

La exploración del Sistema Solar

Abel Calle

Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valladolid

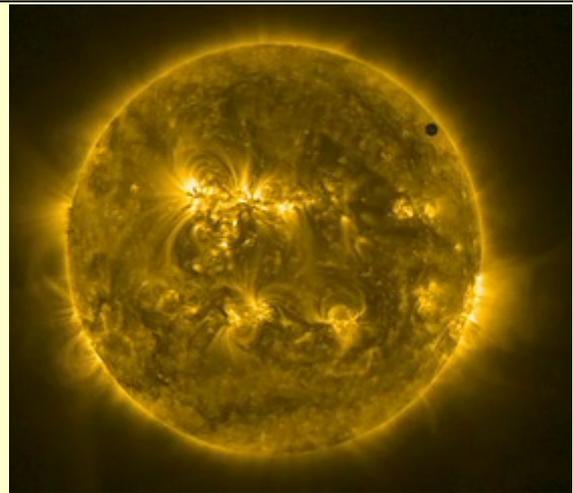
La historia de la observación espacial es tan corta que cabe holgadamente en la vida de una persona. Lo que comenzó en los años 50 en plena guerra fría como el reto humano de exhibición del poder de conquista del espacio, rápidamente se reveló como un medio eficaz de observar nuestro propio planeta de forma global, el sistema solar y mucho más allá. En el presente artículo expondremos las misiones de observación del sistema solar más relevantes, atendiendo a la contribución europea, a través de la Agencia Europea del Espacio (ESA), sean exclusivas o compartidas con la agencia norteamericana NASA y la japonesa JAXA

En los años 80, la versión española de *Scientific American* publicaba una edición especial de artículos dedicados a la exploración espacial que aparecía bajo el título: "El nuevo sistema solar". Se trataba de una extensa recopilación de la información recabada por las primeras misiones espaciales, las Mariner, Pioneer, Viking y las ya míticas Voyager; una auténtica revolución del conocimiento adquirido gracias a las sondas espaciales. La palabra "nuevo" en el título podría llevar a confusión cuando lo que querían mostrar eran las nuevas formas de observación astronómica. Nos permitimos aquí, y con la visión global de unos años transcurridos, titular aquel contenido como "del telescopio a las sondas espaciales". En el presente artículo queremos mostrar el "estado del arte" actual en observación del sistema solar, en lo que se refiere a la contribución europea.

La observación del Sol reviste gran importancia tanto desde el punto de vista científico, para clarificar algunas dudas que todavía existen acerca de nuestra estrella, como para el pronóstico de tormentas solares cuyas consecuencias sobre la tecnología de las telecomunicaciones puede ser nefasta. El SOHO (Solar Heliospheric Observatory), lanzado en Diciembre de 1995 es un proyecto de cooperación internacional entre ESA y

NASA y ha resultado una de las misiones más rentables en lo que respecta a su vida operacional; téngase en cuenta que la vida útil programada para las misiones espaciales suele ser del orden de 5 años y el SOHO se encuentra actualmente en operación extendida hasta 2014. Inicialmente el objetivo de la misión es realizar observaciones espaciales del sol, desde su núcleo interno hasta la atmósfera externa de la corona solar, así como analizar el alcance del viento solar. De hecho se encuentra ocupando una órbita halo (tipo de órbita estable en los puntos de Lagrange inestables) alrededor del primer punto de Lagrange del sistema Tierra-Sol, situado a una distancia de 1.5 millones de km de la tierra en dirección al sol, posición adecuada para desempeñar el papel de *watch-dog* de alarmas de tormentas solares, como le denomina la ESA. La principal curiosidad es que SOHO se ha convertido en el más prolífico descubridor de cometas en la historia de la astronomía, aunque no fuera diseñado para tal propósito.

También se encuentra operativa la misión europea PROBA-2 que es el segundo proyecto de la ESA para control a bordo de la autonomía de satélites. Esta misión lleva cuatro instrumentos científicos: dos detectores de partículas para analizar el entorno del plasma solar y dos instrumentos complementarios para analizar la actividad solar.



