



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

El 4 de enero de 2004, el rover *Spirit* aterrizó con éxito en el cráter Gusev del planeta Marte; tres semanas después, el 25 de enero, su compañero *Opportunity* arribó a un pequeño cráter en la llanura Meridiani. A mediados de 2003, en el marco de la misión *Mars Exploration Rovers (MER)*, la NASA había enviado a ambos sabuesos al Planeta Rojo. Su función era realizar un análisis in situ de las rocas marcianas. "Teníamos miles de imágenes de la superficie de Marte, pero no sabíamos qué material observábamos", comenta

La estación de control terrena sólo le indica a *Spirit* y a *Opportunity* de qué lugares deben extraer muestras. Una vez que llegan al destino indicado, envían fotos a la Tierra para dar un informe. Si hay una muestra interesante dentro del alcance del brazo robótico, la estación terrena posiciona los instrumentos para realizar las mediciones. El 5 de enero, un día después del aterrizaje del *Spirit*, los científicos realizaron por primera vez una prueba de funcionamiento. A las 8:22 (Horario Central europeo), se reci-

Expedición a Marte

Los descubrimientos científicos en el Planeta Rojo

Johannes Brückner del Instituto Max-Planck de Química de Maguncia. El personal de su Departamento de Cosmoquímica desarrolló y construyó el Espectrómetro de Rayos X y Partículas Alfa APXS (en inglés: **Alpha Particle X-Ray Spectrometer**) para realizar el análisis químico de las rocas marcianas (**Fig. B**). El APXS fue montado en un brazo móvil junto al espectrómetro Mössbauer para análisis mineralógico (desarrollado por la Universidad de Maguncia), a una cámara microscópica estadounidense y a una cortadora de rocas.

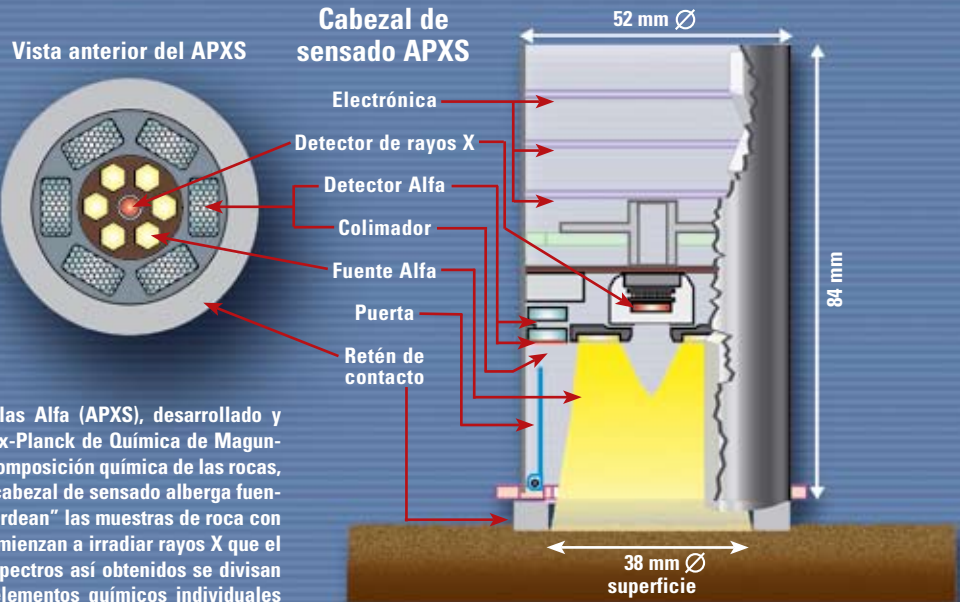
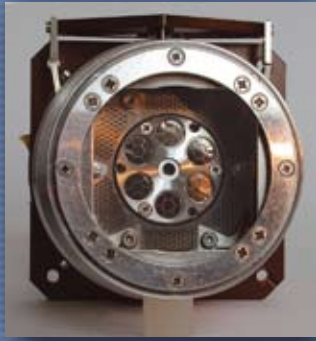
En Marte, ambos rover (robots) se movilizan en forma autónoma, porque las señales de radio para controlarlos directamente desde la Tierra tardarían demasiado en llegar.

bió el primer espectro en el centro de control de la NASA en Pasadena, California. Como el brazo robótico cargado de instrumentos estaba retraído, el espectrómetro APXS sólo logró ver la **atmósfera marciana**.



