

# LA GRAN AVENTURA DE LA EXPLORACIÓN DE MARTE

LUIS VÁZQUEZ MARTÍNEZ \*

\* Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Valverde, 22. 28004 Madrid. lvazquez@fdi.ucm.es

## RESUMEN

Se presenta una panorámica comparativa de las características fundamentales de Marte y la Tierra junto con una descripción de las misiones a Marte. Se hace especial énfasis en las misiones actuales así como en el análisis del contexto de la exploración de Marte.

## ABSTRACT

A comparative panoramic view of the general features of Mars and Earth is presented together with a description of the missions to Mars with special emphasis in the present ones. The framework of Mars exploration is analyzed.

## 1. INTRODUCCIÓN

El planeta Marte con su color rojo ha estimulado la imaginación de los observadores del cielo desde las más antiguas civilizaciones, y fue el símbolo del fuego y la guerra en muchas mitologías. Después de Venus, Marte es el planeta más cercano a la Tierra. Galileo Galilei fue el primero que observó Marte con su primitivo telescopio en 1609, y podemos decir que varios parámetros esenciales de Marte ya son conocidos desde hace más de 100 años. Mediante el telescopio es posible distinguir los casquetes polares presentes durante el invierno y prácticamente ausentes en el verano marciano, así como la presencia de una atmósfera cuya transparencia depende de las condiciones meteorológicas que incluyen gigantescas tormentas de polvo. Gracias a los telescopios se elaboraron los primeros mapas de Marte. Actualmente

se está preparando la cartografía marciana a diferentes escalas gracias a los datos que están proporcionando las misiones presentes de exploración de Marte. Todo ello ofrece retos similares a la elaboración de la cartografía de América en siglos pasados.

En la Tabla I se representan las características principales de Marte y de su órbita comparándolas con las de la Tierra, mientras que en la Tabla II se representa la composición de la atmósfera de Marte.

Magnitud	Marte	La Tierra
Masa	$0.64 \times 10^{24}$ Kg.	$5.80 \times 10^{24}$ Kg.
Diámetro	6794 Km.	12756 Km.
Densidad media	3.9 g/cm <sup>3</sup>	5.5 g/cm <sup>3</sup>
Gravedad	3.73 m/s <sup>2</sup>	9.81 m/s <sup>2</sup>
Inclinación de la órbita	1.85°	0.00
Excentricidad	0.09	0.02
Inclinación del Eje	25.19°	23.93°
Distancia media al Sol	$227.9 \times 10^6$ Km.	$149.6 \times 10^6$ Km.
Rotación	24.623 h. (1 sol)	23.934 h.
Traslación	687 días Tierra 667 días Marte	365.256 días
Temperatura media en la superficie	-55. C	15. C
Presión atmosférica media en la superficie	5.6 mb	1013 mb
Satélites	Fobos y Deimos	Luna

Tabla I. Características principales de Marte.

Gas	Abundancia
CO <sub>2</sub>	95.32% (Variable)
N <sub>2</sub>	2.7%
Ar	1.6%
O <sub>2</sub>	0.13%
CO	0.07%
H <sub>2</sub> O	0.03% (Variable)
Ne	0.00025%
Kr	0.00003%
Xe	0.000008%
O <sub>3</sub>	0.000003%

**Tabla II.** Composición de la atmósfera de Marte.

La distancia media al Sol o radio orbital medio es consecuencia de la historia de la formación del Sistema Solar, y se encuadra en la distribución de los planetas descrita por la ley de Titius-Bode. Este dato combinado con la tercera ley de Kepler nos proporciona el periodo de traslación. El periodo de rotación de Marte, así como la inclinación de su eje, son el resultado de grandes bombardeos de asteroides ocurridos hace 4.000 millones de años. Como resultado de la excentricidad de la órbita, las estaciones marcianas son hemisféricamente asimétricas de forma que los veranos en el hemisferio sur son más cortos y calientes y los inviernos más fríos y largos que en el hemisferio norte.

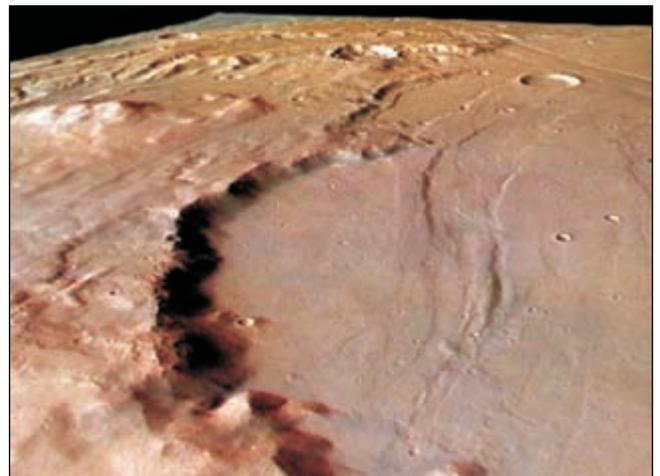
### Atmósfera Marciana

La composición de la atmósfera marciana consiste fundamentalmente de dióxido de carbono, CO<sub>2</sub> (95%), nitrógeno, N<sub>2</sub> (2.7 %) y argón, Ar (1.6%). En mucho menor porcentaje se encuentran oxígeno, O<sub>2</sub>, monóxido de carbono, CO, vapor de agua, H<sub>2</sub>O y otros gases nobles tal como se indica en la Tabla II. La presión de 5.6 mb en la superficie marciana es comparable a la presión de la atmósfera terrestre a una altura de 30 Km. Uno de los factores que ha influido en la pequeña



