



# LAEFF Reporter

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



<http://www.laeff.esa.es>

Año IX, núm. 35. Junio 2003

## Formación y evolución de discos protoplanetarios: origen del Sistema Solar

2020 y más allá: la detección de Tierras extrasolares

Tránsito de Mercurio

La Tierra y la Luna desde Marte

Programa de utilización de la  
Estación Espacial Internacional

Mars Express ya está  
camino de Marte

Fuentes transitorias en rayos X blandos

Posible origen de las explosiones de rayos Gamma

# SUMARIO



Composición de imágenes en diferentes filtros obtenidas con el Telescopio Espacial *Hubble* de Henize 3-1475, también denominada nebulosa *Garden-Sprinkler* (o “aspersor de jardín”). Henize 3-1475 es una nebulosa planetaria en formación en la que se han detectado eyecciones de gas de altísima velocidad y dirección variable cuyo origen es objeto de controversia. El sistema parece ser el resultado de procesos episódicos de pérdida de masa que se repiten con una frecuencia temporal del orden de unos 100 años sometidos a un movimiento de precesión con un periodo de ~1500 años. La razón que se esconde detrás de estas eyecciones episódicas todavía es un misterio para los astrónomos. Algunas de las hipótesis manejadas sugieren procesos relacionados con campos magnéticos cíclicos similares a los observados en nuestro Sol o el efecto de las interacciones periódicas de una estrella compañera orbitando alrededor de la estrella central. (Cortesía de Pedro García Lario).



**Primera Plana**  
**2020 y más allá: la detección de Tierras extrasolares**  
Benjamín Montesinos Comino

3



**La Tarima**  
**Formación y evolución de discos protoplanetarios: origen del Sistema Solar**  
Ricardo Hueso Alonso

8



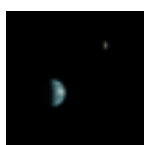
**Dossier**  
**Programa de utilización de la Estación Espacial Internacional**  
José Manuel Perales  
*Centro Español de Operaciones y Asistencia a los Usuarios (IDR/UPM)*

13



**Apuntes**  
**Fuentes transitorias en rayos-X blandos**  
Celia Sánchez Fernández

15



**Gamma**

**Astronoticias**  
**-Posible origen de las explosiones de rayos**  
**-Tránsito de Mercurio**  
**-La Tierra y la Luna desde Marte**

17



**Última**  
**Mars Express ya está camino de Marte**

19

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, Carmen Blasco, Itziar de Gregorio, Albert Domingo, Elena Jiménez, Miguel Mas, Bruno Merín, Benjamín Montesinos, Concha Prieto.

Laeff Reporter. Junio 2003



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.



### 2020 y más allá: La detección de Tierras extrasolares

*Benjamín Montesinos*

¿Sabemos colocar seis telescopios y una nave nodriza en un cohete, lanzarlos, llevarlos hasta algún lugar lejos de la Tierra y situarlos en el espacio en una formación de “flotilla”, de modo que cada uno de ellos “sepa” la posición de los demás con una precisión de milésimas de milímetro? ¿Sabemos cómo mantener la posición de los telescopios “congelada” durante horas mirando a la misma zona del cielo? ¿Sabemos cambiar la forma de la flotilla desde una configuración geométrica a otra? ¿Podemos combinar en el espacio los haces de luz de los seis telescopios y hacerlos llegar a la nave nodriza para sumarlos o restarlos?

La respuesta a cada una de estas preguntas es, ahora mismo, un no rotundo, y sin embargo cada uno de esos problemas se ha de solucionar si queremos afrontar un reto que se planteó hace casi diez años con el descubrimiento del primer planeta orbitando alrededor de una estrella fuera del sistema solar. En verano de 1995, durante un congreso en Florencia, los astrónomos suizos Michel Mayor y Didier Queloz dieron a conocer el resultado de un trabajo gestado durante años de observaciones y análisis: habían descubierto un planeta alrededor de una estrella muy similar al Sol, llamada 51 Pegasi. El planeta es, más o menos, del tamaño de Júpiter, y completa una órbita cada cuatro días alrededor de la estrella.

Desde 1995 se han descubierto más de 100 planetas extrasolares, agrupados en 93 sistemas planetarios de los cuales 12 son sistemas múltiples, es decir, contienen dos o más planetas.

Todos los planetas descubiertos hasta el momento tienen una característica común: su masa y su tamaño son muy similares a los de Júpiter. Además, para la gran mayoría de ellos, su órbita es muy próxima a la estrella en torno a la que orbitan, a veces están más cerca de ella que la distancia Sol-Mercurio. ¿Qué quiere decir esto? ¿es que no existen planetas extrasolares más pequeños, del tamaño de la Tierra?... no, esa –afortunadamente– no es la conclusión a la que debemos llegar. Lo único que sucede es que el método que se ha empleado para detectar la existencia de ese centenar largo de planetas favorece el descubrimiento de planetas muy masivos que orbitan muy cerca de las estrellas. Todos hemos jugado alguna vez a coger de los brazos a un niño pequeño y darle vueltas “volando” a nuestro alrededor. Mientras que el niño “orbita” en

**Desde 1995 se han descubierto más de 100 planetas extrasolares, agrupados en 93 sistemas planetarios**

## Primera Plana



**Impresión artística del interferómetro *Darwin* con siete telescopios. La luz de los telescopios se combina en una nave auxiliar de modo que el brillo de la estrella central queda anulado. La señal es enviada a Tierra por esta nave. (Cortesía de Alcatel).**

torno a nosotros, nuestro cuerpo no permanece fijo sino que también sufre un pequeño movimiento de bamboleo. Para comprender el método de detección de planetas hay que imaginar que nosotros somos las estrellas cen-

trales y los niños, los planetas. Puesto que la luz reflejada por el planeta es millones de veces más débil que la emitida por la estrella, lo que realmente se ve al observar un sistema planetario extrasolar es el bamboleo de

la estrella: a partir de las medidas de la velocidad de la estrella se deduce la presencia de un cuerpo menos masivo, el planeta, a su alrededor. Cuanto más alejado está el planeta de la estrella o cuanto más pequeño sea, el