A

► El robot explorador de Marte prepara mediciones de una piedra. Su brazo móvil posee una herramienta para tomar y cortar muestras de piedra y otros tres instrumentos para estudiar las muestras con mayor precisión.



Con el Espectrómetro de Rayos X-Partículas Alfa (APXS), desarrollado y construido por el personal del Instituto Max-Planck de Química de Maguncia, los investigadores pueden estudiar la composición química de las rocas, directamente en la superficie de Marte. El cabezal de sensado alberga fuentes radioactivas de Curio 244. Estas “bombardean” las muestras de roca con rayos Alfa y X, con lo cual, las muestras comienzan a irradiar rayos X que el equipo captura con un detector. Con los espectros así obtenidos se divisan líneas con las que pueden identificarse elementos químicos individuales como por ejemplo sodio, aluminio, silicio, potasio, calcio, hierro y cinc.

B

→ El espectro radiológico medido no reveló nada nuevo, en cambio demostró que el APXS trabajaba perfectamente en la superficie marciana.

Las violentas e intermitentes tormentas de polvo en Marte transportan una buena mezcla de este material a través de largas distancias. Por lo tanto, todas las superficies, rocas y suelo quedan cubiertas por una delgada capa de polvo. La primera medición de polvo realizada por el APXS del *Opportunity* mostró después de aterrizar en el cráter *Eagle*, que su composición química no era muy diferente que en otras zonas de amortizaje; las mediciones de *Spirit*, su mellizo, en el cráter Gusev situado en el lado opuesto al Ecuador marciano, dieron por resultado valores similares. Los **espectros radiológicos** muestran líneas características de los principales elementos que forman rocas (sodio, magnesio, aluminio, silicio, potasio, calcio, titanio y hierro) y las líneas de azufre y cloro, características de la arena marciana.

Se supone que *Spirit* y *Opportunity* ante todo deberían ayudar a responder una pregunta: ¿puede ser que en este planeta completamente seco y polvoriento fluyera agua hace miles de millones de años? Sin agua no hay vida: por eso, muchos investigadores que se especializan en Marte sólo se concentran en la búsqueda de este líquido. Ambos *rover* encontraron indicios de que debió haber existido agua en la superficie en la fase inicial del planeta hace tres o cuatro mil millones de

años. Entre otras observaciones, el sitio de amortizaje de *Opportunity* estaba cubierto de pequeñas esferas, a las que los investigadores dieron el apodo de *Blueberries* (arándanos). Estas esferas tienen un alto contenido de hierro y consisten en su mayor parte de hematita, un mineral formado por óxido de hierro. Por lo general, la hematita se forma en un entorno de efecto oxidante y rico en agua. Por otra parte, el espectrómetro Mössbauer comprobó la presencia de jarosita en ambos puntos de aterrizaje. Se trata de un mineral que solo puede formarse en presencia de agua.

RASTROS DE AGUA

Además, otras mediciones efectuadas en una formación clara de rocas en el cráter *Eagle* demostraron que, contrariamente a lo esperado por los investigadores, aquí no había basaltos simples, sino sedimentos que consisten en una mezcla de polvo marciano y sales de azufre en alta concentración. “Tales concentraciones de azufre de hasta 9,9 % del peso sólo pueden explicarse mediante un alto e inusual porcentaje de azufre en las rocas”, dice Johannes Brückner. Los científicos del Max-Planck consideran que la kieserita, un sulfato de magnesio que en Alemania se encuentra, por ejemplo, en los depósitos de sal de la piedra calcárea probablemente sea el principal portador de azufre junto con otros sulfatos. El experto en Marte de Maguncia explica: “Es posible que *Opportunity* esté parado sobre los restos de un lago salado seco”, y agrega: “Tampoco debe descartarse que las

rocas fueran transformadas por soluciones hidrotermales ácidas y ricas en azufre”.