Tránsito de Venus, observado el 6 de Junio de 2012 por la sonda Proba-2. Créditos ESA

Por otra parte, y aunque la misión esté ya completada merece mención la misión europea Ulysses (1990) que ha realizado las primeras y únicas observaciones del entorno del Sol, desde el ecuador hasta los polos, y sobre un amplio rango de condiciones de actividad solar, dando lugar a algunos descubrimientos clave: medidas detalladas del viento solar en regiones polares (la principal innovación de la misión), en mínimo y máximo de actividad, el descubrimiento de que el flujo magnético del Sol es el mismo a todas las latitudes, polvo interestelar y las primeras detecciones directas de átomos de Helio interestelar en el sistema solar. Ulysses tuvo una verdadera epopeya por múltiples problemas técnicos pero lo realmente novedoso fue la puesta en órbita polar solar: fue realizado lanzando el satélite hacia Júpiter y realizando un *fly-by* sobre los polos de Júpiter para cambiar la dirección de la órbita de Ulysses y darle el impulso gravitatorio hacia los polos del Sol (y entrar en una órbita polar solar estable!). Imposible hacerlo con un lanzamiento directo desde la Tierra debido a su rotación.

El futuro europeo en observación solar será la misión Solar Orbiter, que ya se encuentra en fase de implementación; se espera su lanzamiento a partir de 2015 y que se situará en órbita elíptica inclinada alrededor del Sol. Esta misión dedicada al estudio de la heliofísica fue seleccionada como la primera misión del programa de la ESA "Cosmic Vision" 2015-2025 cuyos objetivos científicos son responder a las cuestiones de la evolución planetaria y la emergencia de la vida en nuestro sistema solar, además del

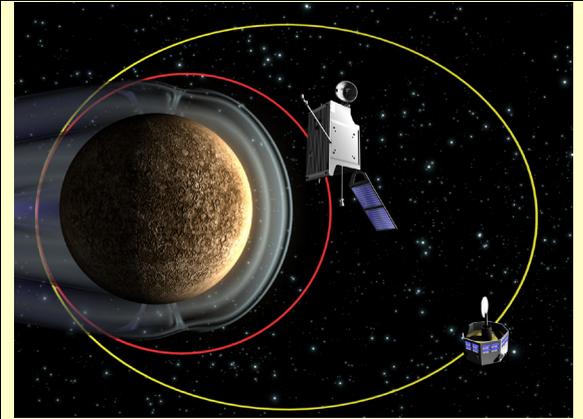
funcionamiento de las leyes físicas en el resto del universo. Aunque sobrepasa la temática del presente artículo, y con la intención de exponer el perfil del programa Cosmic Vision, cabe destacar que recientemente (en 2013) la ESA ha establecido el acuerdo oficial para la implementación del telescopio Euclid, misión que se encargará de analizar la naturaleza de la energía y materia oscura, responsables de la expansión acelerada del universo (premio Nobel de Física 2011 compartido, para Saul Perlmutter, Adam Riess y Brian Schmidt).



Perlmutter, Riess y Schmidt. Nobel de Física 2011.

Si Mercurio ya presentaba problemas para explicar su propia órbita (la precesión de su perihelio), se ha mostrado imposible a la hora de "dejarse" orbitar. En efecto, intentar llegar a Mercurio con una sonda y conseguir entrar en órbita estable es tan difícil como correr por una pendiente abajo que termina en un gran precipicio y pretender no caer al vacío; la cercanía de Mercurio al Sol hace muy difícil la frenada. Fue Giuseppe Colombo (1920-1984) profesor de la Facultad de Ingeniería de Padua, invitado en 1970 por el JPL (*Jet Propulsion Laboratory* de la NASA) para participar en la mítica misión Mariner-10 (lanzada en 1973) a Venus y Mercurio, quién sugirió que tras el primer paso de la nave cerca de Mercurio, podría lograrse un segundo encuentro con el planeta; esto fue confirmado por un estudio analítico pormenorizado realizado en el JPL tras su sugerencia, concluyendo que la adecuada elección del punto de *fly-by* podría conseguir una asistencia gravitatoria suficiente para que la nave volviera a Mercurio 6 meses después. En el congreso de Nápoles, en Septiembre de 1999, el Comité de programas de ciencia de la ESA reconoció los logros del profesor de la Universidad de Padua, Giuseppe (Bepi) Colombo, adoptando este nombre para el proyecto Mercurio, que entonces se encontraba bajo consideración; de esta forma, la próxima misión de la ESA dedicada al

estudio del planeta se denomina BepiColombo. Esta misión la desarrolla la ESA en colaboración con la agencia japonesa JAXA y es el futuro de la observación de Mercurio.