## Primera Plana

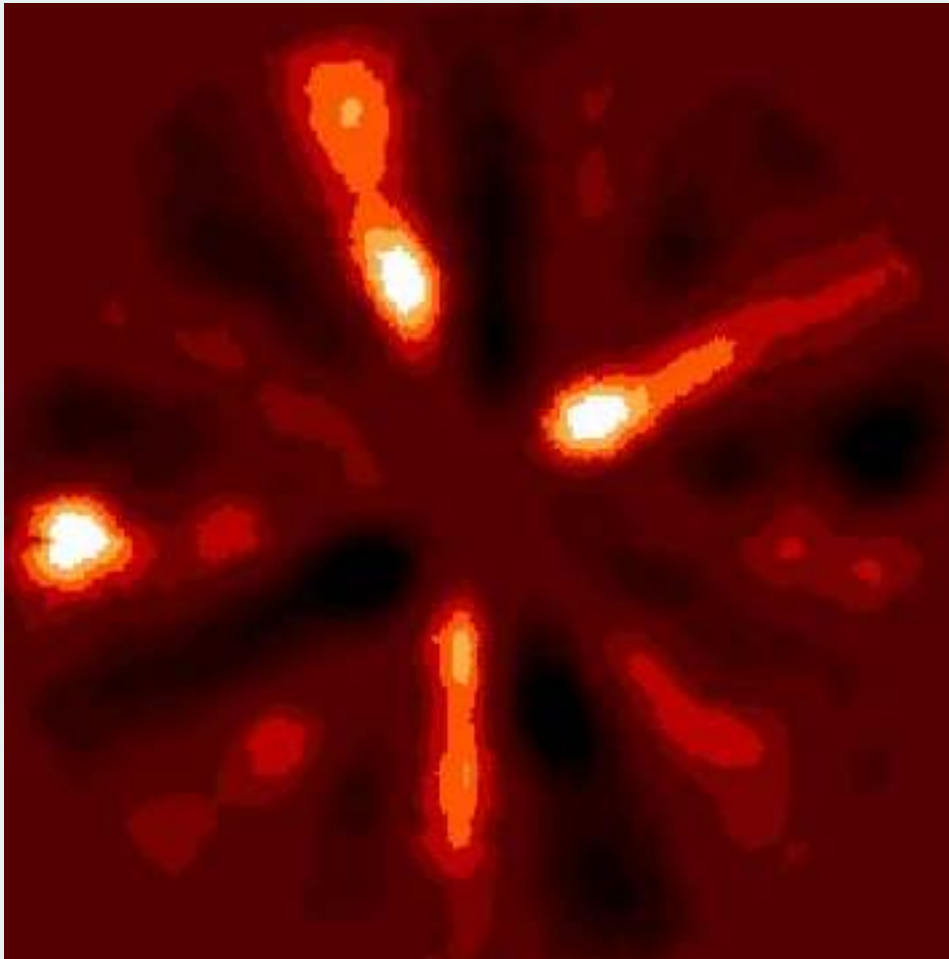
bamboleo es más y más imperceptible, de modo que las imprecisiones en las medidas hacen que sea imposible detectar con los métodos actuales planetas “telúricos”, es decir, tipo Tierra.

Esta es la meta a la que nos referíamos al comienzo de esta *Primera Plana*. ¿Será

posible descubrir este tipo de planetas en el futuro?... y si se descubren, ¿podríamos comprobar si existe vida en ellos?

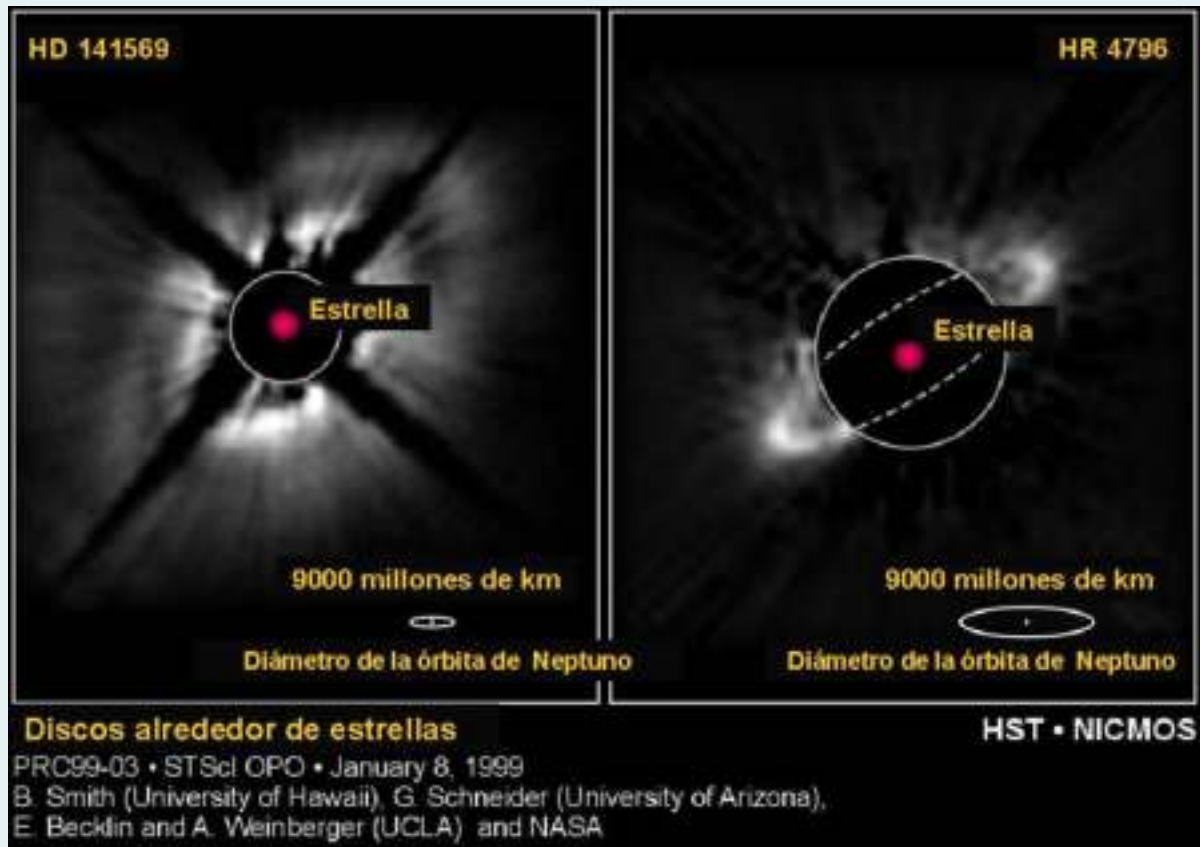
Para finales de esta década hay planeadas varias misiones espaciales que descubrirán planetas del tamaño de la Tierra. Hasta

ahora todas las detecciones de planetas se han hecho desde observatorios terrestres. Sin embargo, para dar el siguiente paso, hemos de ir al espacio ya que la atmósfera de nuestro planeta impone un límite a la precisión de las observaciones necesarias. Las misiones *Eddington*, europea y *Kepler*, estadouni-



¿Cómo verá *Darwin* los sistemas planetarios? La figura muestra un simulacro de cómo observaría *Darwin* nuestro Sistema Solar si estuviera situado a 33 años luz. Los tres objetos más brillantes serían Venus, la Tierra y Marte. La luz del Sol ha sido anulada por interferencia destructiva.

## Primera Plana



Estas espectaculares imágenes obtenidas con el Telescopio Espacial *Hubble* muestran dos discos protoplanetarios de gas y polvo alrededor de dos estrellas. En este caso el brillo de la estrella central ha sido anulado mediante un coronógrafo, que es un dispositivo que simplemente hace de pantalla a la luz. Estos discos son los progenitores de los sistemas planetarios.

dense, tienen como meta detectar planetas del tamaño de la Tierra aprovechando aquellos casos en los que la órbita del planeta sea tal que, periódicamente, se produzca un tránsito del planeta por delante de la estrella. Cuando el planeta pase por delante de la estrella, ocurrirá un pequeño eclipse y se bloqueará una pequeñísima fracción de la luz

estelar. Con telescopios relativamente pequeños a bordo de esos satélites descubriremos planetas como el nuestro antes de 2010.

¿Pero cómo saber si albergan vida?... la respuesta a esta pregunta trae con ella la cadena de cuestiones técnicas con las que abríamos este artículo. Los estudios

que se han realizado en ESA y NASA han indicado que la única manera de atacar este problema es realizando *interferometría infrarroja* desde el espacio.

Para aquellos que no estén familiarizados con estos términos, pueden resultar altisonantes y nada más. Sin embargo los conceptos son sen-

## Primera Plana

cillos de explicar. El problema se *reduce* -¡es una forma de hablar!- a intentar detectar la luz de una bombilla de un árbol de Navidad colocada al lado de la iluminación de cinco estadios de primera división de fútbol concentrada en un sólo foco (5 vatios frente a 5.000.000), y no sólo eso, sino también adivinar qué gas hay dentro de la bombilla. Ese cociente de potencias es aproximadamente el que existe entre la intensidad de la luz reflejada por un planeta similar a la Tierra y la luz emitida por una estrella parecida al Sol. Intentar obtener una imagen del sistema estrella-planeta es impensable dado que la luz de la estrella la saturaría, de modo que la idea es eliminar esa luz, y eso se logra mediante técnicas *interferométricas* en las que los frentes de onda que vienen de la estrella se suman de un modo tal que provoquen una interferencia destructiva, mientras que los que vienen del planeta se conservan de forma que se pueda detectar la señal.

