



# La exploración de Marte: un reto del pasado, presente y futuro

*Exploring Mars  
A past, present and future challenge*

■ Luis Vázquez\*

## **Resumen**

En este artículo se expone una panorámica de la exploración de Marte como pieza crucial para entender, por un lado, el origen y formación del Sistema Solar, y, por otro lado, el propio entorno terrestre. Asimismo se discute la posible existencia de vida en el planeta rojo y se analizan algunas misiones futuras en las que España va a participar.

## **Palabras clave**

Marte. Exploración de Marte. NASA. Mars Exploration Program (MEP). Mars Environmental Instrumentation for Ground and Atmosphere (MEIGA).

## **Abstract**

In this article a general view of the exploration of Mars is exposed as a crucial part of better understanding, on one hand, the origin and formation of the Solar system and, on the other hand, the terrestrial environment. The possible existence of life on the red planet together with a number of future missions, where Spain is foreseen to participate, are analyzed.

## **Key words**

Mars. Mars exploration. NASA. Mars Exploration Program (MEP). Mars Environmental Instrumentation for Ground and Atmosphere (MEIGA).

---

\* El autor es catedrático del Departamento de Matemática Aplicada de la Facultad de Informática (Universidad Complutense de Madrid) y académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

■ La historia de la Humanidad está asociada a la del progreso tecnológico. Uno de los próximos pasos gigantesco será la llegada del hombre al planeta Marte y el posterior establecimiento de una colonia humana. Sin duda, la investigación de nuestro entorno planetario más próximo nos permitirá entender mejor la historia y evolución de la Tierra.

La curiosidad, la fascinación y el instinto básico de explorar lo desconocido, junto con la alegría que proporcionan los descubrimientos, son uno de los motores que empujan al hombre a investigar lo que hay en otros mundos y buscar vida fuera de nuestro planeta. Los horizontes desconocidos son inspiradores y sólo si son nuestra referencia y tratamos de ir más allá de ellos podemos hacer observaciones fascinantes.

En la exploración planetaria ha habido una serie de hitos que han ido marcando los límites de la *nueva frontera* y cada uno de ellos ha generado entusiasmo e involucrado a nuevas generaciones de científicos e ingenieros. Basta recordar los acontecimientos mundiales que significaron el lanzamiento del primer Sputnik (1957), el primer vuelo tripulado Vostok 1 (Yuri Gagarin, 1961), la llegada a la Luna con el Apolo 11 (1969), el lanzamiento del telescopio Hubble, así como las exploraciones llevadas a cabo por los robots marcianos Spirit y Opportunity.

La exploración del Sistema Solar está actuando como una fuerza de arrastre científica y tecnológica para numerosos científicos de muchos países a todos los niveles de la investigación y la técnica. De momento, sólo se ha llegado a la Luna, pero el conocimiento que tenemos sobre los Planetas del Sistema Solar ha crecido enormemente.

Es indudable que la investigación espacial ha generado avances tecnológicos de gran impacto en nuestras vidas a diferentes escalas de tiempo como las nuevas generaciones de comunicaciones, los nuevos materiales y los entornos audiovisuales.

La fascinación de la exploración espacial es contagiosa y, a la vez que aporta a la Humanidad un resplandeciente deseo de entender y aprender, ofrece una fuente inagotable de preguntas sobre el Universo visto con encanto y admiración.

## 1. El planeta Marte

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, es el planeta más cercano a la Tierra y, de todos los del Sistema Solar, siempre ha sido considerado como el más parecido al nuestro. Galileo Galilei fue el primero que lo observó con su primitivo telescopio en 1609 y podemos decir que varios de sus parámetros esenciales son conocidos desde hace más de 100 años. Mediante el telescopio es posible distinguir sus casquetes polares durante el invierno y casi ausentes en su verano, así como la presencia de una atmósfera cuya transparencia depende de las condiciones meteorológicas que pueden incluir gigantescas tormentas de polvo. Los telescopios han permitido elaborar los primeros mapas de Marte y actualmente, gracias a los datos

que están proporcionando las misiones recientes, se está preparando su cartografía a diferentes escalas.

La distancia media al Sol, o radio orbital medio, es consecuencia de la historia de la formación del Sistema Solar y se encuentra en la distribución de los planetas descrita por la ley de Titius-Bode (sucesión matemática que permite calcular la distancia de un planeta al sol en función de su número de orden en el Sistema Solar). Este dato, combinado con la tercera ley de Kepler (los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en una revolución completa alrededor del Sol mantienen una proporción constante con los cubos de los semiejes mayores de las elipses que describen), nos proporciona el período de traslación. El periodo de rotación de Marte, así como la inclinación de su eje, son el resultado de grandes bombardeos de asteroides 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.