Del otro lado de Marte, *Spirit* al principio tuvo dificultades para encontrar rastros de agua. A pesar de que un gran valle fluvial desemboca en el cráter Gusev, hoy el lugar de amortizaje es un desierto cubierto de polvo rojizo y de montículos de rocas diseminadas. El análisis químico de la roca con el espectrómetro APXS dio por resultado una composición basáltica. Lo inédito de este descubrimiento es la alta concentración de bromo en una de las piedras, lo que sugiere que ha actuado la humedad, porque las sales de bromo son fácilmente solubles en agua. Como en el entorno no había otras señales de agua, el equipo de la NASA resolvió dirigir el rover hacia una cadena montañosa a más de dos kilómetros de distancia del lugar.

En la cadena montañosa *Columbia Hills*, *Spirit* descubrió piedras completamente diferentes a las encontradas antes en Marte, incluyendo los sedimentos de Meridiani. Algunas rocas tienen un alto porcentaje de elementos volátiles, como azufre y cloro, de lo cual se deduce que sobre el cráter Gusev antiguamente llovían ceniza y gases con contenido de azufre desde un volcán cercano, que después tomaban contacto con el agua y formaban sedimentos. Si bien hoy la cadena *Columbia Hills* se eleva a unos 200 metros sobre la llanura de Gusev, en tiempos remotos quizás estuviera en el fondo de un lago – ahora cráter. La composición química

y mineral de las rocas y de las capas de polvos ricas en sulfato en una cañada, señalan que aquí soluciones, que en ese momento eran ácidas y acuosas, reaccionaron con el material existente.

También los instrumentos de medición de la nave-orbitadora Mars Express, de la Agencia Espacial Europea ESA, lanzada al espacio en junio de 2003, buscan indicios de que alguna vez hubo agua. La cámara estéreo de alta resolución HRSC (en inglés: **High Resolution Stereo Camera**) fue desarrollada por el Centro Alemán de Navegación Aeroespacial (DLR) de Berlín-Adlershof. A pesar de las temperaturas espaciales extremas en la órbita de Marte, que oscilan entre los 100 grados bajo cero y los 100 grados centígrados, y siendo blanco del bombardeo de la radiación cósmica de alta energía y del **viento solar**, la cámara estéreo funciona perfectamente a bordo de la nave espacial europea. Se trata del primer sistema de cámaras a bordo de una sonda planetaria, capaz de reproducir una superficie combinando alta resolución, 3-D y color. El software para la evaluación de los datos fue desarrollado por el personal del Instituto Max-Planck de Investigación del Sistema Solar de Katlenburg-Lindau.

Después de tres años y de casi 4.000 órbitas alrededor de Marte, la cámara estéreo ha fotografiado 45 millones de kilómetros cuadrados equivalentes a un tercio de la superficie de Marte, que a su vez equivalen a la superficie de todos los continentes de la Tierra. Las tomas fotográficas tienen una resolución de entre diez y veinte metros por píxel. Casi 80 millones de kilómetros cuadrados fueron registrados con una resolución un poco menor de 40 metros por píxel: esto equivale aproximadamente a ocho veces la superficie de Europa. En total fue fotografiado el 68 por ciento de la superficie marciana, equivalente a casi 100 millones de kilómetros cuadrados de la misma (**Fig. C**). Los datos de las imágenes se compilan desde el año 2007 para crear un atlas cartográfico tridimensional permitiendo así que los científicos del mundo especializados en el Planeta Rojo accedan a los modelos orográficos digitalizados.