Estas observaciones hay que hacerlas en el *infrarrojo* porque a longitudes de onda visibles el cociente al que nos referíamos antes es de 1 frente a 1000 millones, aunque hay una razón adicional y poderosa: en longitudes de onda del infrarrojo cercano se

encuentran las líneas espectrales del ozono, el agua y el dióxido de carbono que son las que caracterizan a nuestra Tierra.

*Darwin* es la misión con la que ESA pretende realizar esta difícil tarea. Consiste en seis telescopios de alrededor de 1 m de diámetro que tendrán que volar en "flotilla", tal y como describíamos al principio del artículo, y que harán tanto interferometría, para detectar planetas tipo Tierra, como espectroscopía de la luz de los planetas: el descubrimiento de *un sólo planeta* con signatures de ozono, agua y dióxido de carbono, muy probablemente nos hará replantear la posibilidad, hasta ahora no confirmada, de no estar sólo en la Galaxia y en el Universo. El lanzamiento se sitúa en el calendario de ESA alrededor del año 2020 y en NASA se está realizando en paralelo un estudio para una misión llamada *TPF (Terrestrial Planet Finder)* con fines parecidos. Dados los altísimos costes y los retos tecnológicos que hay que vencer, muy probablemente se establezca una colaboración en el futuro y ambas misiones se fundan en una.

Por el momento *TPF* aún no tiene una arquitectura definida. En NASA se está ex-

*El lanzamiento de Darwin se prevé para el año 2020. En NASA, se estudia en paralelo la misión TPF, con fines parecidos*

plorando la posibilidad de que la misión se base, al igual que *Darwin*, en técnicas interferométricas, con los telescopios volando en formación o bien situados en una montura fija, aunque también se considera la opción de un sólo telescopio, con un gran espejo, pero equipado con técnicas coronográficas. Un coronógrafo no es más que una máscara cuyo propósito es bloquear la luz de la estrella, dejando ver los posibles planetas que haya a su alrededor. Esta técnica ha sido empleada en el *HST* para la observación de discos protoplanetarios, pero aún no está lo suficientemente desarrollada para poder ver objetos que orbiten muy cerca de las estrellas.

Los técnicos y científicos están convencidos de que, a medio plazo, estos obstáculos tecnológicos serán sobrepasados. Las próximas generaciones de astrónomos van a encontrar un área de trabajo que hace tan sólo unos pocos años sonaba, como poco, a ciencia ficción.

# La Tarima

## Formación y evolución de discos protoplanetarios: origen del Sistema Solar

Ricardo Hueso Alonso

Euskal Herriko Unibertsitate/Universidad del País Vasco

La formación estelar conlleva la formación de discos que alimentan de material la estrella central en formación. Tales discos son el lugar en el que se forman los planetas. Actualmente disponemos de observaciones precisas de dichos discos e incluso de imágenes cautivadoras de tales objetos. Por otro lado el Sistema Solar surgió hace unos 4500 millones de años en un disco similar y en años recientes se ha descubierto un gran número de planetas orbitando alrededor de estrellas cercanas. Todo ello hace suponer que el proceso de formación planetaria es común en el Universo. Ahora bien, las características orbitales de los planetas descubiertos son muy diferentes a las que caracterizan el Sistema Solar y debemos admitir, por lo tanto, que el origen de los sistemas planetarios no ha sido todavía comprendido de manera satisfactoria.

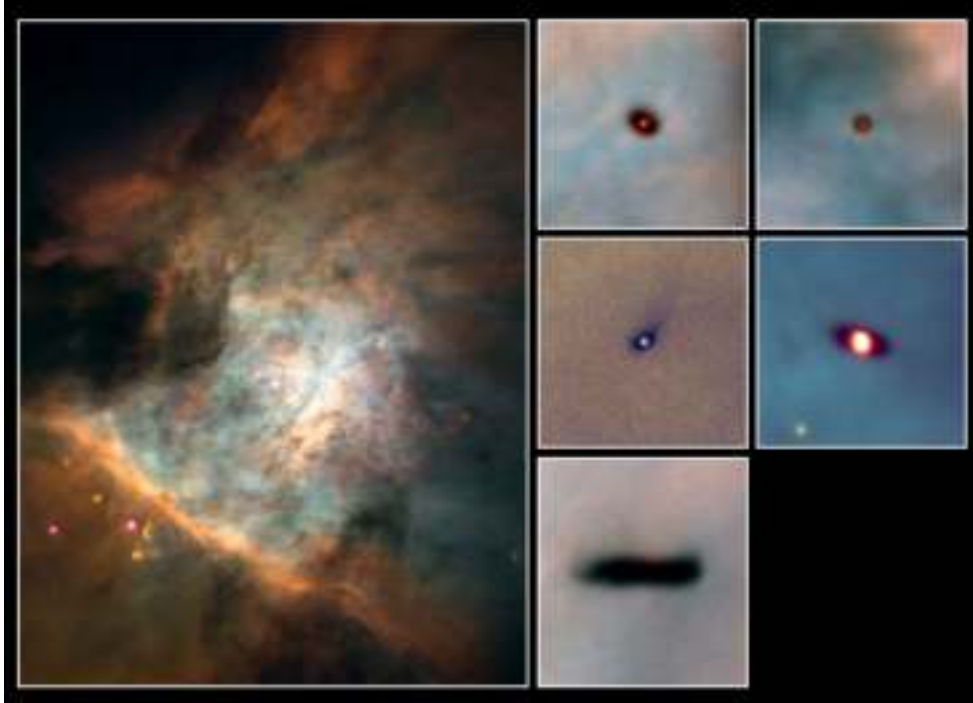
La posición en un mismo plano de los cuerpos del Sistema Solar llevó a Emmanuel Kant a intuir la idea de una nebulosa protosolar en forma de disco formada por la contracción de una nube rotante. El gran acierto de Kant fue otorgar a la rotación un papel clave. Como veremos, es la conservación del momento angular el principio básico que lleva a la formación de tales discos, controlando también en gran medida su evolución. Actualmente se dispone de observaciones de nubes moleculares colapsando en regiones de formación estelar e imágenes de discos circunestelares jóvenes formados principalmente por gas con un componente minoritario de polvo (como los que se pueden ver en la nebulosa de Orión, Figura 1) y de discos evolucionados dominados por el material sólido con apenas gas (como los famosos sistemas de Vega y  $\beta$  Pic). Más de un centenar de

planetas han sido descubiertos orbitando alrededor de otras estrellas (ver artículo *Primera Plana* en este número), siendo este uno de los descubrimientos clave de la Astronomía de la última década.