### *1.1 Atmósfera marciana*

La atmósfera marciana se compone 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. 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 han influido en esa pequeña presión atmosférica es el valor de la gravedad, aproximadamente un tercio de la terrestre. Debido a la baja densidad de la atmósfera y la ausencia de océanos, en la superficie de Marte hay una gran variación de temperatura del día a la noche (entre +50° C y -130° C). Desde las observaciones de la misión Viking sabemos que hay tres ciclos anuales que determinan su clima: el ciclo del CO<sub>2</sub>, el del H<sub>2</sub>O y el del polvo, que a su vez están acoplados.

La característica fundamental del ciclo del CO<sub>2</sub> es que, según las estaciones, en las regiones polares se produce la condensación y sublimación de un 25% de la masa total atmosférica. A su vez, el ciclo del agua ha sido observado estudiando la evolución del vapor de agua en su atmósfera. Los vientos y tormentas de polvo, locales y globales, son otros mecanismos relevantes que contribuyen a configurar la atmósfera y superficie marcianas. Tal atmósfera carece de capa de ozono y suele ser transparente a la radiación solar; pero el polvo atmosférico, un elemento clave de su meteorología, absorbe la radiación solar y calienta la atmósfera. En este contexto, y debido al polvo suspendido en su atmósfera, allí los cielos son rojos y las puestas de sol azules, al contrario que en la Tierra. Precisamente, uno de los objetivos de las misiones a Marte es entender estos mecanismos.

### *1.2 Superficie marciana*

Las grandes llanuras abundan en el hemisferio norte, que es unos seis kilómetros más bajo que el hemisferio sur, caracterizado éste a su vez por la presencia de numero-