**Figura 1.** Foto de Marte obtenida por el Mariner 4.

presión atmosférica es el valor de la gravedad, que es aproximadamente un tercio del valor terrestre. A diferencia de la Tierra, en Marte hay una gran variación de temperatura del día a la noche debido a la baja densidad de la atmósfera y la ausencia de océanos. Desde las observaciones de la misión Viking se conoce que hay tres ciclos anuales que determinan el clima de Marte y que son el ciclo del CO<sub>2</sub>, el ciclo del H<sub>2</sub>O y el del polvo, que a su vez están acoplados. La característica fundamental del ciclo de CO<sub>2</sub> es que, de acuerdo con las estaciones, se produce la condensación y sublimación en las regiones polares de un 25% de la masa total atmosférica. Este ciclo está controlado por la capacidad radiactiva a altas latitudes. El ciclo del agua ha sido observado mediante el estudio de la evolución del vapor de agua en la atmósfera. Los vientos y tormentas de polvo, locales y globales, son otros mecanismos relevantes que contribuyen a con-



**Figura 2.** Foto de la superficie de Marte (ESA).



**Figura 3.** Imagen de Marte donde se aprecian los Valles Marineris cerca del ecuador a 8° latitud sur.

figurar la atmósfera y superficie marcianas. Por otra parte, la atmósfera de Marte no tiene capa de ozono y es generalmente transparente a la radiación solar, pero el polvo atmosférico absorbe la radiación solar y calienta la atmósfera. Entender estos mecanismos está entre los objetivos de las misiones a Marte.

### Superficie Marciana

Las grandes llanuras abundan en el hemisferio norte, que es en promedio 6 km más bajo que el hemisferio sur, caracterizado a su vez por la presencia de muchos cráteres. Entre los 60° de latitud norte y el ecuador se encuentran las grandes planicies de Vastitas Boreales, Arcadia Planitia, Acidalia Planitia y Chryse Planitia, donde aterrizó el Viking 1 y desde donde se recibieron las primeras imágenes de la superficie de Marte tomadas in situ. Entre los cráteres del hemisferio sur está el cráter de impacto Hellas Basin de 2300

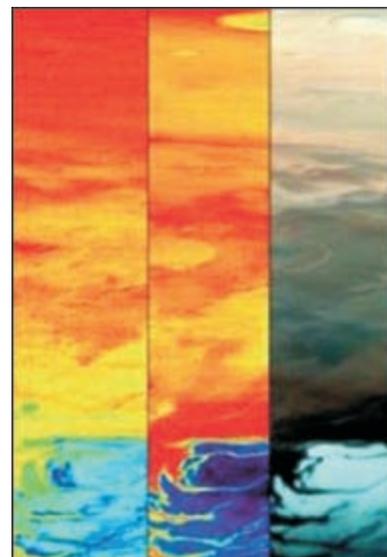


**Figura 4.** Foto obtenida por el robot MER-Spirit en el cráter Gusev.

Km. de diámetro y mas de 9 Km. de profundidad. En este hemisferio resalta el gran cañón de Valles Marineris de hasta 10 Km. de profundidad, 100 Km. de ancho y 4000 Km. de largo.

La superficie de Marte muestra una zona volcánica espectacular, constituida por los Tharsis Montes, Elysium Mons y Olympos Mons. Este último, con sus 25 Km. de altura sobre el nivel medio de Marte, constituye el volcán más alto que se conoce en el Sistema Solar. Con excepción del tamaño, la morfología de los volcanes marcianos es muy similar a la de los terrestres. El estudio de la morfología proporciona mucha información relativa a la naturaleza del magma y tipo de erupción, pero quedan otras cuestiones importantes abiertas como el origen de los centros volcánicos, frecuencia de la actividad volcánica y composición química del magma.

El papel desempeñado por el agua es uno de los aspectos mas intrigantes de la evolución de Marte. La atmósfera contiene una pequeñísima cantidad de agua, el agua líquida es inestable en la superficie, debido a la presión atmosférica y el hielo ha sido detectado en los casquetes polares. Las observaciones del vapor de agua en la atmósfera han permitido establecer la existencia de un ciclo del agua asociado al clima de Marte. Por otra parte, hay indicaciones de que ha existido