Las estrellas se forman a partir del colapso gravitatorio de finas pero inmensas nubes de gas y polvo interestelar. Normalmente tales nubes son tan grandes y contienen tanto material que la formación estelar se produce mediante fragmentación de la nube inicial y formación de centenares de estrellas. Cada una de estas estrellas se forma a partir de material que rota lentamente complicando el proceso. Aunque esta rotación puede ser muy pequeña, quizás tan sólo proveniente de movimientos turbulentos en la nube inicial, y tener periodos de rotación de hasta varios millones de años, representa un papel fundamental en la formación estelar. Cuando la



## La Tarima



**Figura 1:** La nebulosa de Orión es la región de formación estelar más densa cercana a nosotros. Se han encontrado más de 150 discos circunestelares en su parte central. Algunos de ellos se muestran ampliados a la derecha de la imagen siendo las diferentes morfologías causadas principalmente por el ángulo de inclinación del disco con respecto al observador. Los tamaños típicos en luz difusa oscilan entre 100 y 500 UA. Cuando se observan los discos en emisión en líneas de gases, el disco puede extenderse hasta 1000 UA.

nube se contrae sobre la estrella en formación la conservación del momento angular hace que la mayor parte del material no pueda caer sobre la estrella sino que adquiere órbitas elípticas. Se estima que tan sólo unas 0.05 masas solares pueden caer directamente sobre la estrella. El material cae aproximadamente de la misma manera desde los hemisferios Norte y Sur del sistema rotante por lo que los flujos perpendiculares se anulan y progresivamente se va formando un disco para acomodar el material colapsado. Inicialmente el disco puede ser muy pequeño pero crece a medida que el material exterior

de la nube molecular, con mayor momento angular específico, colapsa.

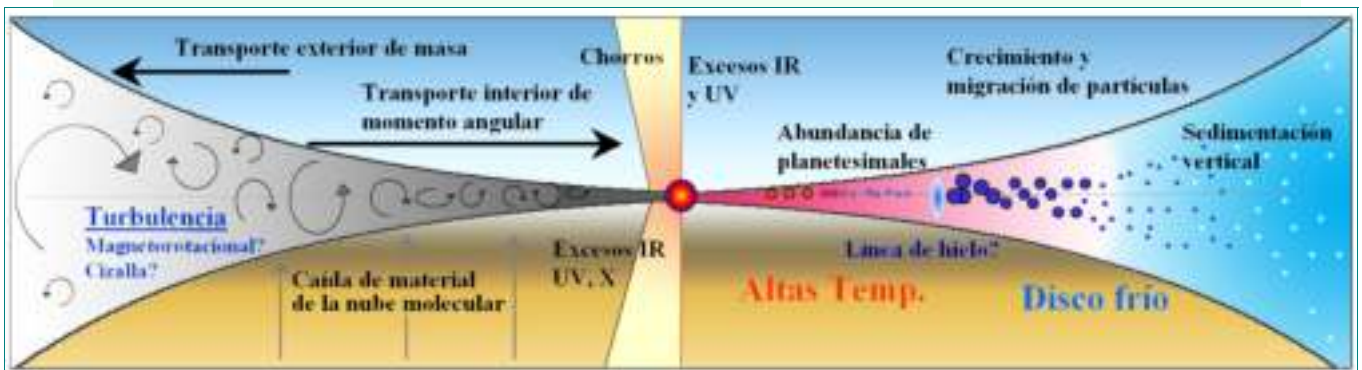
Una estrella puede formarse típicamente en periodos de tiempo de 100.000 a 1 millón de años, pero los discos que se observan sobreviven 3 o hasta 10 millones de años. También son discos enormes. Los discos observados en luz visible por medio de la luz estelar dispersada por el polvo del disco abarcan típicamente 100-300 UA. Cuando los discos se observan en longitudes de onda milimétricas se puede acceder a la emisión térmica del propio gas, viéndose que algunos

# La Tarima

sistemas pueden ser tan grandes como 800 UA. Cuando los discos son jóvenes y mucho más pequeños son también muy densos, tanto, que la gravedad impide que sean realmente regulares: la fuerza de gravedad rompe el disco en brazos espirales muy similares a los que se aprecian en numerosas galaxias. El disco evoluciona de manera abrupta en esta fase y grandes cantidades de material pueden caer súbitamente del disco a la estrella, produciendo estallidos de brillo como los que se observan en estrellas tipo FU Orionis. Esta fase puede abarcar los primeros 10.000 a 50.000 años de la formación estelar y suele estar acompañada por la presencia de chorros de eyección de material en los que la estrella puede perder hasta un 10% del material proveniente del disco. Posteriormente el disco pasa a un estado mucho más tranquilo de evolución en el que el material

angular total del sistema.

La Figura 2 presenta un resumen de los procesos físicos más importantes que ocurren simultáneamente en un disco protoplanetario. Las partes centrales del disco permanecen más calientes que el exterior, no solamente por la irradiación solar, sino porque al ser la gravedad mayor se produce una mayor concentración de material y todos los fenómenos que pueden calentar el gas se intensifican (caída de más material, movimiento relativo del gas, turbulencia, ondas de choque, liberación de energía gravitatoria al caer hacia radios interiores). La región central de un disco circunestelar permanece tan caliente que ningún hielo puede condensar y el material sólido sólo puede formar silicatos y otros materiales refractarios (silicatos combinados con elementos metálicos). La región intermedia es suficientemente fría como para que el



**Figura 2: Procesos concurrentes en un disco protoplanetario. La parte izquierda representa la evolución del material gaseoso en el disco y la parte derecha la evolución de material sólido y formación de planetesimales.**

sigue cayendo sobre la estrella central, aunque unas 100 veces más despacio que en la fase FU Orionis. El disco es turbulento, siendo la turbulencia originada por la interacción con el campo magnético o por la rotación diferencial del disco, y el material exterior se difunde hacia zonas aún más externas, compensando el movimiento del disco interior hacia la estrella y conservando el momento

agua y otros gases sean estables y solidifiquen en hielos. En la región exterior también se pueden formar hielos de todo tipo pero el material sólido está tan disperso que su crecimiento en cuerpos mayores es muy difícil o únicamente puede realizarse muy lentamente. Cometas y otros objetos similares podrían formarse en esta región exterior. De esta manera, podría haberse formado en

## La Tarima

nuestro Sistema Solar el material sólido precursor de los planetas terrestres interiores, los gigantes gaseosos y los cuerpos de baja masa exteriores del cinturón de Kuiper.

***La región central de un disco circunestelar permanece tan caliente que ningún hielo puede condensar y el material sólido sólo puede formar silicatos y otros materiales refractarios***

neto por lo que es difícil explicar la formación de cuerpos mayores. Por este motivo algunos investigadores han propuesto que la nebulosa protosolar era mucho más masiva pudiendo la gravedad atraer

El material sólido, de composición química inicial regulada por la temperatura y la distancia a la estrella, estaría inicialmente en forma de granos microscópicos y mezclado homogéneamente con el gas de la nebulosa solar. Los granos sólidos sedimentan sobre el plano central del disco de manera análoga a como las partículas de una nube terrestre precipitan en forma de lluvia, y pueden crecer por colisiones lentas entre diferentes granos hasta tamaños del orden del centímetro. Este proceso es muy incierto al estar altamente influenciado por la turbulencia en el disco, poco conocida. Otro problema es la migración de los sólidos hacia el interior de la nebulosa. La fuerza de presión del gas se opone a la gravedad central por lo que el gas se mueve con velocidades que pueden ser hasta 50 m/s más lentas que las órbitas keplerianas. Cuando las partículas son pequeñas se ven inmersas y arrastradas por el movimiento del fluido, cuando son grandes (mayores de 100 m) poseen suficiente inercia para ignorar la interacción con el gas y siguen órbitas puramente keplerianas, pero en el caso intermedio, cuando su tamaño está entre el centímetro y los 10 m, sienten fuertemente la interacción con el gas moviéndose más lento, como un viento en contra. Este "viento" resta energía a las partículas y las hace migrar rápidamente hacia el interior del disco pudiendo, en ausencia de otros procesos físicos, caer sobre la estrella en periodos de tiempo de tan sólo 1000 años. Peor aún, las colisiones entre cuerpos de este tamaño se producen de manera violenta causando más ruptura de partículas que crecimiento

las partículas de este tamaño y hacerlas crecer rápidamente. Otros investigadores han sugerido que fenómenos locales en el disco, como vórtices anticiclónicos o patrones turbulentos pueden aumentar la densidad local de partículas sólidas favoreciendo un crecimiento rápido.