Composición artística de las dos naves que formarán la misión BepiColombo: la MPO (Mercury Planetary Orbiter) que orbitará entre los 400 y los 1500 km sobre su superficie; y la MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter) que orbitará entre los 400 y los 12000 km.

La misión consiste de dos orbitadores independientes y localizados en órbitas diferentes. La ESA se encarga de ensamblar uno de ellos, el MPO (Mercury Planetary Orbiter), que tendrá el objetivo de estudiar la superficie y la composición interna del planeta. El segundo orbitador de la misión, el MMO (Mercury Magnetospheric Orbiter), es responsabilidad de la JAXA y cuyo objetivo será el estudio de espacio que rodea al planeta y que se encuentra dominado por su campo magnético. En la actualidad se espera su lanzamiento a mediados de 2015, según las previsiones más recientes hechas públicas por la Agencia Europea.

El interés del estudio de Mercurio no sólo reside en el conocimiento del planeta, en sí mismo, sino en la composición de la nebulosa solar y la formación de todo el sistema solar planetario; dicho de otro modo: el conocimiento de Mercurio ayudaría a conocer con precisión el origen de nuestro propio planeta. Para conocer la dificultad de orbitar Mercurio bastará la breve descripción del periplo que llevará BepiColombo: será lanzada a una órbita de transferencia geoestacionaria y luego impulsada mediante propulsión química para realizar un *fly-by* con la luna, frenar con la ayuda de la gravedad del sol y usar la gravedad de la Tierra, Venus y Mercurio, además de su sistema de propulsión eléctrica, para completar su viaje; finalmente será

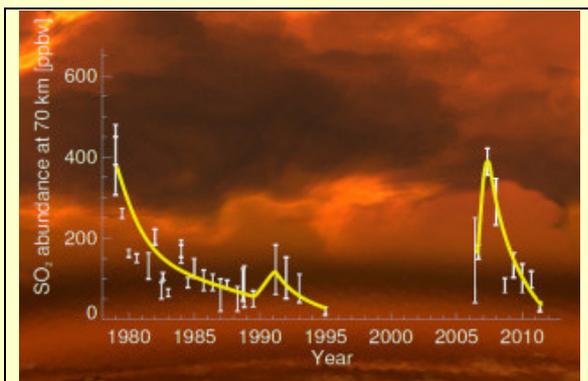
insertada en una órbita polar a Mercurio mediante el uso combinado de su gravedad y motores de cohete convencionales.

En la actualidad, y desde la ya lejana Mariner-10 sólo tenemos observando Mercurio a la misión MESSENGER (Mercury Surface, Space Environment, Geochemistry and Ranging) de la NASA, la primera y única misión que ha conseguido orbitar Mercurio de forma estable: para ello necesitó 6 años desde el lanzamiento, en 2004, hasta conseguir estabilizar la órbita alrededor del planeta. En cualquier caso, recientemente ya ha mostrado descubrimientos importantes como la existencia de hielo en los polos de Mercurio; ello es posible gracias a tratarse de un planeta sin estaciones y, por lo tanto, sin inclinación de su eje de rotación que permite la existencia de sombras perpetuas en el interior de los cráteres polares, depósitos adecuados para contener hielo.

Si Mercurio plantea las dificultades de observación debido a cuestiones orbitales, los problemas de Venus se deben a su densa cubierta de nubes. Aunque hablamos de misiones europeas, no podemos olvidar el avance tecnológico de Rusia que intentó solventar el problema mediante una sonda meteorológica posada en la superficie de Venus e inició el programa Venera en 1965. Lo consiguió por primera vez la Venera-7 en Diciembre de 1970, 4 meses después de su lanzamiento desde Baikonur, y transmitió datos. La Venera 9 lanzada el 8 de junio de 1975, fue el primer objeto humano en fotografiar la superficie de otro planeta e incluso posteriores Venera emitieron imágenes en color de la superficie: un infierno a 450°C de temperatura y 92 atm de presión; ¡enhorabuena a los rusos que consiguieron, en 1975 que un aparato tomara imágenes bajo esas condiciones físicas!. Como bien saben quienes se dedican a observación de la tierra, la única forma de observar a través de cubierta de nubes es mediante Radar y fue así como se obtuvieron los primeros mapas topográficos de Venus, sobre todo los elaborados por la misión americana Pioneer-Venus-1, aunque con grandes dificultades ya que las órbitas eran muy excéntricas, con gran diferencia entre el pericentro y el apocentro, y los pulsos radar sólo son efectivos a distancias cortas por la atenuación de la señal con el inverso del cuadrado de la distancia.