A los científicos del mundo entero especializados en Marte, todavía les llevará años evaluar la enorme cantidad de datos que *Mars Express* ha transmitido a la Tierra (aproximadamente 1,5 terabytes de datos comprimidos sin procesar). De todos modos, las primeras conclusiones científicas evidencian que los

volcanes gigantes de Marte probablemente estuvieran todavía geológicamente activos en tiempos recientes – hace unos pocos millones de años - aunque con escasa magnitud de flujo. Por eso no se descarta que algunas montañas marcianas de más de 20 km de altura pudieran reactivarse esporádicamente desde el interior del Planeta Rojo. Cerca del Ecuador, donde las temperaturas también pueden superar el punto de congelamiento a diferencia del frío extremo que impera en el resto del planeta, pudieron identificarse glaciares relativamente jóvenes cubiertos de polvo.

LA SUPERFICIE DE MARTE EN 3-D

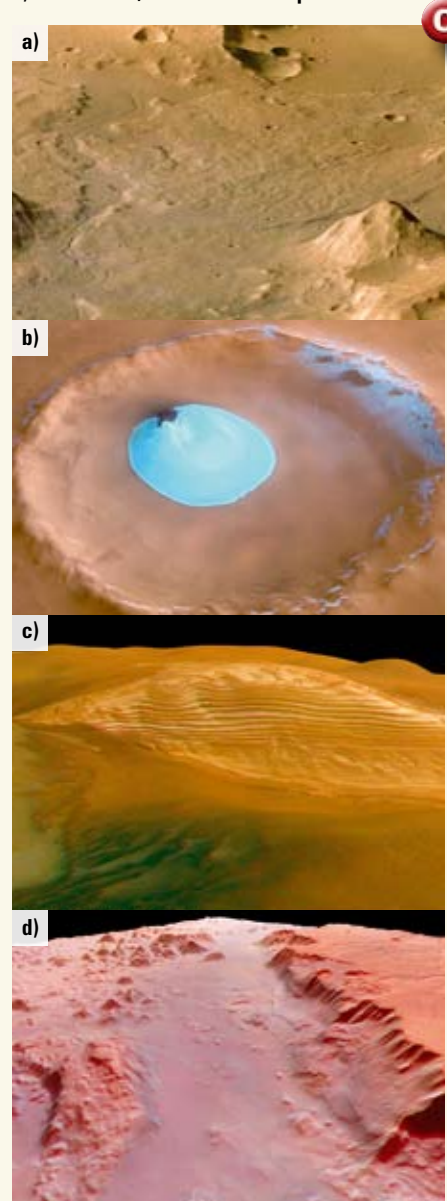
El equipo de HRSC también analizó los valles marcianos, llamativamente sinuosos, al parecer, erosionados por los ríos hace miles de millones de años. Canales de descarga fluvial –antiguamente lechos de ríos- en lo profundo del valle delatan su presencia. Por primera vez se pudo medir la profundidad de un valle fluvial como éste en el Planeta Rojo con la ayuda de los datos tridimensionales de la cámara estéreo. Del ancho y de la profundidad del lecho, hoy seco, pudo deducirse el caudal medio de dicho río. Para sorpresa de los investigadores, con aproximadamente 5.000 metros cúbicos por segundo, sólo duplicaba el actual caudal del Rin. “Dado el tamaño de los valles, en parte gigantescos, se habrían esperado caudales mayores”, comenta uno de los geólogos del DLR. Los resultados de medición señalan que hace aproximadamente 3.500 millones de años se sucedieron varias fases breves de actividad de ríos durante un periodo comparativamente largo de algunos 100 millones de años.