En todo caso parece que la evolución hacia cuerpos del tamaño de asteroides o mayores formando planetesimales procede rápidamente (unos 100.000 años). La región interior del disco, donde los hielos no pudieron condensarse inicialmente, albergaría un número enorme de tales planetesimales. Estos se perturbarían los unos a los otros produciendo un crecimiento oligárquico (los mayores crecen más deprisa que los pequeños) en el que se formarían cuerpos cada vez mayores y menos numerosos, quizás finalizando en una configuración estable como la que constituyen los planetas terrestres del Sistema Solar. Las colisiones entre cuerpos ya de tamaño planetario serían frecuentes y podrían explicar aspectos como la formación de la Luna o la composición química dispar de estos planetas. Esta evolución por colisiones se produce de manera muy lenta y podría durar varios centenares de millones de años.

En la región de transición en la que los hielos comienzan a condensarse se pueden alcanzar altas concentraciones de sólidos y los planetesimales podrían acumularse en pocos cuerpos muy masivos en las proximidades de la "línea de hielo" que marca la

## La Tarima

*Cuando los núcleos de los gigantes gaseosos alcanzan una masa en torno a 10 veces la masa de la Tierra, su gravedad es tan poderosa que incluso el gas circundante colapsa sobre el planeta, adquiriendo éste un manto atmosférico creciente.*

transición entre la existencia o no de hielos. Se sospecha que es así como se forman los núcleos helados de los gigantes gaseosos. Cuando estos núcleos alcanzan una masa en torno a 10 veces la masa de la Tierra su gravedad es tan poderosa que incluso el gas circundante colapsa sobre el planeta y éste adquiere un manto atmosférico creciente. Cuando el planeta gana suficiente masa (50 masas terrestres), su gravedad desplaza el gas circundante creando un hueco en el disco y frenando tal vez su crecimiento. Si en esta fase queda todavía un disco interior masivo en comparación con el planeta, ambos interactúan gravitatoriamente y el planeta es arrastrado hacia el interior de la nebulosa pudiendo caer sobre la estrella central o frenarse en órbitas cercanas en aquellos casos en los que el planeta haya dispersado o absorbido la mayor parte del gas en el disco.

Se piensa que es así como se formaron los planetas extrasolares cercanos a su estrella descubiertos hasta la fecha, auténticos Júpiter calientes que no pudieron formarse en las posiciones en que han sido descubiertos pero que pudieron migrar hasta allí después de su formación. Los discos de gas tienen una vida media de unos cinco millones de años y terminan disipándose por la acción del flujo de rayos ultravioleta de estrellas masivas cercanas o de la estrella central. En este escenario la pregunta obvia es explicar cómo pu-

dieron formarse Júpiter y Saturno en sus posiciones actuales sin migrar apreciablemente. Su formación en regiones más alejadas hubiera requerido demasiado tiempo, comparado con la vida media de los discos protoplanetarios y no hubieran podido adquirir suficiente masa. Quizás la respuesta está en la interacción de los dos planetas con el disco. Otra posibilidad podría ser una formación tardía del núcleo helado en un disco extendido y ya poco masivo. Otros modelos radicalmente distintos predicen la formación directa de planetas gigantes en ausencia de núcleo inicial en discos muy masivos. Aunque es posible, y de hecho fácil, formar rápidamente planetas gigantes a casi cualquier distancia de la estrella, estos modelos fallan al explicar la composición química atmosférica y la incuestionable presencia de un núcleo central en Saturno (actualmente los datos y modelos no permiten deducir si Júpiter tiene o no un núcleo central helado).

Este artículo esboza únicamente las líneas abiertas en este campo de investigación. Aunque he planteado el tema desde un punto de vista eminentemente teórico los avances futuros se producirán principalmente gracias a los avances en instrumentos y técnicas observacionales. La práctica totalidad de los grandes instrumentos terrestres y misiones espaciales que se están diseñando para la próxima década tendrán como uno de sus objetivos principales el estudio de los sistemas planetarios y su formación. Prometemos revelar algunos de los misterios fundamentales de este campo y mostrar algunas nuevas y fascinantes sorpresas.

## Programa de la Estación Espacial Internacional

José Manuel Perales

Centro Español de Operaciones y Asistencia a los Usuarios

(User Support and Operations Centre, USOC)

Instituto Ignacio Da Riva / Universidad Politécnica de Madrid (IDR/UPM)



Imagen real de la Estación Espacial Internacional (ISS) durante su montaje, tomada desde una nave rusa Soyuz durante su aproximación.

La Agencia Europea del Espacio (ESA) ha desarrollado y actualmente está terminado de construir un módulo presurizado (*Columbus Orbital Facility*, COF) para la Estación Espacial Internacional (*International Space Station*, ISS). España contribuye a este proyecto con un porcentaje en torno al 5% del total del presupuesto. Este módulo, para uso científico, será puesto en órbita y acoplado a la Estación a finales de 2004.

En el interior del módulo Columbus estarán instalados inicialmente cuatro laboratorios especializados, también desarrollados por la ESA para la experimentación en condiciones de gravedad reducida en diferentes disciplinas científicas: hornos para crecimiento de cristales (*Material Science Laboratory*, MSL),

laboratorio biológico (*Biolab*), laboratorio de física de fluidos (*Fluid Science Laboratory*, FSL) y laboratorio de fisiología (*European Physiology Modules*, EPM). Además un quinto laboratorio (*European Drawer Rack*, EDR) permitirá la instalación de pequeños laboratorios especializados en su interior, por ejemplo para el estudio del crecimiento de cristales de proteínas. En el exterior del Columbus irán instalados otros instrumentos para la observación solar y el estudio del comportamiento de materiales en condiciones espaciales.

Para operar el alto número de experimentos científicos a realizar en laboratorios o instrumentos de responsabilidad europea, y debido a la muy baja disponibilidad de los

## Dossier

astronautas para realizarlos, la Agencia Europea del Espacio ha diseñado un modo de operación que se ha denominado "teleciencia". En este modo de operación de los experimentos será posible manipular desde Tierra, incluso desde el propio laboratorio del investigador interesado, las instalaciones europeas embarcadas en la ISS, y recibir en tiempo real los datos experimentales generados a bordo. La teleciencia se hará desde los USOCs (*User Support and Operations Centre*), Centros de Operaciones y Asistencia a los Usuarios. Habrá uno en cada país miembro de la Agencia y cada centro se especializará en

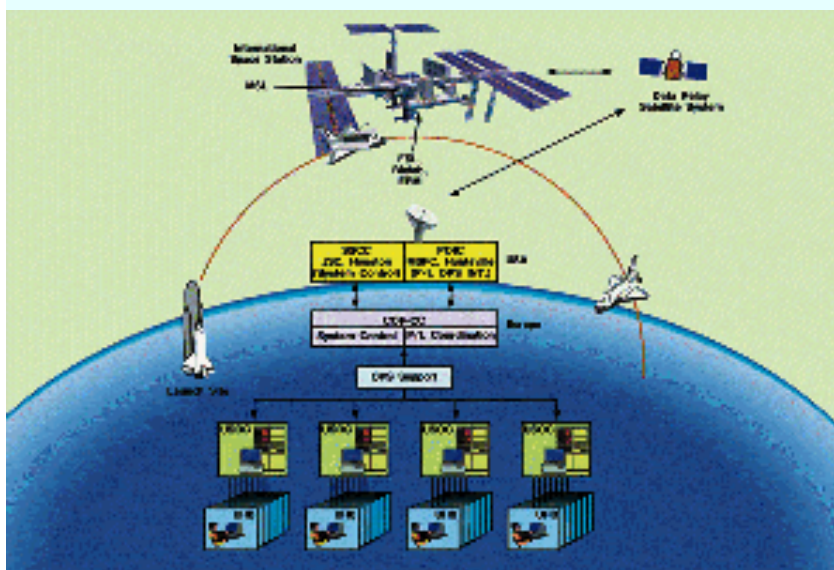
uno de los laboratorios o instalaciones de Columbus.

En España funcionará como USOC, especializado en el FSL, el Instituto Universitario de Microgravedad "Ignacio Da Riva" de la Universidad Politécnica de Madrid (IDR/UPM), centro de excelencia que actuará como terminal de operaciones y comunicaciones científicas con la Estación Espacial. Entre otros cometidos, deberá proporcionar asistencia técnica y formación a los científicos españoles interesados en realizar experimentos en cualquiera de los laboratorios o instrumentos de Columbus, así como asistencia técnica y formación a los

científicos europeos (de manera más especial, aunque también a los no europeos) interesados en realizar experimentos en el laboratorio de física de fluidos de Columbus. El USOC español iniciará las operaciones de experimentos embarcados durante el otoño de 2003, en locales provisionales de la E.T.S.I. Aeronáuticos de la UPM, como centro de operaciones de la misión SSM (*Spanish Soyuz Mission*), en la que participa el astronauta español Pedro Duque.

Además de ser el centro de comunicaciones de referencia para todos los científicos nacionales y una parte de los extranjeros con intereses en experimentación en microgravedad, IDR/UPM es ya un centro de referencia en temas de física de fluidos en condiciones de baja gravedad, campo en el que los investigadores de la UPM gozan de un reconocido prestigio entre la comunidad científica internacional, con un elevado número de experimentos realizados en las tres últimas décadas en plataformas orbitales.

Como centro de excelencia, el USOC estará equipado con laboratorios terrestres que albergarán instalaciones de experimentación en microgravedad simulada, así como equipamiento de vuelo.



Esquema de distribución de los datos que se obtendrán en los laboratorios de la ISS, a través de los USOCs instalados en diferentes países.

## Fuentes transitorias en rayos X blandos

Celia Sánchez Fernández  
XMM-Newton (ESA)

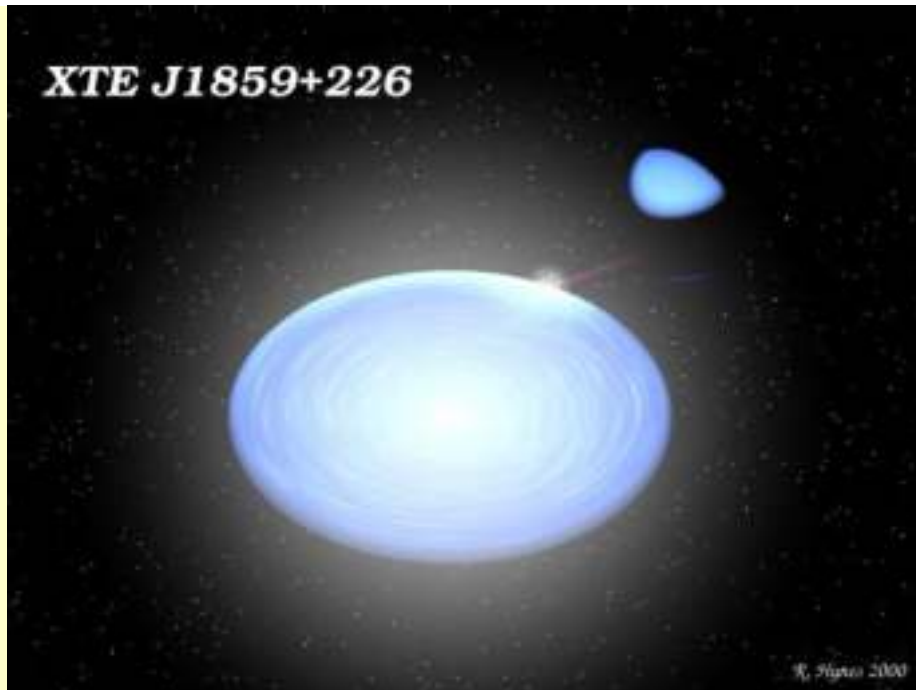


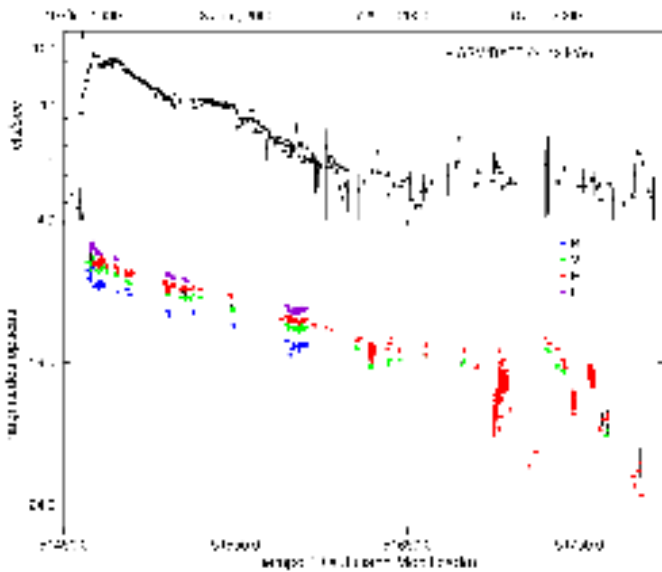
Ilustración del sistema transitorio XTE J1859+226 en erupción, realizada por R. Hynes. La figura muestra el disco de acrecimiento en torno al objeto compacto y la estrella secundaria (en segundo plano). El gas que alimenta el disco proviene de la estrella secundaria, en contacto con su lóbulo de Roche, y es transferido hacia el disco a través del punto interno de Lagrange. Se pueden encontrar más visualizaciones en <http://www.astro.soton.ac.uk/~rih/binsim.html>

Las binarias de rayos X son las fuentes de rayos X más brillantes que existen en nuestra galaxia. En estos sistemas, una estrella "normal" transfiere materia a un objeto compacto (estrella de neutrones o agujero negro). La naturaleza de la estrella donante determina el modo en el que la materia es transferida hacia el objeto compacto (viento estelar si la estrella donante es masiva, o transferencia a través del punto interno de Lagrange si la estrella donante es poco masiva). Las binarias de rayos X se han clasificado históricamente en sistemas de alta o baja masa atendiendo a esta distinción.

Las fuentes transitorias en rayos X blandos

son un subgrupo de binarias de rayos X de baja masa, en las que el ritmo de transferencia de materia hacia el objeto compacto es extremadamente bajo. Estas fuentes únicamente emiten cantidades significativas de rayos X durante erupciones esporádicas, en las cuales la luminosidad del sistema en rayos X puede llegar a aumentar en un factor  $10^7$ , separadas por largos periodos de quiescencia (a veces del orden de varias decenas de años).

En erupción, las propiedades de estos sistemas son esencialmente idénticas a las de cualquier binaria de rayos X de baja masa: el



Curvas de luz de la fuente transitoria XTE J1859+226 en rayos X (panel superior) y magnitudes ópticas (panel inferior) durante la erupción experimentada por la fuente en octubre de 1999. Las curvas de luz presentan claramente la morfología descrita en el texto y que caracteriza a este tipo de sistemas: un aumento brusco de brillo en unos pocos días, seguido por un decaimiento exponencial que se prolonga durante meses, hasta que el sistema alcanza el estado de quietud.

donde la estrella secundaria no está enmascarada por el disco de acrecimiento.

Las curvas de luz observadas en una erupción típica se caracterizan por un aumento brusco del brillo del sistema en todas las longitudes de onda, en una escala de tiempo de uno o dos días, seguida por un decaimiento exponencial del brillo durante los ~200 días siguientes. Típicamente, la luminosidad se aproxima al límite de Eddington, alcanzando valores del orden de  $10^{37}$ - $10^{38}$  erg  $s^{-1}$ , pero en algunos casos pueden llegar a  $10^{39}$  erg  $s^{-1}$ . La energía total emitida es  $10^{43}$ - $10^{44}$  erg.

La emisión en rayos X está dominada por una componente suave, de origen térmico, que se origina en las regiones más internas del disco. La principal contribución a la emisión óptica es el reprocesado de rayos X en las regiones más externas del disco. Las erupciones generalmente están asociadas con emisión en radio, producida, probablemente por la eyección de material relativista.

brillo del sistema está dominado por la emisión del disco de acrecimiento (originada por la conversión de energía potencial gravitatoria de la materia acrecida en energía térmica) y la estrella compañera, que en estos sistemas suele tener un tipo espectral más tardío que K, no es detectable. Sólo cuando la erupción finaliza y el sistema vuelve al estado de quiescencia, la emisión óptica está dominada por la estrella compañera. La observación fotométrica y espectroscópica de la secundaria permite obtener la información dinámica necesaria para estudiar la naturaleza del objeto compacto, y establecer si se trata de un agujero negro o una estrella de neutrones. Los sistemas transitorios en quiescencia son el único grupo de binarias de rayos X de baja masa

Las erupciones han sido explicadas mediante inestabilidades térmicas y viscosas en el disco de acrecimiento, que producen un brusco aumento en el ritmo de transferencia de materia hacia el objeto compacto, lo que explica el aumento de brillo observado en las curvas de luz. Esto ocurre cuando la densidad superficial del disco, que crece debido a la acumulación progresiva de materia en quiescencia, alcanza el límite para desencadenar una inestabilidad que se propaga a través del disco de acrecimiento.

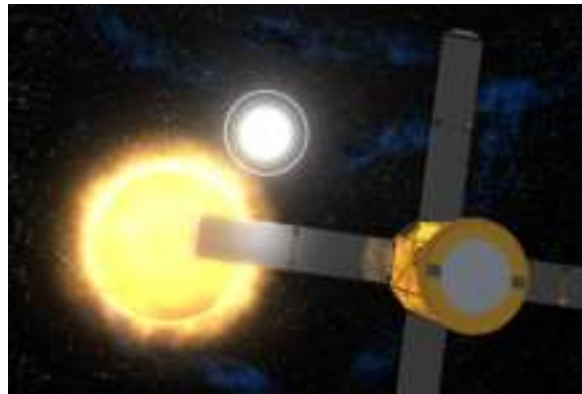


## Posible origen de las explosiones de rayos Gamma

El satélite RHESSI (*Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager*), diseñado para estudiar las explosiones de rayos Gamma en el Sol por actividad magnética, puede haber descubierto por casualidad una de las claves más importantes para entender la física de las explosiones de rayos Gama (en inglés "*Gamma-Rays Bursts*" o GRB).

Estas explosiones se producen aproximadamente una vez al día en alguna parte del cielo y liberan una inmensa cantidad de energía (del orden de miles de millones de veces la luminosidad del Sol) en unos segundos o fracciones de segundo. Constituyen uno de los misterios más difíciles de resolver de la Astronomía moderna y muchos equipos de astrónomos rastrean el cielo en busca de una observación temprana de una de estas explosiones que pueda dar información sobre su origen. Los teóricos, por otro lado, tratan de encontrar mecanismos con los que explicar cómo se puede liberar una cantidad tan enorme de energía en tan poco tiempo.

El día 6 de diciembre de 2002, el satélite RHESSI estaba tomando imágenes de las fulguraciones en la superficie del Sol, cuando repentinamente en una esquina de su campo de visión explotó un GRB (ver la reconstrucción del suceso en la figura). El origen de la explosión sin duda fue muy lejano (posiblemente fuera de la Galaxia) pero por casualidad estaba alineado con el Sol y el satélite de modo que entró en el campo de visión del instrumento. Así, por primera vez se ha podido ver que la emisión de estas fuentes está polarizada. Esto indica que hay campos magnéticos implicados en estas explosiones y supone un gran avance hacia la explicación del origen de los GRBs.



<http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0528rhessigrb.html>  
Esquema ilustrando cómo el satélite RHESSI observó por casualidad un GRB mientras estudiaba las fulguraciones en el Sol.

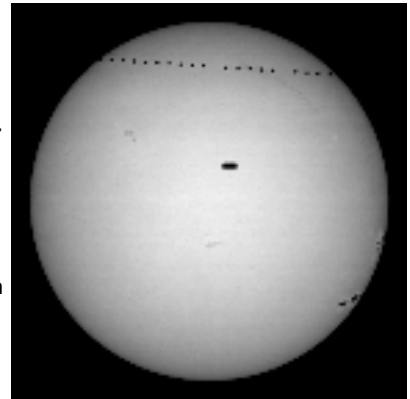
## TRÁNSITO DE MERCURIO

*El día 7 de mayo de 2003 se produjo un tránsito del planeta Mercurio por delante del Sol. Según la hora peninsular, se inició a las 7:12h y finalizó a las 12:31h. Esto hizo que no se pudiese observar por completo desde la mitad occidental de la península y desde las Islas Canarias, pero sí en la mitad oriental de la península así como en las Islas Baleares.*

*El disco de Mercurio es de 12 segundos de arco visto desde la tierra, un 0,6 % del tamaño del disco solar y, por tanto, el fenómeno sólo fue observable con telescopios. Un número importante de observatorios profesionales y aficionados hicieron campañas para observarlo y algunos retransmitieron en directo a través de una página web el tránsito del planeta por delante del astro rey. Entre otros, fue seguido por el Observatorio del Teide en las Islas Canarias (<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2003/m05d06b.htm>), por el Telescopio Solar Sueco (en el Roque de los Muchachos, ver <http://www.solarphysics.kva.se/Mercurytransit7May2003>) y por el departamento de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Barcelona (ver <http://mercuri.am.ub.es>).*

*Se producen 13 tránsitos de Mercurio cada siglo. Dado el número de campañas de detección de exoplanetas*

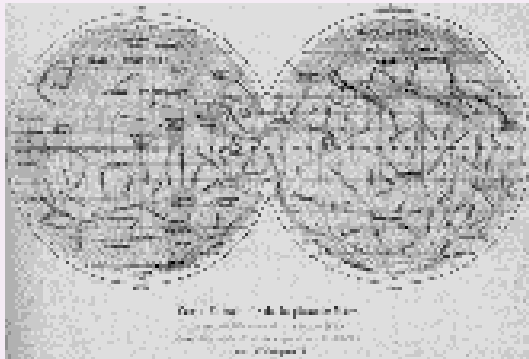
Imagen compuesta del tránsito de Mercurio por delante del Sol el día 7 de mayo de 2003. Fue obtenido en el Observatorio de Udaipur (India) como parte de las observaciones coordinadas por el consorcio observacional GONG (ver [http://gong.nso.edu/mercury\\_transit03](http://gong.nso.edu/mercury_transit03)). Los puntos negros en la parte alta corresponden a las distintas posiciones del planeta a lo largo de disco solar. La mancha central y las manchas en la parte inferior derecha del Sol son manchas solares.



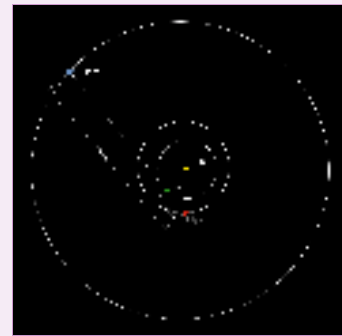
<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2003/m05d06b.htm>

*por el método de los tránsitos actualmente en marcha, en este caso tiene especial interés, que el tránsito de Mercurio ilustra cómo serían los tránsitos de planetas terrestres alrededor de otras estrellas.*

# Astronoticias



**Figura 1:** Mapa realizado por Schiaparelli de la superficie de Marte según la observación en 1877. En ella se pueden ver, además de otros accidentes geológicos, los canales que fueron interpretados como posibles obras de ingeniería a gran escala.



NASA/JPL/Malin Space Science Systems  
**Figura 2:** Posición de los planetas en el momento de la instantánea.

## LA TIERRA Y LA LUNA DESDE MARTE

En 1877, el astrónomo italiano Giovanni Schiaparelli observó Marte en una oposición del planeta y describió unos "canali" ("canales", en italiano) en su superficie. A la vista de la apariencia estructurada de los mapas (ver Figura 1) rápidamente pasaron a ser interpretados por el gran público como posiblemente realizados por una inteligencia marciana. Esta hipótesis estuvo vigente impulsada por varios astrónomos como Percival Lowell o Camille Flammarion hasta que nuevas y mejores observaciones a finales del siglo XIX fueron confirmando que las condiciones de vida en el planeta rojo no eran apropiadas para la vida, y que los canales descritos no eran más que una interpretación un tanto optimista de las imágenes de baja resolución del planeta.



NASA/JPL/Malin Space Science Systems)  
**Figura 3:** Primera imagen de la Tierra vista desde Marte, fue tomada por la nave *Mars Global Surveyor*. Ambos cuerpos están iluminados por el Sol a la derecha.

En nuestros días, el 8 de mayo de 2003, otra combinación afortunada de las órbitas de la Tierra, Marte y Júpiter (ver Figura 2) ha permitido obtener por primera vez una imagen de nuestro planeta desde el planeta vecino. La sonda de la NASA *Mars Global Surveyor*, en órbita alrededor de Marte, apuntó con su cámara al planeta Tierra y obtuvo la primera fotografía de nuestro planeta tomada desde el planeta rojo. En la imagen (Figura 3) se puede ver la Tierra y su compañera la Luna al lado iluminadas desde la derecha por el Sol. La parte visible de la Tierra muestra América del sur, parte de América del Norte y los océanos Pacífico y Atlántico. Aprovechando el alineamiento, también fotografió al planeta Júpiter con la Tierra en una extraña foto de familia (ver Figura 4).

Con esta primera imagen de nuestro planeta visto desde Marte, podemos especular sobre qué hubieran pensado de la Tierra los miembros de la hipotética civilización marciana de la que se hablaba a finales del siglo XIX.



**Figura 4:** Fotografía de Júpiter (abajo) y la Tierra (arriba) tomada desde Marte por la nave *Mars Global Surveyor* aprovechando una alineación de los planetas en mayo de 2003.

## 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
Álvaro Giménez Cañete	155	ag
José Francisco Gómez Rivero	267	jfg
Miguel Mas Hesse	196	mm
Benjamín Montesinos Comino	195	bmm
Carmen Morales Durán	188	morales
Lourdes Sanz F. de Córdoba	193	lourdes
Enrique Solano Márquez	154	esm
María Rosa Zapatero Osorio	309	mosorio

### Colaboradores:

Celia Sánchez Fernández	257	celia
Luis M. Sarro Baro	138	lsb

### Postgraduados:

Rafael Bellón Gómez	264	rafa
Carmen Blasco Fuertes	264	cblasco
M. Dolores Caballero García	198	mcaballe
Itziar de Gregorio Monsalvo	194	itziar
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
Daniel Risquez Oneca	261	risquez
Carlos Rodrigo Blanco	264	crb
Olga Suárez Fernández	263	olga

### Personal Administrativo:

Margie Guitart Martín	161	margie
Concha Prieto Alas	234	concha

### Servicios Informáticos:

Jesús García Jiménez	263	jess
----------------------	-----	------

### 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

## ÚLTIMA

### Mars Express ya está camino de Marte

El pasado 2 de junio se lanzó con éxito desde Baikonur la nave Mars Express, impulsada por un cohete Soyuz con una etapa Fregat. Mars Express es la primera misión de la Agencia Espacial Europea que estudiará Marte. Está dotada de seis instrumentos que permitirán obtener imágenes de la superficie marciana con una resolución de hasta 2 m, estudiar su composición química y la de la atmósfera, analizar los movimientos atmosféricos a escala global y estudiar la estructura subterránea hasta una profundidad de varios km. Asimismo, poco antes de llegar a Marte, liberará un pequeño módulo (denominado Beagle-2) que aterrizará en su superficie y analizará muestras del suelo y del subsuelo a la búsqueda de agua y de trazadores de actividad biológica. Este módulo se mantendrá operativo durante unos seis meses, mientras que la nave nodriza continuará sus exploraciones durante al menos dos años. Ricardo Amils, investigador del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), es uno de los científicos multidisciplinares nombrados por la ESA con la misión de coordinar las investigaciones que se hagan con los datos enviados por la nave.

Mars Express llegará a Marte las próximas navidades, tras algo más de seis meses de travesía. Estaremos al tanto de los descubrimientos que realice.

José M. Mas Hesse



**Separación del Beagle-2 en su camino hacia la superficie marciana. (Impresión artística).**

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

## Galería



En la madrugada del jueves 14 al viernes 15 de mayo se produjo un eclipse de Luna visible casi por completo desde España. Los eclipses de Luna se producen cuando la Tierra se interpone entre el Sol y nuestro satélite. Tanto la Tierra como la Luna proyectan una sombra en el espacio al ser iluminadas por el Sol. Cuando la Luna atraviesa la sombra que produce la Tierra es cuando se observa un eclipse lunar. Para que se de esta circunstancia, la Luna (en una órbita inclinada  $5^\circ$  con respecto a la órbita terrestre) tiene que estar justo en un punto de cruce entre su órbita y la de la Tierra en el momento en que el Sol está en oposición. Esto explica por qué los eclipses de Luna siempre se producen con Luna llena. Si la órbita de la Luna fuese coplanaria con la órbita terrestre, habría un eclipse de Luna cada plenilunio, pero al estar inclinada sólo se produce como mucho tres veces al año.

La imagen muestra una composición de las distintas fases de iluminación que atravesó la Luna. Las imágenes se tomaron desde el Observatorio del Teide del IAC. Se puede observar cómo se enrojece la Luna cerca del máximo del eclipse pero no desaparece del todo. Esto es debido a que la luz del Sol se curva por refracción al atravesar la atmósfera terrestre e ilumina la Luna, incluso cuando ésta se encuentra en el cono de la sombra terrestre. No obstante, al atravesar la atmósfera de la Tierra, la luz solar sufre más absorción en el azul que en el resto y por eso aparece la Luna enrojecida.

(<http://www.iac.es/gabinete/noticias/2003/m05d13.htm>).