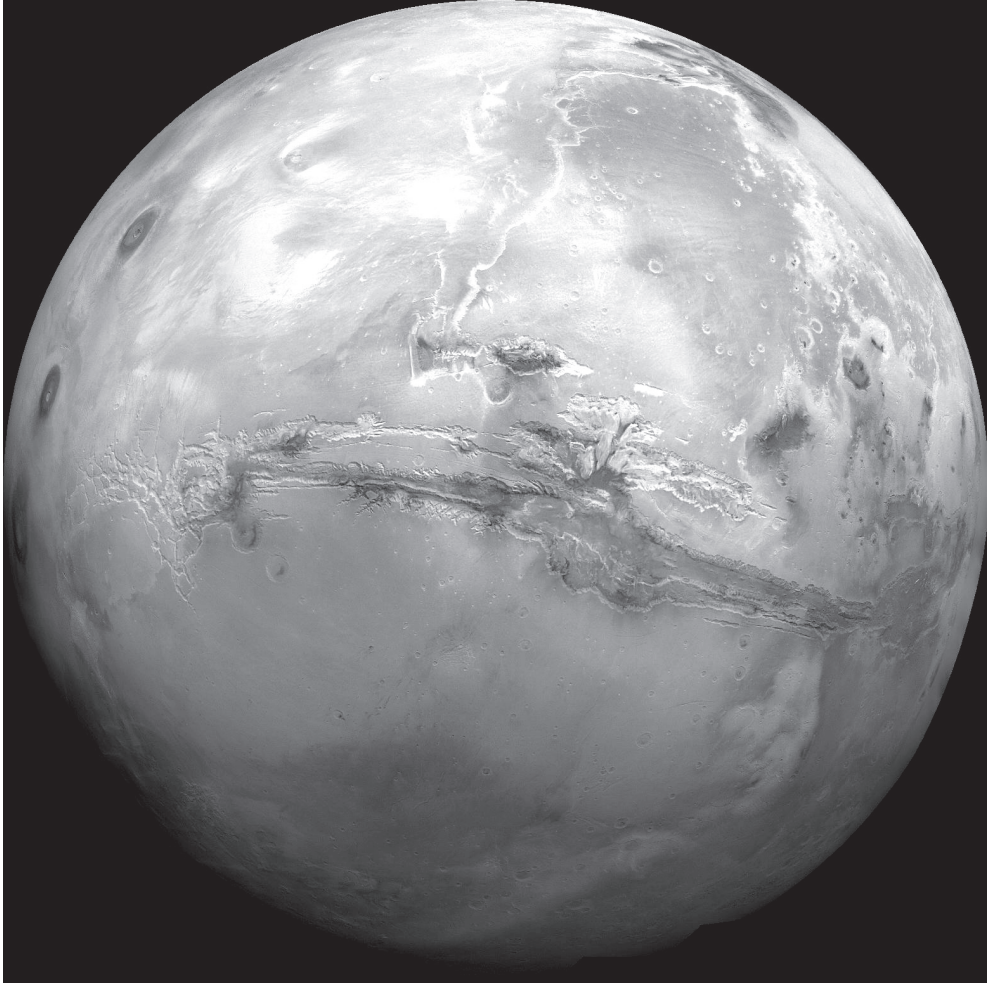


FIGURA-1.— En esta foto tomada por el Viking 1, en junio de 1980, a 2.500 km de la superficie marciana se aprecia el impresionante cañón de los «Valles Marineris» (©NASA/JPL-Caltech/Arizona State University).

Los 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 su superficie tomadas *in situ*. Entre los cráteres del hemisferio sur está el cráter de impacto *Hellas Basin* de 2.300 kilómetros de diámetro y más de nueve de profundidad. Asimismo, en este hemisferio destaca el gran cañón de *Valles Marineris* de hasta 10 kilómetros de profundidad, 100 de ancho y 4.000 de largo.

Su superficie muestra una zona volcánica espectacular, constituida por los montes *Tharsis*, *Elysium* y *Olympus*. Éste, con sus 25 kilómetros de altura sobre el nivel medio, constituye el volcán más alto que se conoce en el Sistema Solar. Con excepción del tamaño, la morfología de esos volcanes es muy similar a los terrestres. El estudio de la morfología proporciona mucha información sobre la naturaleza del magma y tipo de erupción, pero queda por saber el origen de los centros volcánicos, la frecuencia de la actividad volcánica o la composición química del magma.

El papel desempeñado por el agua es uno de los aspectos más intrigantes de la evolución del planeta. Su atmósfera contiene una pequeñísima cantidad de ella (que en su forma líquida es inestable en la superficie, debido a la baja presión atmosférica) y en sus casquetes polares ha sido detectado hielo. Las observaciones de vapor de agua en su atmósfera han permitido establecer la existencia de un ciclo del agua asociado a su clima y hay señales de que durante mucho tiempo ha existido agua líquida en la superficie marciana.

Asimismo, sabemos que Marte posee dos casquetes polares compuestos de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  que presentan una estructura asimétrica al final del verano: el del hemisferio norte es más grande y centrado que el del hemisferio sur, estando éste cubierto por una capa de  $\text{CO}_2$  y siendo más frío que el del norte.

### *1.3 El campo magnético de Marte*

Uno de los descubrimientos de la misión Viking fue que el suelo marciano contiene partículas altamente magnéticas. A su vez, las misiones Mariner 4 y Phobos mostraron que Marte tiene un campo magnético muy débil, diez mil veces menor que el campo magnético terrestre. No está claro si ello se debe a una actividad magnética tipo dinamo muy débil o a la interacción con el viento solar. Las últimas mediciones de la *Mars Global Surveyor* (MGS) indican que el origen del campo magnético de Marte se debe más a la estructura de la corteza que a un efecto tipo dinamo. Más exactamente, la misión MGS ha descubierto y cartografiado una magnetización intensa en su corteza. Los datos indican que el campo magnético marciano puede llegar a 400 nT, frente a 3.000 nT del campo magnético terrestre. Las observaciones muestran que Marte tuvo un campo magnético global generado por una dinamo y que ésta se detuvo. El campo magnético protegía la superficie del viento solar, permitiendo que la atmósfera y el agua fueran retenidas. De acuerdo con los datos geológicos, su ausencia generó la transición de un planeta húmedo al árido actual.

## **2. Programa 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 en el foco de las misiones planetarias y ofrece un escenario de esfuerzos conjuntos de varios países

TABLA-1.— Misiones programadas a Marte

Nombre	Países	Año
Mars Science Laboratory	EEUU	2011
Phobos Grunt	Rusia	2011, 2014
MetNet	Rusia, Finlandia y España	2011, 2014
Mars Atmosphere and Volatile Evolution	EEUU	2013
ExoMars Trace Gas Orbiter	ESA-NASA	2016
ExoMars	ESA	2018

y grupos de investigación, lo que supone una colaboración activa entre científicos e ingenieros en el marco de la comunidad internacional.