En la actualidad la misión que se encuentra en operación es la europea Venus-Express, lanzada en 2005 y con misión extendida a

2014. Venus-Express es un satélite optimizado para el estudio de la atmósfera de Venus, desde la superficie hasta la ionosfera, dado que es en la atmósfera donde residen actualmente las principales incógnitas del planeta: dinámica y estructura atmosférica, composición y balance radiativo, principalmente. En general las principales preocupaciones científicas es responder a por qué el clima de Venus es como es y se ha mantenido así. Otro de los tópicos importantes es la geología y la presunción de existencia de vulcanismo activo en la superficie. A este respecto, el pasado mes de Diciembre los datos de uno de los sensores de Venus-Express (el espectrómetro SPICAV-UV) ha aportado picos pronunciados y no continuos de contenido de SO_2 en las capas altas atmosféricas lo que sería indicativo de erupciones volcánicas explosivas; importante descubrimiento cuando el vulcanismo activo sólo se había constatado, hasta ahora, en el satélite galileano de Júpiter, Io.



Gráfica de concentración de SO_2 en la atmósfera de Venus, a la altura de 70 km, medido por Venus Express, lo que podría ser indicativo de vulcanismo activo. Copyright: E. Marcq et al. (Venus Express); L. Esposito et al. (datos más recientes); ESA/AOES Medialab.

Nuestro satélite natural, la Luna, no ha dejado de suscitar nuestro interés desde que fuera pisada por primera vez en 1969, y después, durante 6 misiones Apollo. Por parte de la ESA la misión SMART-1 ha liderado las investigaciones lunares. Fue lanzada en Septiembre de 2003 en una órbita de transferencia Tierra-Luna y posteriormente entró en órbita elíptica polar, alrededor de la Luna para las operaciones científicas. Llevó a cabo importantes objetivos como la geoquímica de la superficie y la búsqueda de hielo en los cráteres del polo sur lunar; además de obtener datos para esclarecer el origen de la Luna; además, fue usada como test y prototipo de propulsión eléctrica en

naves espaciales en velocidad de crucero. En Septiembre de 2006 se terminó la misión mediante una maniobra planificada, impactando sobre la superficie. Esta misión estuvo coordinada con otras misiones lunares de las agencias NASA y JAXA, como por ejemplo, tomando imágenes del impacto de la misión japonesa Kayuga (Selene).