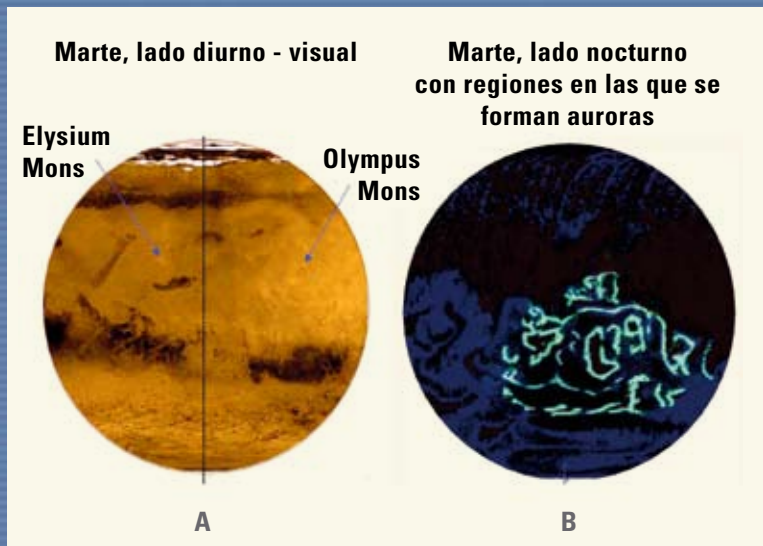
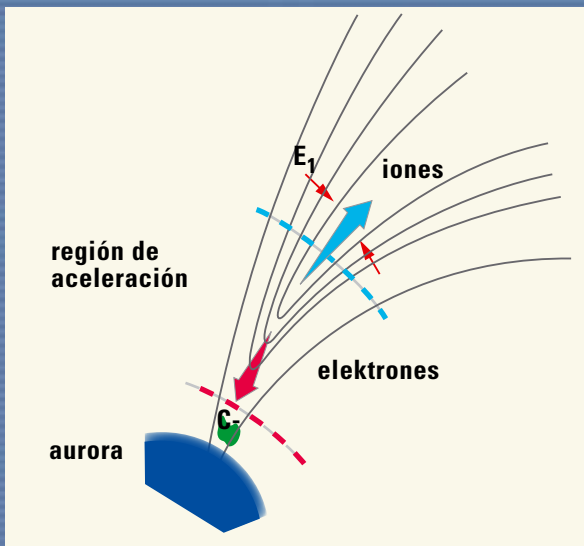
Sin embargo, en virtud de las tasas de erosión, la escorrentía y el transporte de los sedimentos que se determinaron, resulta improbable que el caudal de agua fuera constante durante ese extenso periodo. Los investigadores parten del supuesto de que los ríos sólo trasladaron agua durante periodos cortos y que luego volvieron a quedar secos durante millones de años. Este fenómeno demostraría que en Marte, el agua no desempeñó, ni siquiera en su etapa temprana, un papel continuo, sino sólo esporádico. De todos modos, hasta la fecha los investigadores no pueden explicar a través de qué procesos se suscitaron estos episodios de corrientes de agua en el Planeta Rojo. Es posible que el vulcanismo tuviera un rol clave deritiendo las masas de hielo acumuladas en el subsuelo.

Hoy, la superficie de Marte está completamente seca y debido a su atmósfera muy fina, tampoco puede retener agua en estado líquido, ya que se evapora de inmediato. Sólo en los muy fríos casquetes polares marcianos encontraremos hielo. Por eso, uno de los mayores enigmas de la ciencia planetaria es cómo Marte perdió su densa atmósfera. Desde hace algunos años, los científicos discuten, si el viento solar fue erosionando la atmósfera del Planeta Rojo en el transcurso de los últimos tres mil millones de años. Este gas con carga eléctrica (plasma) consiste, princi-



- ▼ a) Un lecho seco que salta a la vista como una delgada ranura, insertada en un valle de mayor tamaño de la región montañosa Libya Montes.
- b) Cráter con agua congelada.
- c) Montaña de 2.500 metros de altura en Juventae Chasma. Sus estratos consisten, en parte, en sulfatos (minerales de azufre) hidratados, es decir que contienen agua.
- d) Eos Chasma, el “cañón del crepúsculo”.





© Rickard Lundin / Mats Holmstrom / IRF

▲ La ilustración muestra cómo un embudo magnético acelera iones positivos alejándolos de Marte, mientras que los electrones impactan en la atmósfera del planeta, donde ocasionan los fenómenos de aurora. La imagen de la derecha (B) muestra el lado nocturno de Marte, durante una tormenta solar como se la observaría con ayuda de un telescopio sensible. A lo largo de los campos de la corteza en el hemisferio sur se forman las luces de una aurora. En el lado diurno (izquierda - A), la ionosfera del planeta impide que se formen auroras.