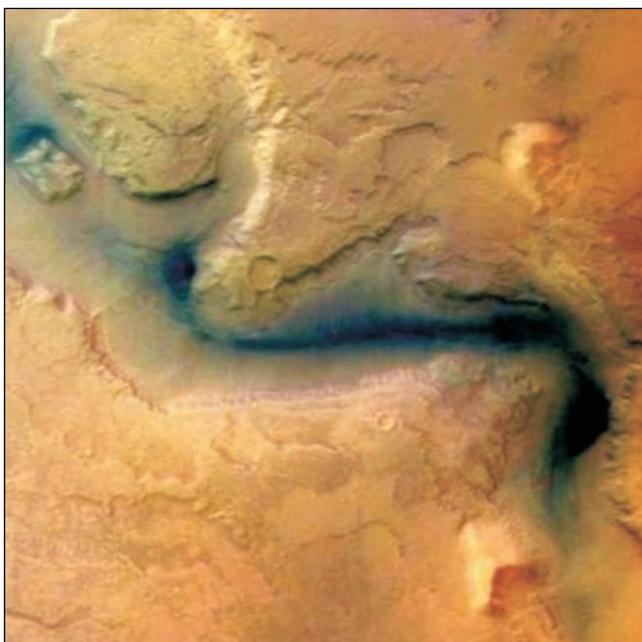
**Figura 5.** Imagen del casquete polar sur obtenido por el instrumento OMEGA (Mars Express, 18/1/2004) en tres formas diferentes, visible (derecha) e infrarrojo: medio (dioxido de carbono) e izquierda (hielo de agua).

agua líquida durante mucho tiempo en la superficie marciana.

Marte muestra dos casquetes polares compuestos de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que presentan una estructura asimétrica al final del verano. El casquete del hemisferio norte es más grande y centrado que el del hemisferio sur. Por otra parte, éste último tiene una temperatura inferior y está cubierto por una capa de CO<sub>2</sub> mientras que el del norte está compuesto por hielo de agua.

## Campo Magnético

Uno de los descubrimientos de la misión Viking fue que el suelo marciano contiene partículas altamente magnéticas. Por otra parte, las misiones Mariner 4 y Phobos mostraron que Marte tiene un campo magnético muy débil, inferior a 10<sup>-4</sup> veces el campo magnético terrestre. No está claro si esto es debido a una actividad magnética tipo dinamo muy débil o a la interacción con el viento solar. Las últimas mediciones del Mars Global Surveyor indican que el origen del campo magnético de Marte se debe más a la estructura de la corteza que a un efecto tipo dinamo, es más intenso de lo previsto por los estudios anteriores y su intensidad varía con los lugares del planeta. El campo magnético



**Figura 6.** Imagen de Reull Vallis obtenida por el HRSC (Mars Express, 15/1/2004).

Marciano puede llegar a 400 nT, siendo el campo magnético terrestre 3000 nT.

## 2. MOTIVOS PARA LA EXPLORACIÓN DE MARTE

La exploración de Marte es parte de un objetivo científico de largo alcance para entender la formación e historia del sistema solar. Su exploración está siendo el punto focal de las misiones planetarias y ofrece un escenario de esfuerzos conjuntos de varios países y grupos de investigación. En particular, esto supone una colaboración activa entre científicos e ingenieros en el marco de la comunidad internacional. De todo ello se deriva un gran arrastre científico y tecnológico.

En el ámbito de la exploración científica, algunas de las cuestiones básicas a determinar respecto a Marte son

- Las características físicas y químicas de la superficie marciana.
- La estructura de la atmósfera marciana y conocer los acontecimientos que han dado lugar a su composición actual.
- La naturaleza e historia del clima de Marte y de los procesos que controlan los cambios diarios y estacionales.
- La estructura interna de Marte y su historia.
- Determinar si en algún momento se pudo desarrollar alguna forma de vida en Marte.

En general, existe acuerdo en los tipos de investigaciones requeridas para dar respuesta a las cuatro primeras preguntas. Las diferencias radican en la prioridad. Sin embargo la cuestión relativa a verificar si existió o existe vida en Marte resulta ser la más compleja de todas las investigaciones. La gran actividad científica en este contexto se encuadra en el nuevo entorno multidisciplinar de investigación que es la Astrobiología. La búsqueda de la vida en Marte es parte de una cuestión mucho más profunda como es el problema de la naturaleza y el origen de la vida. Se trata de buscar evidencias de vida pasada o presente en otros planetas para entender nuestros orígenes. Marte es actualmente un planeta helado y seco, pero pudo

	PAÍS	LANZAMIENTO	RESULTADO(S)
Marsnik-1	URSS	10 Octubre 1960	Explosionó antes de alcanzar la órbita terrestre
Marsnik-2	URSS	14 Octubre 1960	Explosionó antes de alcanzar la órbita terrestre
Sputnik 29	URSS	24 Octubre 1962	Explosionó en la órbita terrestre
Mars 1	URSS	1 Noviembre 1962	Pasó a 200000 Km. de Marte
Sputnik 31	URSS	4 Noviembre 1962	Fallo en la órbita terrestre
Zond 1	URSS	4 Junio 1964	Fallo antes de alcanzar la órbita terrestre
Mariner 3	USA	5 Noviembre 1964	Entró en una órbita alrededor del Sol
Mariner 4	USA	28 Noviembre 1964	Primeras fotos de Marte (21)
Zond 2	URSS	30 Noviembre 1964	Fallo en las comunicaciones
Zond 3	URSS	18 Julio 1965	Destruído en la órbita terrestre
Mariner 6	USA	24 Febrero 1969	Fotos de Marte. Pasó el planeta a 3215 Km.
Mariner 7	USA	27 Marzo 1969	Fotos de Marte. Pasó el planeta a 3516 Km.
Mars 1969A	URSS	27 Marzo 1969	Fallo en el lanzamiento
Mars 1969B	URSS	2 Abril 1969	Fallo en el lanzamiento
Mariner 8	USA	8 Mayo 1971	Fallo en el lanzamiento
Cosmos 419	URSS	10 Mayo 1971	Fallo en el lanzamiento
Mars 2	URSS	19 Mayo 1971	Segundo satélite artificial de Marte. Modulo de superficie destruido
Mars 3	URSS	28 Mayo 1971	Tercer satélite artificial de Marte. Modulo de superficie aterrizó y emitió señales durante 20 segundos
Mariner 9	USA	30 Mayo 1971	Primer satélite artificial de Marte (7329 Fotos)
Mars 4	URSS	21 Julio 1973	Pasó a 9846 Km. de Marte
Mars 5	URSS	25 Julio 1973	Operativo durante 9 días en órbita marciana. (60 Fotos)
Mars 6	URSS	5 Agosto 1973	El módulo de superficie envió datos durante el descenso pero se estrelló
Mars 7	URSS	9 Agosto 1973	El módulo de superficie pasó a 1500 Km de Marte
Viking 1	USA	20 Agosto 1975	Primeras medidas en la superficie. Operativo durante varios años
Viking 2	USA	9 Septiembre 1975	Segundo módulo de superficie con éxito. Operativo durante varios años
Phobos 1	URSS	7 Julio 1988	Fallo de las comunicaciones en el camino a Marte
Phobos 2	URSS	12 Julio 1988	Contacto perdido durante la obtención de fotos del satélite Phobos
Mars Observer	USA	25 Septiembre 1992	Contacto perdido en el camino a Marte
Mars Global Surveyor	USA	7 Noviembre 1996	El funcionamiento hasta Noviembre de 2006
Mars-96	Rusia	16 Noviembre 1996	Falló al dejar la órbita terrestre
Mars Pathfinder	USA	4 Diciembre 1996	Primer vehículo robot que aterriza. Más de 16000 fotos enviadas
Nozomi	Japón	4 Julio 1998	Falló antes de entrar en órbita marciana
Mars Climate Orbiter	USA	11 Diciembre 1998	Perdido antes de entrar en la órbita Marciana (23 septiembre 1999)
Mars Polar Lander	USA	03/01/99	Perdido en la operación de aterrizaje
Mars Odyssey	USA	7 Abril 2001	Continua en funcionamiento
Mars Express	ESA	2 Junio 2003	Módulo orbital en funcionamiento; Módulo de superficie (Beagle 2) perdido.
Mars Exploration Rover: Spirit	USA	10 Junio 2003	En funcionamiento
Mars Exploration Rover: Opportunity	USA	7 Julio 2003	En funcionamiento
Mars Reconnaissance Orbiter	USA	12 Agosto 2005	En funcionamiento
Phoenix	USA	4 Agosto 2007	Ha funcionado lo previsto

Tabla III. Misiones a Marte.

albergar mares en tiempos pasados. En este contexto, Marte ofrece un entorno único para estudiar la evolución desde un clima húmedo a un medio ambiente extremo y seco, con grandes fluctuaciones de temperatura, presión atmosférica muy pequeña y radiación cósmica intensa en la superficie. Entender la transformación de Marte a su estado actual será de gran ayuda para estudiar nuestro propio entorno Terrestre. Uno de los objetivos principales de la misión Viking de la NASA (1976) fue investigar la existencia de vida en Marte. Los resultados obtenidos por los dos módulos de superficie indicaron que no había organismos vivos en los dos lugares de aterrizaje (Chryse Planitia y Utopia Planitia). Sin embargo, y teniendo en cuenta las condiciones climáticas actuales de Marte, no puede excluirse la existencia de entornos a diferente profundidad capaces de suministrar agua líquida y fuentes de energía apropiadas a una biota existente. En este contexto, la búsqueda de reservas de agua y hielo en el subsuelo de Marte es un objetivo prioritario. Otro objetivo es buscar indicadores de actividad biológica pasada. En 1996 la NASA anunció que microorganismos fosilizados podrían estar presentes en el meteorito Marciano ALH 84001 encontrado en la Antártida en 1984. Sin embargo, las evidencias científicas encontradas no son concluyentes y sugieren la necesidad de estudiar los límites de la vida en cuanto a las condiciones del medio ambiente y la información génica mínima de un organismo vivo.

Cada 26 meses hay oportunidad de enviar misiones a Marte, al haber un alineamiento entre la Tierra, Marte y el Sol. En estas circunstancias la distancia entre los dos planetas es mínima. Dichas configuraciones se conocen como Oposiciones. La oposición que tuvo lugar en 2003 correspondió a la menor distancia entre los dos planetas en 60.000 años. Desde 1960 ha habido 40 misiones a Marte. La Unión Soviética/Rusia ha enviado 20, Estados Unidos 18, Europa 1 y Japón 1. Se acompaña un resumen de las mismas en la Tabla III.

### 3. PROGRAMA PARA LA EXPLORACIÓN DE MARTE

En una reunión celebrada en Wiesbaden (Alemania) en Mayo de 1993 se creó el International Mars Exploration Working Group (IMEWG) con represen-



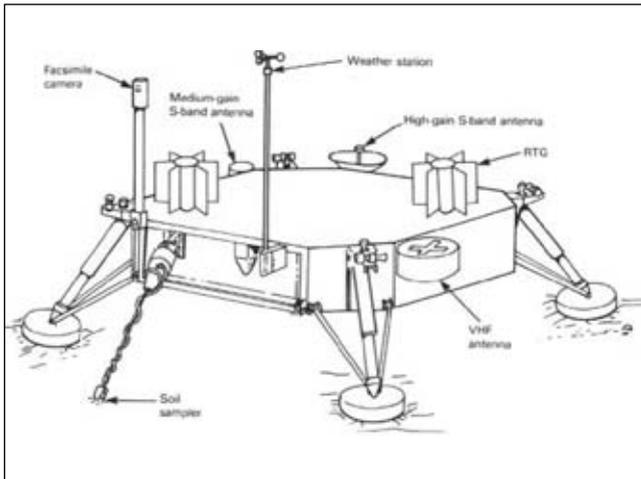
**Figura 7.** ¿Agua en el subsuelo Marciano? Composición artística.

tantes de todas las agencias del espacio y las instituciones principales que participan en la Exploración de Marte. Desde entonces, el IMEWG celebra dos reuniones anuales para discutir la estrategia general para la exploración de Marte. La estrategia es lo suficientemente específica para identificar objetivos a medio y largo plazo, y flexible para acomodar los objetivos a las realidades financieras y a los distintos programas espaciales.

En este contexto, se enmarca el Programa de Exploración de Marte (Mars Exploration Program, MEP) de la Agencia Espacial Americana, NASA, cuyo Comité MEPAG (Mars Exploration Program Análisis Group) actualizó en 2003 el documento para la exploración de Marte “Scientific Goals, Objectives, Investigations and Priorities” (Ed. R. Greeley, 2001). Para ello ha tenido en cuenta las nuevas misiones y el análisis de datos de las mismas y de otras misiones anteriores. El plan es actualizar los fines y objetivos de



**Figura 8.** Mariner 4. Lanzado por la NASA el 28 de Noviembre de 1964.



**Figura 9.** Esquema del módulo de superficie Viking.

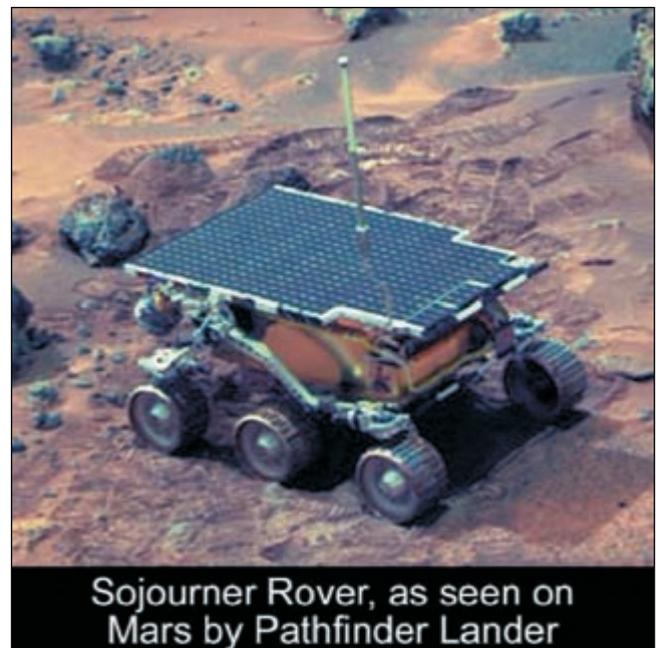
la exploración cada dos años, correspondiendo con cada oportunidad de lanzamiento a Marte.

El documento anterior establece cuatro fines fundamentales para la exploración de Marte:

- i) *Determinar si pudo haber, ha habido y todavía perdura alguna forma de vida en Marte.* En este contexto hay tres aproximaciones esenciales: búsqueda de vida existente, manifestaciones de vida pasada y caracterización de la distribución y flujos de elementos biológicos esenciales. Estas cuestiones científicas pueden ser afrontadas simultáneamente teniendo en cuenta que todas ellas requieren el conocimiento básico de las distribuciones del agua y el carbono en Marte así como entender los procesos que regulan sus ciclos en el contexto del medio ambiente Marciano.
- ii) *Entender los procesos y la historia del clima de Marte.* Las cuestiones científicas fundamentales subyacentes son el entender la evolución del clima de Marte hasta llegar a la situación actual, así como los procesos que han controlado dicha evolución. Todo ello supone estudios de la atmósfera a diferentes escalas.
- iii) *Determinar la evolución de la superficie y el interior de Marte.* Conocer la composición, estructura e historia de Marte es fundamental para entender el Sistema Solar como un conjunto, a la vez que nos proporciona información en la historia y procesos de la Tierra.

- iv) *Preparación para la exploración humana de Marte.* Como en el caso de la exploración de la Luna, las misiones robóticas a Marte son las precursoras de la exploración por el hombre. Se trata de incrementar la seguridad, disminuir el coste e incrementar la productividad de las tripulaciones humanas en Marte que añadirán una nueva dimensión al descubrimiento y exploración del planeta. Hay una serie de objetivos fundamentales de investigación como son el determinar los niveles de radiación en la superficie Marciana, propiedades toxicológicas de los materiales de la superficie, efectos eléctricos de la atmósfera, medidas de los parámetros atmosféricos y sus variaciones que afectan a los vuelos y a los sistemas de superficie.

Este proyecto exigirá décadas de esfuerzo y supone que se deberán desarrollar las siguientes capacidades básicas: (1) *Acceso a todas las zonas de Marte, diferentes latitudes y altitudes.* (2) *Acceso al subsuelo de Marte, hasta cientos de metros de profundidad.* (3) *Acceso a los fenómenos que varían con el tiempo, lo cual supone realizar medidas sobre largos periodos de tiempo y que son fundamentales para los estudios climáticos.* (4) *Acceso a las escalas microscópicas, con instrumentos capaces de medir las composiciones*



**Figura 10.** El Rover Sojourner del Mars Pathfinder, primer vehículo robot en la superficie de Marte.



**Figura 11.** La Mars Odissey lanzada por la NASA el 7 de abril de 1996.

química e isotópica y su mineralogía. Muchas de las medidas necesarias pueden hacerse con instrumentos en módulos orbitales o de superficie, pero otros requieren que el estudio de las muestras marcianas se efectúe en la Tierra. Existe, por tanto, un amplio consenso sobre la necesidad de que las misiones a Marte incluyan el regreso a la Tierra.

#### 4. LA EXPLORACIÓN ACTUAL DE MARTE

Merece una mención especial la *Misión Nozomi* la primera misión a Marte enviada por Japón. La sonda fue lanzada el 4 de Julio de 1998., y se aproximó a Marte a una distancia de 1000 km el 14 de Diciembre de 2003, pero no fue posible situarla en una órbita marciana.

En el ámbito de la exploración reciente se han de resaltar las siguientes misiones:

1. *Mars Global Surveyor (MGS)* lanzado por la NASA el 7 de Noviembre de 1996. Su misión fundamental ha sido la preparación de un mapa

global de Marte a la vez que recoger datos para estudiar el clima, dinámica del agua y el polvo en la atmósfera, la topografía superficial, así como los campos gravitatorio y magnético de Marte. Con el instrumento Mars Orbiter Laser Altimeter” (MOLA) ha tomado más de 600 millones de fotos de la superficie con una resolución horizontal de 0.2 Km. En particular, ha detectado cambios anuales en el espesor del casquete polar de 1 m. La información de la misión se utiliza para planificar futuras misiones robóticas y tripuladas a Marte. Ha terminado su actividad en Noviembre de 2006.

2. *Mars Odyssey* lanzado por la NASA el 7 de Abril de 2001. Su objetivo es el estudio del clima, la historia geológica, la distribución de agua y el entorno de radiación en Marte. El estudio mediante THEMIS (The Thermal Emission Imaging Systems) de las partes visible e infrarroja del espectro de la superficie de Marte permite determinar la distribución de minerales en la misma. Por otra parte con el GRS (The Gamma Ray Spectrometer) se trata de analizar la radiación gamma del espectro para determinar la presencia de 20 elementos del sistema periódico (carbono, silicio, hierro, magnesio,...) a la vez que se utiliza para estudiar la presencia de agua y hielo en la superficie con los detectores de neutrones. Una vez completado el programa de investigación, Mars Odyssey será utilizado como repetidor para facilitar las comunicaciones en próximas misiones.
3. *Mars Express* lanzado por la Agencia Espacial Europea, ESA, el 2 de Junio de 2003. Es la primera misión de la ESA a Marte, y la primera misión Europea a otro planeta. El módulo de superficie, *Beagle 2*, se perdió durante la fase de aterrizaje y su misión fundamental era buscar signos de vida pasados o presentes en la zona de *Isidis Planitia*. El módulo orbital Mars Express está llevando a cabo las investigaciones programadas que proporcionan datos globales sobre la superficie, el subsuelo y la atmósfera de Marte. Para ello dispone de los siguientes instrumentos: (1) High Resolution Stereo Camera (HRSC) que proporciona una imagen del planeta en color, 3D y con una resolución de 10 m., a la vez que dispone de un canal con resolución de 2 m. (2) Visible and Infrared Mineralogical Mapping



**Figura 12.** Uno de los dos vehículos robots gemelos (*Spirit* y *Opportunity*) de la misión Mars Exploration Rover.

Spectrometer (OMEGA) para obtener un mapa de la composición mineralógica de la superficie así como información sobre la composición atmosférica. (3) Sub-surface Sounding Radar Altimeter (MARSIS) para determinar la estructura del subsuelo hasta varios kilómetros. (4) La composición de la atmósfera está siendo estudiada con el Planetary Fourier Spectrometer (PFS) y el Ultraviolet and Infrared Atmospheric Spectrometer (SPICAM). (5) La interacción de la atmósfera con el viento solar se estudia con el Energetic Neutral Atoms Analyser (ASPERA). (6) Finalmente el estudio del comportamiento de las señales de radio en la atmósfera Marciana es realizado con el Mars Radio Science Experiment (MaRS).

4. *Mars Exploration Rovers* (MER): *Spirit* y *Opportunity* lanzados por la NASA el 10 de Junio y 7 de Julio de 2003 respectivamente. Se trata de dos vehículos robots de exploración científica que están enviando información fundamental sobre la historia de Marte. *Spirit* aterrizó en el cráter de Gusev mientras que *Opportunity* lo hizo en la zona de *Meridiani Planum*. Disponen de un Espectrómetro Mössbauer especialmente diseñado para estudiar con gran precisión la composición y abundancia de minerales que contienen hierro. Esto permitirá entender las propiedades magnéticas de los materiales de la superficie de Marte. Información sobre las composiciones química y mineralógica es proporcionada por el espectró-

metro de infrarrojo Miniature Thermal Emission Spectrometer (Mini-TES) y el Alpha Particle X-Ray Spectrometer (APXS). Hasta la fecha, el resultado más sorprendente es el descubrimiento de depósitos de sal que indican que algunas regiones del planeta estuvieron cubiertas de agua durante mucho tiempo en el pasado. La presencia de estos antiguos océanos sugiere que Marte pudo ser un mundo habitable en algún momento de su historia.

5. *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO): lanzado por la NASA el 12 de Agosto de 2005 y se encuentra orbitando alrededor de Marte desde el 10 de Marzo de 2006. Su finalidad es estudiar la superficie, subsuelo y atmósfera de Marte. En este contexto, los objetivos principales son: (1) localizar zonas de aterrizaje seguras en lugares de interés científico; (2) determinar si hay capas subterráneas de agua; (3) la meteorología diaria global de Marte. A este respecto está equipado con un radar y con cámaras para obtener fotografías de la superficie de Marte con una precisión de 30 cm. Esta misión representa un salto en cuanto a la mayor capacidad de los instrumentos enviados a Marte y el volumen de datos a enviar a la Tierra.
4. *Misión Phoenix*, se trata de un módulo de superficie lanzado por la NASA el 4 de Agosto de 2007 que aterrizó el 25 de Mayo de 2008 en Vastitas Boreales dentro del círculo polar ártico



**Figura 13.** El módulo de superficie Phoenix.

Marciano. Es la primera de una clase de misiones de la NASA a Marte de bajo coste llamadas Mars Scout. Phoenix dispone de un brazo robótico que le ha permitido analizar muestras del suelo marciano. También lleva una estación meteorológica.

## 5. FUTURAS EXPLORACIONES DE MARTE

En las próximas oportunidades están previstos los siguientes lanzamientos

*Mars Science Laboratory (MSL)* de la NASA cuyo lanzamiento se ha retrasado a 2011. Se trata de un vehículo robot que podrá analizar la composición de las rocas a distancia mediante la ayuda de un láser. También podrá recoger y fragmentar ejemplares de rocas y muestras del suelo para analizarlos con gran detalle. Los estudios de la atmósfera están previstos mediante la estación meteorológica REMS, contribución Española y Finlandesa, que consta de cinco sensores: presión, humedad, viento, temperatura del suelo y radiación ultravioleta.

*Phobos Grunt* de la Agencia Federal Rusa del Espacio (Roscosmos) cuyo lanzamiento está previsto para 2009 pero puede ser retrasado a 2011. El objetivo fundamental de la misión es recoger muestras del suelo de Fobos, una de las dos lunas de Marte, y traerlas a la Tierra para su análisis. La nave tiene capacidad para llevar al menos una estación meteorológica para ser instalada en la superficie de Marte.

La misión *ExoMars* está promovida por la ESA y el lanzamiento está previsto para 2013. La versión amplia de la misión consta de un módulo orbital, un vehículo robot y un módulo de superficie fijo (GEP: Geophysics and Environment Package).

La misión *Mars Atmosphere and Volatile Evolution (MAVEN)* que la NASA enviará en 2013 para estudiar la historia de la atmósfera y el clima de Marte. La sonda estará basada en el diseño de las sondas Mars Reconnaissance Orbiter y Mars Odyssey. MAVEN se colocará en una órbita elíptica y estudiará la atmósfera del planeta durante un año terrestre.

Después de 2013 los planes de las misiones son poco específicos. Dichas misiones estarán estructuradas en función de los descubrimientos científicos de las misiones pasadas y las que se están desarrollando. En particular, es necesario un estudio detallado de la dinámica de la atmósfera marciana a todas las escalas, lo cual va unido a los retos dominantes de la búsqueda de vida, estudio de muestras de materiales a mayores profundidades y disponer de instrumentos cada vez más miniaturizados. Para los estudios atmosféricos se está desarrollando la *Misión MetNet* con el fin de instalar una red de estaciones meteorológicas en la superficie de Marte. En este contexto, otras posibles misiones incluirán traer rocas de Marte a la Tierra así como la instalación de un Laboratorio de Astrobiología con capacidad para realizar perforaciones en la superficie de Marte. En conjunto, se tratará de investigar la posible existencia de vida pasada y presente, así como explorar la evolución de Marte.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AMARAL G., MARTÍNEZ-FRÍAS J. AND VÁZQUEZ L., UV Shielding Properties of Jarosite versus Gypsum: Astrobiological Implications for Mars, *World Applied Sciences Journal* **2**, 112-116 (2007).
2. CARR M.H., Water on Mars. Oxford University Press, Oxford, 1996.
3. GODWIN R. (Editor), Mars: The NASA Mission Reports. Apogee Books Space Series, Burlington, 2000.
4. HARRI A-M, LINKIN V., PICHKADZE K., SCHMIDT W., PELLINEN R., LIPATOV A., VÁZQUEZ L., GUERRERO H., USPENSSKY M. AND POLKKO J., MMPM-Mars MetNet Precursor Mission, *Geophysical Research Abstracts Vol. 10, EGU2008-A-08751* (2008).
5. HORNECKG. AND BAUMSTARK-KHAN CH. (Editores), Astrobiology. The Quest for the Conditions of Life. Springer-Verlag, Berlin, 2002.
6. KIEFFER H.H., JAKOSKY B.M., SNYDER C.W. AND MATTHEWS M.S. (Editores), Mars. The University of Arizona Press, Tucson, 1992.
7. Mars Exploration Program Analysis Group (MEPAG): <http://mepag.jpl.nasa.gov>.
8. MARTIN NIETO M., The Titius-Bode Law of Planetary Distances: Its History and Theory. Pergamon Press, Oxford, 1972.

9. MARTÍNEZ-FRÍAS J., AMARAL G. AND VÁZQUEZ L., Astrobiological Significance of Minerals on Mars Surface Environment, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* **5**, 219-231 (2006).
10. MARTÍNEZ G., VALERO F. AND VÁZQUEZ L. *Characterization of the Martian Surface Layer, Journal of the Atmospheric Sciences* **66**, 187-198 (2009).
11. MCKAY D.S., GIBSON E.K., THOMAS-KEPRTA K.L., VALI H., ROMANEK C.S., CLEMETT S.J., CHILLER X.D.F., MAECHLING C.R. AND ZARE R.N. *Science* **273**, 924 (1996).
12. Misiones de la NASA: [http://www.nasa.gov/mision\\_pages](http://www.nasa.gov/mision_pages)
13. Misión Mars Global Surveyor (MGS): <http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>.
14. Misión Mars-Express + Beagle 2: <http://sci.esa.int/marsexpress>, [http://www.esa.int/SPECIAL/Mars\\_Express](http://www.esa.int/SPECIAL/Mars_Express) y <http://www.beagle2.com>.
15. Misión Mars Exploration Rovers (MER): Spirit and Opportunity: <http://mars.jpl.nasa.gov/mer>, <http://marsrovers.jpl.nasa.gov>.
16. Misión Mars Odyssey 2001: <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey>
17. Misión Phoenix: <http://phoenix.lpl.arizona.edu/>
18. Misión Mars Science Laboratory: [www.fdi.ucm.es/profesor/lvazquez/video/MSL.mp4](http://www.fdi.ucm.es/profesor/lvazquez/video/MSL.mp4)
19. Misión MetNet : <http://www.ava.fmi.fi/metnet/>
20. PELLINEN R. AND RAUDSEPP P. (Editores), *Towards Mars! Vol. I.* Oy Raud Publishing Ltd. , Helsinki, 2000.
21. PELLINEN R. AND RAUDSEPP P. (Editores), *Towards Mars! Vol. II.* Oy Raud Publishing Ltd. , Helsinki, 2006.
22. SCHOFIELD J.T., BARNES J.R., CRISP D., HABERLE R.M., LARSEN S., MAGALHAES J.A., MURPHY J.R., SEIFF A. AND WILSON G., The Mars Pathfinder Atmospheric Structure Investigation / Meteorology (ASI/MET) *Experiment. Science*, **278** (5344), 1752-1758, 1997.
23. SOFFEN G.A., The Viking Project. *Journal of Geophysical Research* **82**, 3959-3970, 1977.
24. SZEGŐ K. (Editor), *The Environmental Model of Mars.* COSPAR Colloquia Series, Vol. 2. Pergamon Press, Oxford, 1991.
25. VÁZQUEZ L., LÁZARO E. AND RODRÍGUEZ-MANFREDI J.A. (Editores), *Proceedings of the III European Workshop on Exo-Astrobiology. Mars: The Search for Life.* ESA Publications Division, SP-545, Noordwijk, 2004.
26. VÁZQUEZ L, ZORZANO M.P. AND JIMENEZ S., Spectral Information Retrieval from Integrated Broadband Photodiode Martian Ultraviolet Measurements, *Optics Letters* **32**, 2596-2598 (2007).
27. VÁZQUEZ L AND ZORZANO M.P. , Remote Temperature Retrieval from Heating or Cooling Targets, *Optics Letters* **31**, 1420-1422 (2006).