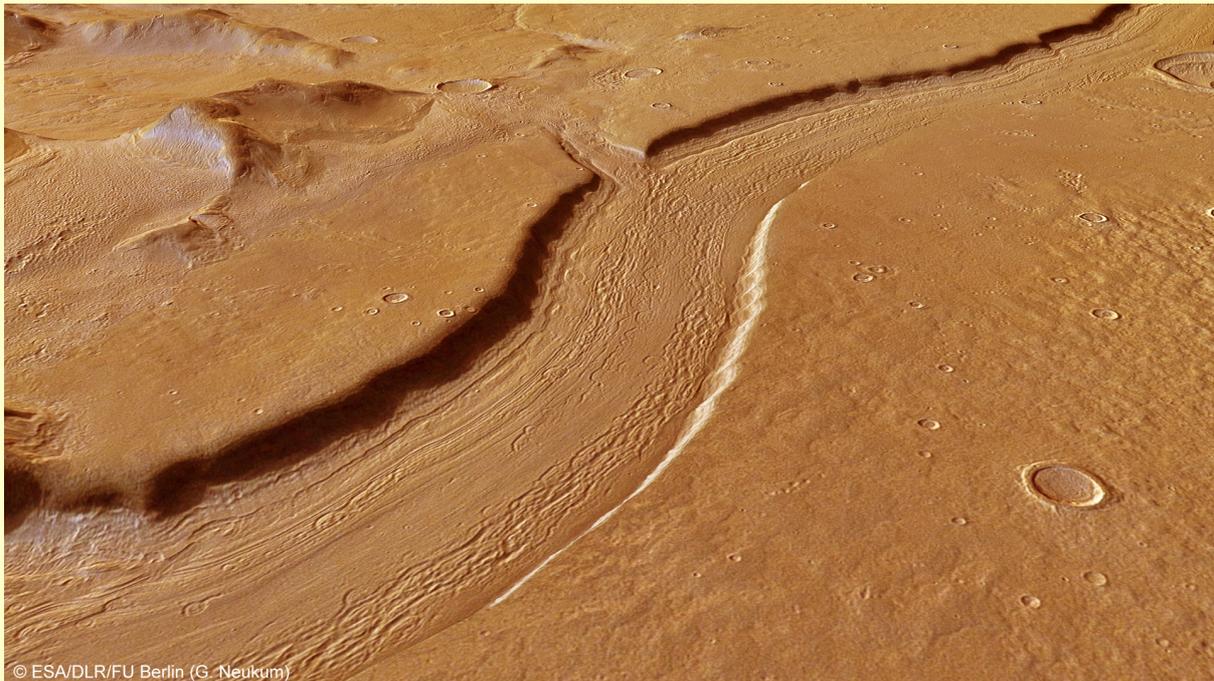
Imagen de Phobos (cara que mira a Marte) tomada por Mars Express (High Resolution Stereo Camera, HRSC), en un acercamiento a menos de 200 km, con una resolución de 7 m por píxel. Por su interés, Rusia lanzó la misión Phobos-Grunt el 8 de Noviembre de 2011 tras 15 años de inactividad planetaria, pero el lanzamiento fue fallido quedando la nave en órbita baja alrededor de la Tierra. Créditos ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Marte es el planeta más observado y el que mantiene más expectativas de ser visitado por una misión tripulada en un futuro, todavía, incierto. Desde que las misiones americanas Viking I y II se posaron sobre Marte en 1975 para realizar el primer estudio biológico del planeta muchos han sido los rovers que se han posado en su superficie. Además, una vez que la NASA perdió interés en visitar la Luna, se ha centrado en estudiar y planificar la próxima misión tripulada a Marte; no será posible en corto plazo pero la información de que se dispone es ingente, precisa y detallada. La Agencia Europea gestiona la misión Mars Express, cuyo nombre proviene del rápido desarrollo de la misión y supuso la primera visita de la ESA a otro planeta; heredó su tecnología de la fallida misión Mars-96 y Rosetta (ver su descripción más adelante) y su objetivo es responder a las preguntas fundamentales acerca de la geología, atmósfera, superficie, historia del agua y potencial para la vida en Marte. Mars Express se encuentra actualmente en operación y, además de cumplir con sus deberes de

teledetección de la superficie de Marte, con, hasta 2 metros de resolución y la atmósfera e interacciones del viento solar, ha servido de misión de apoyo de algunos amartizajes de rovers americanos. Sin embargo la nota discordante se produjo porque la misión transportaba una sonda, la Beagle 2 que debía posarse en la superficie del planeta para analizar el contenido en rocas de diferentes tipos de compuestos del carbono, en la

búsqueda de rastros de vida. Beagle 2 se separó del orbitador con éxito pero no se tuvo señal de comunicación, dándola por perdida tras unos meses de infructuosos intentos de contacto.

No nos ocuparemos en este artículo de los rovers y sondas *lander* en las que contribuye la ESA, por motivos de espacio, dejando este tema para otro artículo.



Esta imagen es una visión en perspectiva generada a partir de los datos obtenidos por la cámara HRSC de Mars Express; la imagen tiene una resolución de 16 m por píxel. La imagen muestra un pequeño canal afluente que se une a un canal principal; los rasgos lineales del fondo del lecho son evidencia de hielo y escombros sueltos raspando el suelo, análogamente a como se produce en los glaciares de la Tierra. Créditos ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Con la intención de mostrar una visión dinámica y evolutiva de los cuerpos del sistema solar, acostumbra a decirse que nuestro planeta Tierra fue, hace millones de años, lo que es hoy Titán, el más grande satélite de Saturno, y que será dentro de unos millones de años lo que es hoy Marte. Lo cierto es que es una forma demasiado simplificada de mostrar la realidad pero muestra la importancia de la observación de estos dos cuerpos celestes. Titán es muy especial en muchos aspectos y así nos lo transmitía Carl Sagan en su obra *Cosmos* cuando se refería a él como “un infierno en el que llueve gasolina” porque su principal característica es la existencia de grandes lagos de metano consecuencia de la precipitación de su atmósfera rica en hidrocarburos. La misión Cassini-Huygens es