→ palmente, en protones, electrones y en una menor proporción en iones de helio y oxígeno y otros iones. Este viento se desplaza desde el sol al espacio a una velocidad promedio de unos 400 kilómetros por segundo. Con el analizador de plasmas espaciales y átomos energéticos ASPERA-3 (del inglés: **A**nalyzer for **S**pace **P**lasmas and **E**nergetic **A**toms) a bordo de la nave espacial *Mars Express*, los investigadores analizan como interactúan el viento solar y la atmósfera marciana.

En un primer trabajo, los colegas suecos del equipo determinaron la fuga total de iones energéticos de la superficie del planeta. Según estos estudios, el flujo de fuga de gases de la atmósfera es menor que las predicciones realizadas con modelos. "Si estos resultados pudiesen confirmarse en forma independiente, en realidad estaríamos ante un tipo de proceso diferente de reducción de la atmósfera, por ejemplo debido a un impacto masivo", explica Markus Fränz del Instituto Max-Planck de Investigación del Sistema Solar de Katlenburg-Lindau.

Con ASPERA-3, los científicos también pudieron demostrar que los iones positivos (presuntamente los iones de oxígeno, el tipo de ión más abundante en la atmósfera de Marte por encima de los 200 kilómetros de altura) son acelerados en embudos magnéticos que los alejan de Marte, mientras que los electrones impactan la atmósfera del planeta y producen el fenómeno de las auroras (Fig. D). Porque en el hemisferio sur de

Marte hay potentes campos magnéticos (que parecieran ser vestigios de un **campo magnético** original de la corteza del planeta) de estructura muy heterogénea en comparación con embudos magnéticos locales. Los geofísicos sospechan desde hace largo tiempo que en los embudos (como en los casquetes polares de la Tierra) se producirían fenómenos de auroras, es decir **auroras boreales**. Ahora, con el espectrómetro ultravioleta SPICAM en *Mars Express*, pudieron observar la aurora marciana directamente a través de su radiación UV.

SE FORMA UNA TORMENTA DE POLVO

Mientras los investigadores de Marte todavía se devanan los sesos con la avalancha de datos que aparecen en sus computadoras, los dos pequeños robots que circulan por Marte van perdiendo ímpetu: en la última semana de junio, una tormenta de polvo azotó el oeste de la llanura Meridiani. Los científicos esperan que *Opportunity* supere la tormenta. El polvo impide que gran cantidad de luz solar llegue a la superficie del planeta. Las células solares que producen la energía eléctrica para el funcionamiento del robot, sólo obtienen su potencia de la luz difusa. Para ahorrar la energía de las baterías, se han suspendido los traslados del rover y las observaciones. Mientras tanto, la tormenta de polvo también alcanzó la zona de aterrizaje del *Spirit* y dificulta el desarrollo de sus actividades. Si la tormenta siguiera durante mucho tiempo más o fuera aún más densa, los dos vehículos podrían correr serios riesgos, porque no pueden prescindir total-

mente de la energía: su electrónica y sus baterías no superarían las frías noches marcianas sin calefacción.

Las inhóspitas condiciones que imperan en el Planeta Rojo ya han puesto un punto final a misiones anteriores. Al comenzar el invierno, las temperaturas nocturnas descienden a menos de 80 grados centígrados bajo cero. Las bajas temperaturas provocaron que las baterías del rover *Sojourner*, que en 1997 había sido enviado a Marte en el marco de la Misión *Pathfinder*, dejaron de funcionar por el frío. Pero de día, el rover revivía siempre que la luz solar alcanzara sus paneles solares. Pasados tres meses, el módulo de aterrizaje dejó de funcionar, tanto que *Sojourner* ya no pudo comunicarse con la Tierra. El vehículo *Sojourner* fue la prueba de funcionamiento para los dos rover (*Spirit* y *Opportunity*) que lo sucedieron y que están transitando Marte desde hace tres años. Superan por mucho el plazo esperado por los científicos, por lo que parece que *Sojourner* preparó muy bien el terreno.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, departamento de información y relaciones públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

La Versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.

explora
Un Programa CONICYT



DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico