora se encontraba en "reserva", se incluye dentro del grupo de *Herschel* + *Planck*, compartiendo plataforma, lanzador, y probablemente operaciones. Estas tres misiones están diseñadas para operar desde una órbita próxima al punto de Lagrange L2, y se espera sean lanzadas entre 2007 y 2008.
- *GAIA*, prevista para ser lanzada antes del 2012, podría compartir también la misma plataforma del grupo anterior.
- *Beppi Colombo* + *Solar Orbiter*: estas dos misiones también se han fundido en una, con lanzamientos entre 2011 y 2012. Ambas comparten tecnologías, tanto para la inserción en órbitas próximas al Sol, como en todo lo relacionado con el control térmico en condiciones extremas.

El programa se complementa con otras misiones o participaciones de menor entidad:

- Una posible misión de exploración del Sistema Solar. En el momento de escribir estas líneas ESA, aún no ha decidido si continuar con la misión Venus Express, que debería ser lanzada en 2005, o participar en una nueva misión de exploración del Sistema Solar, todavía por definir.
- La participación en la misión *STEP*, si ésta es finalmente aprobada por la NASA.
- La misión *SMART-2*, destinada a demostrar la tecnología requerida para *LISA y Darwin*, con un lanzamiento previsto para 2006.
- La contribución al *New Generation Space Telescope*, con un instrumento completo y sistemas adicionales, prevista para el 2010.
- La participación en *LISA*, detector de ondas gravitacionales, en colaboración con NASA, hacia el 2011.

En paralelo con estos desarrollos, ESA ha decidido participar en cierta medida en las misiones que se desarrollen bajo responsabilidad de los respectivos países de la ESA, aportando su experiencia y, en ocasiones y previo acuerdo, algunos elementos de las mismas. El nuevo programa, heredero de los anteriores Horizonte 2000 y Horizonte 2000+, ha recibido el nombre de "Visión Cósmica 2020", que sugiere la intención de los países europeos de extender la capacidad de exploración de nuestro Universo durante las próximas décadas. Aunque de momento tan sólo se han aprobado las misiones que serán lanzadas antes del 2012, ya han comenzado los trabajos para definir las misiones de la próxima década. Esperemos que el nuevo programa sea tan exitoso como el anterior y que la participación de los equipos españoles en el mismo se consolide en una práctica habitual y de calidad.

Charlas

Benjamín Montesinos Comino

Destruction of galaxies in the Galactic Halo: hints for the formation of the Milky Way
David Martínez Delgado
Instituto de Astrofísica de Canarias

Young brown dwarfs and planetary-mass objects in Orion
María Rosa Zapatero Osorio
LAEFF

A new generation of synthetic models multiwavelength and statistics
Miguel Cerviño Saavedra
Instituto de Astrofísica de Andalucía

The signature of supernova ejecta in the X-ray afterglow of the gamma-ray burst GRB011211
Matthias Ehle
XMM-Newton Users' Support Group

The XMM-Newton Science Archive
Matteo Guainazzi
XMM-Newton Users' Support Group

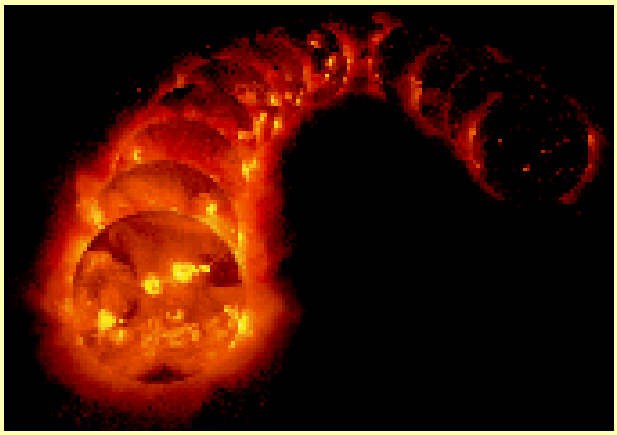
Our changing Sun and its influence on the Earth's climate
Benjamín Montesinos Comino
Instituto de Astrofísica de Andalucía y LAEFF

The coronae of very low-mass stars
Eduardo Martín Guerrero
Institute for Astronomy, University of Hawaii

Campos electromagnéticos de muy baja frecuencia y radio frecuencia: datos existentes y posibles efectos sobre la salud
Jocelyne Leal
Servicio de Bioelectromagnetismo del Hospital Ramón y Cajal, Madrid

Hipparcos and the Nearby Early-type Stellar Population: Galactic Vertical Structure, the Local Bubble, and Mass Extinctions
Jesús Maíz-Apellániz
Space Telescope Science Institute, Baltimore

The origin of the solar cycle
Arnab Rai Choudhuri
Indian Institute of Science, Bangalore



El Sol en rayos X durante un ciclo solar.

Astronoticias

Recopilación de Itziar de Gregorio y Bruno Merín

Descubierto un sistema planetario análogo al nuestro

El equipo de astrónomos americanos liderados por los doctores Geoffrey Marcy y Paul Butler acaba de presentar la detección de un nuevo planeta orbitando la estrella 55 Cancri a la que ya se le conocían con anterioridad otros dos planetas.

El interés especial de este nuevo descubrimiento es que el nuevo planeta (llamado 55 Cancri C) tiene una masa y una distancia parecidas a las de Júpiter respecto al Sol. Dado que la estrella central es también muy similar al Sol, este es el sistema solar más parecido al nuestro detectado hasta ahora.

Según los datos de que dispone este grupo, hay cierta posibilidad de que existiese un cuarto planeta orbitando muy cerca de la estrella central, y no se puede descartar la posibilidad de que existiese un planeta tipo terrestre a una distancia de la estrella parecida a la distancia Tierra-Sol. Pero esto no se podrá confirmar hasta la llegada de las misiones *SIM o Darwin/TPF* que serán capaces de obtener imágenes de estos planetas tipo tierra alrededor de otras estrellas.

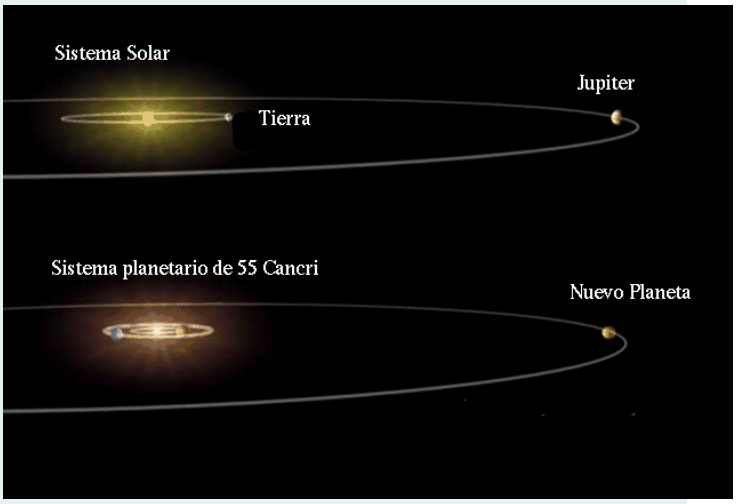


Ilustración comparativa no a escala de los dos sistemas planetarios. web:
http://www.jpl.nasa.gov/releases/2002/release_2002_133.html

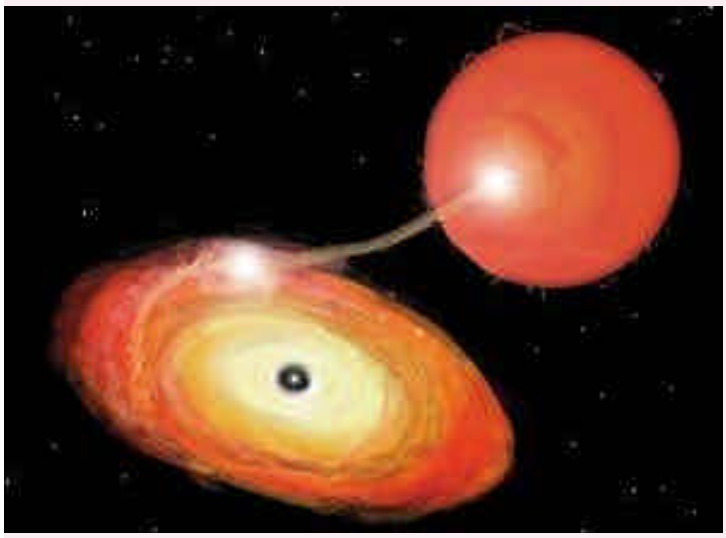
Un púlsar devora una estrella

El objeto XTE-J0929-314 está formado por un púlsar (una estrella de neutrones que gira a gran velocidad sobre su eje) y una estrella que en sus orígenes tenía la mitad de la masa del Sol y ahora tiene 10 veces la masa de Júpiter (la centésima parte de la masa del Sol).

¿Qué le está pasando a esta estrella? Está siendo devorada por la intensa gravedad del púlsar. Según se cree, la masa de la estrella compañera es arrancada de su superficie por la atracción gravitatoria y cae al púlsar a través de un disco de acrecimiento. Según cae material al púlsar, éste aumenta su velocidad de giro. El destino final de la compañera es desaparecer cayendo a la estrella de neutrones o sublimándose bajo los rayos X que emite su compañera.

Este objeto tan curioso fue descubierto con el satélite americano Rossi X-ray Timing Explorer del MIT durante una exploración rutinaria del cielo. La transferencia de masa hacia la estrella de neutrones es un proceso muy energético que desprende rayos X y ha permitido a los astrónomos del MIT cazar a este púlsar tragándose a su compañera.

Según uno de estos investigadores, esta binaria es el enlace entre los conocidos púlsares de baja velocidad de rotación en estrellas binarias y los púlsares de alta velocidad que observan los radio-



astrónomos en los que la estrella compañera probablemente ya haya desaparecido.

Impresión artística de una binaria de rayos X en la que el púlsar está quitando materia a su compañera através de su disco de acrecimiento
web:
http://web.mit.edu/newsoffice/nr/2002/pulsars2.html

EXPLOSIONES DE SUPERNOVAS: POSIBLE ORIGEN DE LOS GRBs

Los GRBs son explosiones gigantescas de rayos gamma que suelen ir acompañadas por emisión en otras longitudes de onda, como rayos-X, luz visible y radioondas. Un equipo de astrónomos procedentes del Instituto de Tecnología de California, han encontrado evidencias de la relación entre este fenómeno y las explosiones de supernovas. El descubrimiento se ha producido mientras observaban el GRB 011121, utilizando el telescopio espacial Hubble, el radiotelescopio Australiano *Telescope Compact Array*, el *Anglo-Australian Telescope* y telescopios situados en Chile. Si se confirma definitivamente que el origen de los GRBs son explosiones de supernovas, podrian ser utilizados para hacer un seguimiento de la formación estelar en el Universo temprano. Sin embargo, existen otros posibles candidatos a ser causantes de GRBs, como el choque de dos estrellas de neutrones, o el de una estrella de neutrones con un agujero negro.

Ver Dossier

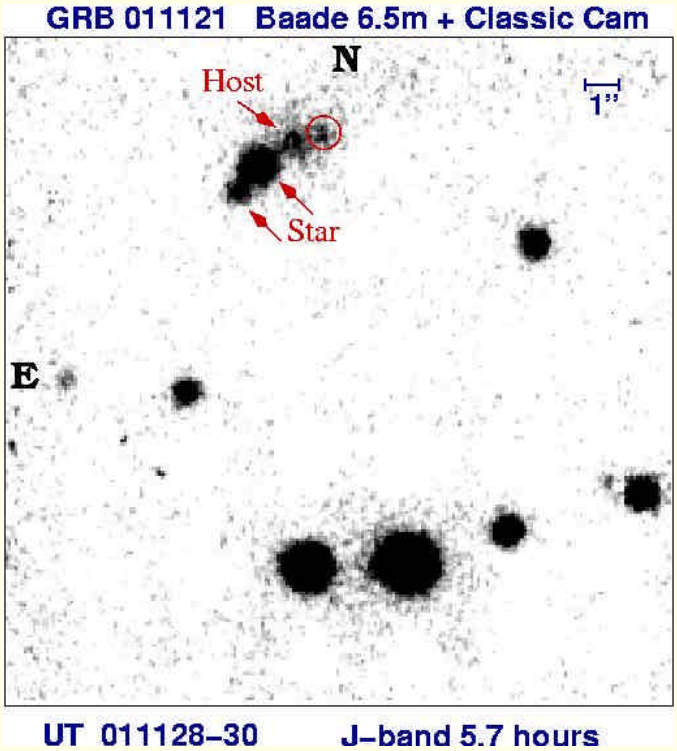


Imagen tomada con uno de los telescopios en Chile en la que se muestra con un círculo la posición del GRB y de la Supernova, también se muestra la emisión de la galaxia en la que ha ocurrido todo (host galaxy). http://cfa-www.harvard.edu/cfa/oir/Research/GRB/

Astronoticias

LA GEOMETRIA DEL UNIVERSO TEMPRANO Y EL VSA

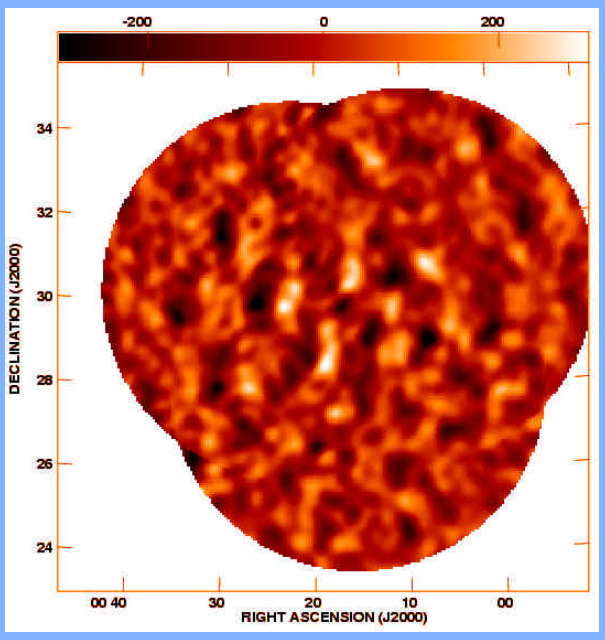


Imagen tomada con el VSA del fondo infrarrojo de microondas en la que se pueden ver las fluctuaciones de temperatura de esta emisión. La granulosidad da información sobre cómo sucedió el Big Bang y la expansión del Universo.

Observaciones del fondo cósmico de microondas realizadas por el interferómetro VSA (*Very Small Array*), han desvelado que el Universo es plano a grandes escalas. Además sugieren que el contenido de materia exótica es unas diez veces superior al de materia ordinaria y, combinando los resultados de este interferómetro con otros experimentos de sensibilidad comparable (observatorios situados en la Antártida y globos estratosféricos), se han encontrado evidencias de la existencia de la energía de vacío, posible responsable de la expansión acelerada del Universo, sugerida por observaciones de supernovas en galaxias lejanas. El VSA es un interferómetro situado en el observatorio del Teide. Trabaja en el rango de las microondas y está formado por catorce antenas con receptores a 34 GHz de muy alta sensibilidad. El experimento ha sido realizado por el Instituto de Astrofísica de Canarias y las universidades de Cambridge y Manchester.

Imagen del Interferómetro VSA en el Observatorio del Teide.
http://www.mrao.cam.ac.uk/telescopes/vsa/

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	barrado
Alberto J. Castro Tirado	161	ajct
Álvaro Giménez Cañete	155	ag
José Francisco Gómez Rivero	267	jfg
David Hochberg	197	hochberg
Miguel Mas Hesse	196	mm
Benjamín Montesinos Comino	195	bmm
Carmen Morales Durán	188	morales
Juan Pérez Mercader	198	mercader
Lourdes Sanz F. de Córdoba	193	lourdes
Enrique Solano Márquez	154	esm
María Rosa Zapatero Osorio	309	mosorio

Postgraduados:

Itziar de Gregorio Monsalvo	194	itziar
Oscar Delgado Mohatar	264	oscar
Albert Domingo Garau	266	albert
Cristina García Miró	138	cgm
Beatriz González García	138	bmgg
Raúl Gutiérrez Sánchez	260	raul
Elena Jiménez Bailón	266	elena
Bruno Merín Martín	194	bruno
Carlos Rodrigo Blanco	264	crb
Celia Sánchez Fernández	163	celia
Olga Suárez Fernández	263	olga
Juan José Valle Fraga	264	jvf

Personal Administrativo:

Margie Guitart Martín	161	margie
Concha Prieto Alas	234	concha

Servicios Informáticos:

Jesús García Jiménez	263	jess
Juan Martínez Pacheco	260	juanmp

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.

ÚLTIMA

Los inicios de PARTNeR

PARTNeR (Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo) es un proyecto educativo surgido de un acuerdo entre NASA e INTA, que en estos momentos está dando sus primeros pasos. El objetivo del proyecto es poner a disposición de diversas instituciones educativas (institutos de secundaria y universidades) una antena de 34 m de diámetro para que los alumnos puedan realizar observaciones de radioastronomía, a través de internet. La antena forma parte de la estación de espacio profundo que NASA tiene en Robledo de Chavela. Durante 35 años, se utilizó para el seguimiento de distintas misiones de exploración del sistema solar, como Mercury, Gemini o Apolo. En 1999, NASA decidió terminar la vida activa de la antena dentro de la red de espacio profundo, y comenzó a gestarse el proyecto PARTNeR.

El LAEFF es el encargado de gestionar el Centro de Coordinación de PARTNeR. Este centro, situado en la estación de Robledo, dará el apoyo técnico y científico necesario a los usuarios, antes de las observaciones (proporcionando la formación y asesoría necesaria) y durante las mismas (supervisando las operaciones).

El espíritu del proyecto va más allá del interés que en sí puedan tener unas observaciones astronómicas. Las observaciones son simplemente un instrumento educativo. Nuestra meta es proporcionar a alumnos y profesores una experiencia pedagógica innovadora y con un enfoque eminentemente práctico. Una observación de radioastronomía lleva implícitos gran número de conceptos de física y de ciencia en general. Muchos de ellos son, además, conceptos incluidos de los programas académicos de las asignaturas que los alumnos están cursando. PARTNeR proporciona, por tanto, una gran oportunidad para que estos conceptos se aprendan de una forma práctica, permitiendo una aplicación concreta, más allá de lo que se suele aprender en los libros de texto. Tampoco hay que olvidar el previsible aumento de motivación en el aprendizaje cuando el objetivo de éste es algo tan apasionante como una observación del Universo.

En estos momentos, está prácticamente terminada la reconfiguración de la antena como radiotelescopio y la adaptación del software de control. Las primeras pruebas de movimiento han resultado satisfactorias. En breve comenzarán a tomarse datos de fuentes astronómicas, para comprobar la sensibilidad y la estabilidad del apuntado de la antena. El plan inicial es realizar las primeras prácticas durante el próximo curso escolar (2002-2003).

Para obtener información más detallada y estar al día de los progresos del proyecto, se puede consultar la página web: http://laeff.inta.es/partner

Galería

Robert Hutchings Goddard es uno de los pioneros de la exploración del espacio. Junto con el ruso Konstantin Tsiolkovsky y el alemán Hermann Oberth, es considerado el padre de los cohetes espaciales. La astronáutica y las astronomía espacial le deben su razón de ser. Goddard nació en Worcester, Massachusetts, en 1882. En 1926 diseñó, construyó y lanzó con éxito el primer cohete con propulsión a base de combustible líquido. Durante toda su carrera fue ridiculizado por la prensa cuando afirmaba que los cohetes podrían llegar hasta la Luna. Aún así, prosiguió con sus investigaciones, avalado por la Smisthsonian Institution y por el famoso aviador Charles Lindberg. La imágen muestra una fotografía obtenida en 1937 en el desierto de Nuevo México donde Goddard examina la "nariz" y el paracaídas de uno de sus cohetes de prueba. Un cohete construido según los principios físicos de Goddard, permitió al hombre poner el pie en la Luna en julio de 1969.

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