una colaboración de la NASA/ESA/ASI para explorar el sistema de cuerpos celestes bajo dominio de Saturno. La contribución de la ESA consiste en la sonda Huygens, que entró en la atmósfera de Titán y descendió hasta su superficie mediante un paracaídas. Cassini, que es el orbitador de la misión, ha completado ya los primeros 4 años de la misión inicial, desde 2008, y parte de la misión extendida, desde 2010, que se denomina “Cassini Equinox Mission”, desde septiembre de 2010. La segunda misión extendida continuará hasta Septiembre de 2017, denominada “Cassini Solstice Mission”, lo que permitirá el estudio del sistema de Saturno bajo condiciones de su solsticio. No debe extrañar que la observación de Saturno esté supeditada a la geometría de iluminación solar, dado que los principales

descubrimientos que están teniendo lugar son las características de la evolución de las enormes y longevas tormentas en su atmósfera.

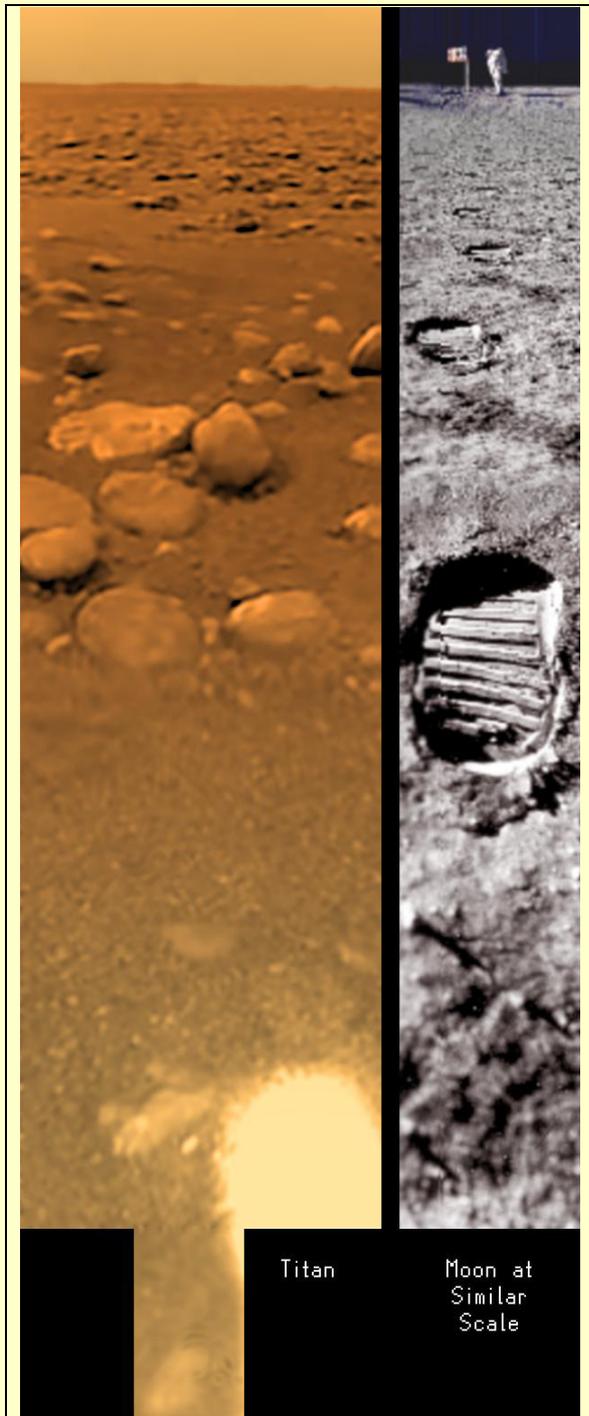


Imagen comparativa, a la misma escala, de la superficie lunar y la superficie de Titán, tomada por la sonda europea Huygens en su descenso, liberada desde el orbitador Cassini.

La sonda Cassini ha realizado importantes observaciones relacionadas con las tormentas de Saturno, siendo las más espectaculares las

observaciones dinámicas de relámpagos. Existen en Saturno tres tipos de nubes que producen los relámpagos: la capa superior, formada por hielo de amoníaco, la capa intermedia formada por sulfuro de hidrógeno y amoníaco y la capa inferior formada por agua. La luz de los relámpagos se difunde hacia arriba a través de este sistema de capas nubosas por un espesor del orden de 100 kilómetros. El lector puede encontrar imágenes, a este respecto, en <http://saturn.jpl.nasa.gov/news/newsreleases/newsrelease20120718/>.

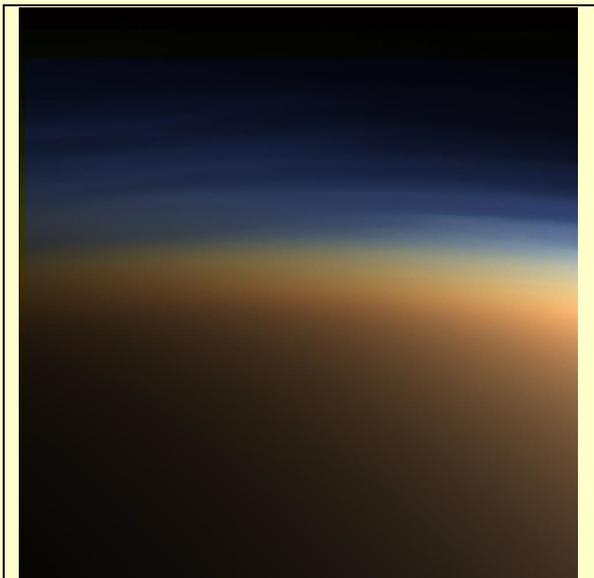


Imagen que muestra la alta atmósfera de Titán: una placa activa donde las moléculas de metano se disocian por la acción de la radiación ultravioleta solar. Imagen tomada por Cassini desde 9500 km de distancia. NASA/JPL/Space Science Institute.

Puede parecer que nos hemos olvidado del más grande de los planetas del sistema solar: Júpiter. El sistema joviano fue estudiado por las Voyager, con resultados muy sorprendentes como el descubrimiento de vulcanismo activo en la luna Ío, producido por las tremendas fuerzas de marea debido a la cercanía al gigante Júpiter. En la actualidad existe un gran interés en encontrar hielo en las lunas de Júpiter. Precisamente, en el momento de escribir este artículo (última semana de Febrero 2013) se anunció la selección de los 11 instrumentos científicos de la misión JUICE de la ESA, con los que estudiará el gigante gaseoso y los océanos ocultos en sus enormes lunas. JUICE (JUper ICE), acrónimo inglés de 'Explorador de las Lunas de Hielo de Júpiter', es la primera misión de clase L (del inglés Large, las de mayor tamaño) del programa Cosmic Vision 2015-2025 de la ESA. Despegará en el año

2022 para llegar a Júpiter en 2030, donde pasará al menos tres años estudiando el planeta más grande del Sistema Solar y tres de sus mayores lunas: Ganímedes, Calisto y Europa. La comunidad científica piensa que estas lunas ocultan grandes océanos de agua bajo el hielo que recubre su superficie. La misión JUICE cartografiará sus superficies, analizará su interior y evaluará su potencial para albergar vida. A lo largo de su misión, JUICE observará la atmósfera y la magnetosfera de Júpiter, y la interacción de los cuatro satélites galileanos – las tres lunas de hielo e Ío – con el gigante gaseoso. La sonda realizará una docena de aproximaciones a Calisto, el objeto con más cráteres del Sistema Solar, y sobrevolará Europa dos veces para realizar el primer estudio del espesor de su corteza de hielo. Ganímedes es la mayor luna del Sistema Solar, y la única que presenta un campo magnético propio.

La importancia de los cometas no ha escapado a los objetivos de las misiones espaciales. El principal interés de su estudio está relacionado con la teoría de la panspermia, según la cual la vida en la tierra tendría un origen extraterrestre –los cometas serían el transporte adecuado– y también porque esconden, en su composición, claves para entender el origen y evolución del sistema solar. La misión Giotto (1985) fue la primera misión europea de espacio profundo y diseñada para dar respuesta a las incógnitas que rodean el cometa Halley; para ello tendría que acercarse lo más posible a su núcleo para tomar imágenes en el perihelio del cometa, que es cuando tiene más actividad expulsando gas y polvo, lo cual consiguió en Marzo de 1986 durante el último acercamiento del cometa, que se produce cada 75 años; reveló la primera evidencia del descubrimiento de materia orgánica en un cometa. Se trataba de una misión “kamikaze” puesto que se esperaba la inoperatividad de sus baterías deterioradas por el polvo del cometa en el encuentro; sin embargo, aunque Giotto fue dañada, todos sus instrumentos permanecieron operacionales tras el fly-by. Por ello, se decidió extender la misión para realizar un encuentro con otro cometa: Grigg-Skjellerup, un cometa cuya órbita ha sido alterada por la gravedad de Júpiter y mucho más pequeño y menos activo que el Halley; durante el pico de actividad en las cercanías del Sol, libera menos del 1% del gas y polvo expulsados por el Halley lo que traducido a cifras es menos de 300 kg por segundo

comparados con las 30 toneladas por segundo del Halley.

La misión actualmente operativa en la observación de cometas es Rosetta. Esta misión reencarna el ejemplo de cómo aprovechar los fallos de programación: la misión fue establecida originalmente para tener un encuentro con el cometa Wirtanen; sin embargo el lanzamiento fue retrasado y se excedió el margen de la ventana de lanzamiento por lo que fue propuesto un nuevo objetivo: el cometa Churyumov-Gerasimenko. Fue lanzada en 2004 y se espera que culmine su misión con el acercamiento al perihelio del cometa en 2015. A pesar de encontrarse en *stand-by* hay que decir que ha sido rentabilizada de antemano puesto que en su largo viaje de asistencias gravitatorias, con una compleja órbita de tres *fly-by* con la Tierra y uno con Marte, ha pasado cercana a dos asteroides Steins (en 2008) y Lutetia (en 2010) con la toma de imágenes y datos observacionales de gran interés.



Núcleo del cometa Halley visto por la sonda Giotto, en su acercamiento a una distancia de 600 km y revelando la existencia de material orgánico.

Capítulo aparte merecen las misiones de estudio del planeta Tierra. Además de las misiones de recursos naturales (cuyo estudio se enmarca en el área de Teledetección) existen varios programas dedicados al conocimiento de diferentes facetas. Así, la misión operativa GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer), que forma parte del programa *Living Planet*, de la ESA, dedicada a la medida en alta resolución del potencial gravitatorio terrestre, a través de

un satélite de baja órbita -260 km- que también experimenta un motor de iones para compensar la fricción atmosférica; el programa Double star, un tándem de satélites colaboración de ESA y la Agencia China del espacio, para el estudio del efecto del viento solar sobre el entorno de la tierra. La misión Cluster para el estudio del campo magnético terrestre, que será actualizada con Swarm en los próximos años, una misión formada por tres satélites y que también pertenece al programa *Living Planet*.

Por lo tanto tenemos un presente y futuro prometedor, con gran cantidad de datos, para sumergirse en el conocimiento de nuestro entorno espacial.

Para saber más...

La página web de la ESA, dedicada a ciencias del espacio en el apartado "*for scientists*":

<http://sci.esa.int/>

El lector encontrará acceso directo a cualquier de las misiones y los planetas del sistema solar pudiendo acceder a gran parte de las publicaciones recientes en las revistas especializadas.

ESA Bulletin: Publicación periódica de la ESA con descripción técnica de todas las misiones. El lector encontrará un nivel intermedio entre la divulgación y las revistas científicas especializadas. Pueden descargarse de forma gratuita:

http://www.esa.int/About_Us/ESA_Publications/ESA_Publications_Bulletin

Esquema de algunas de las misiones mencionadas en el presente artículo (www.esa.int)

	Sun	Solar System
Operations	PROBA-2 [2009] SOHO [1995]	Venus Express [2005] Rosetta [2004] Mars Express [2003] Double Star [2003] Cluster [2000] Cassini-Huygens [1997]
Implementation	Solar Orbiter [2017]	BepiColombo [2015]
Completed	Ulysses [1990]	SMART-1 [2003] Giotto [1985]
Future Missions	Cosmic Vision 2015 - 2025:	