En la reunión celebrada en Wiesbaden (Alemania) en Mayo de 1993 se creó el *International Mars Exploration Working Group* (IMEWG) con representantes de todas las agencias del Espacio y principales instituciones que participan en la exploración de Marte. Desde entonces, el IMEWG celebra dos reuniones anuales para discutir la estrategia general para la exploración de ese planeta. 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 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 Analysis Group*) actualizó en 2003 el documento para la exploración de Marte denominado *Scientific Goals, Objectives, Investigations and Priorities* (Ed. R. Greeley, 2001). Para ello se han tenido en cuenta las nuevas misiones y el análisis de datos de las mismas y de otras anteriores. El plan es actualizar los fines y objetivos de la exploración cada dos años, correspondiendo con cada oportunidad de lanzamiento a Marte. Ese documento establece cuatro fines fundamentales:

- Determinar si pudo haber, ha habido y todavía perdura allí alguna forma de vida.
- Entender los procesos y la historia del clima
- Determinar la evolución de su superficie e interior.
- Preparación para su exploración por humanos.

Cada 26 meses hay oportunidad de enviar misiones a Marte, al producirse un alineamiento entre el Sol, la Tierra y Marte y ser entonces mínima la distancia entre estos dos últimos. Dichas configuraciones se conocen como Oposiciones y la que tuvo lugar en 2003 correspondió a la menor distancia entre ambos en 60.000 años. Desde 1960 ha habido 40 misiones a Marte. La URSS/Rusia ha enviado 20, EEUU 18, Europa una y Japón otra, debiendo recordarse que sólo 17 han tenido éxito. En la tabla-1 se consignan las misiones a Marte actualmente programadas.



### 3. La posible existencia pasada o presente de vida en Marte

La búsqueda de 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. Hoy Marte es un planeta helado y seco, pero hay evidencias de presencia de agua líquida en su superficie en tiempos pasados. Esto aumenta la probabilidad de que la vida o una forma primaria de vida se haya desarrollado allí durante su historia temprana. En este contexto, Marte ofrece un entorno único para estudiar la evolución desde un clima húmedo a un ambiente extremo y seco, con grandes fluctuaciones de temperatura, presión atmosférica muy pequeña e intensas radiaciones solar y cósmica en la superficie. Entender su historia climática 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 allí. 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, no puede excluirse la existencia de entornos a diferentes profundidades capaces de suministrar agua líquida y fuentes de energía apropiadas para alguna forma posible de vida. En este contexto, la búsqueda de reservas de agua y hielo en el subsuelo es prioritaria para las misiones actuales y otras ya planificadas.

En este momento podemos afirmar que se han descubierto: 1) depósitos de hielo cerca de la superficie; 2) agua en glaciares de latitud media y en los dos casquetes polares; 3) un ciclo activo de agua que incluye hielo y nieve; y 4) la existencia de torrenteras que sugieren episodios recientes de formación debida al agua. La implicación de todo ello es que *Marte no es un mundo estático y árido ya que ha sido configurado por el agua. Si la vida se desarrolló, podemos concebir que todavía sobreviva.*

Un tema muy intrigante en relación con la posible existencia pasada o presente de vida es que se ha detectado metano en su atmósfera. Este compuesto aparece en regiones específicas de su superficie y ha sido confirmado por numerosas observaciones. Es inestable en la atmósfera al ser destruido por la radiación ultravioleta, por lo que debe ser producido por un proceso activo geológico o biológico y, en consecuencia, actualmente debe existir un proceso de producción del mismo.

En relación con los efectos biológicos de la radiación, debe destacarse que la radiación en la superficie de Marte es unas 2.5 veces (Mars Odyssey) mayor que la radiación en la Estación Espacial Internacional. Esto es un factor muy relevante para la posible vida en su superficie y para las misiones tripuladas. Debido a la ausencia de campo magnético global marciano y a su tenue atmósfera, debemos tener en cuenta que la radiación en la superficie consta de tres componentes: electromagnética + solar (que es intermitente y contiene protones de baja energía) + rayos

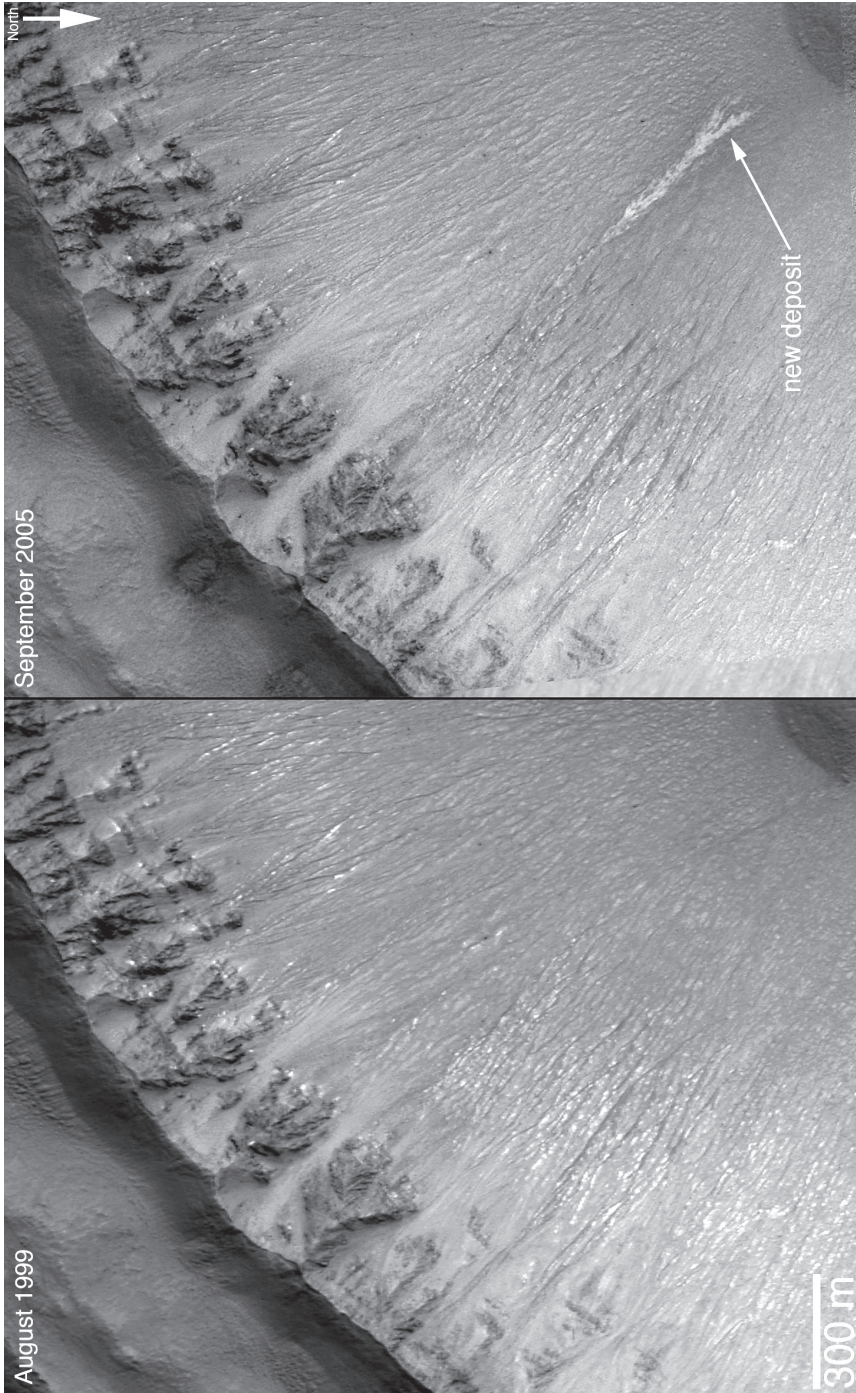


FIGURA-2.— Estas fotos, tomadas con seis años de diferencia, revelan la aparición de un relleno —posiblemente de agua— en un barranco de la región de los Montes Centauri de Marte (©NASA/JPL/Malin Space Science Systems).



cósmicos galácticos (que son extrasolares, continuos y contienen núcleos atómicos muy energéticos que afectan al ADN).

Otro objetivo es buscar indicadores de actividad biológica pasada. En 1996 la NASA anunció que en el meteorito Marciano ALH84001 encontrado en la Antártida en 1984 podrían hallarse microorganismos fosilizados. Sin embargo, los datos 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.

#### **4. Futuras exploraciones de Marte: participación española**

La oportunidad de participar en un proyecto de exploración espacial es fascinante. Se trata de un entorno inter y transdisciplinar que involucra a científicos e ingenieros a diferentes niveles. Los retos teóricos y experimentales asociados al proyecto son un fantástico laboratorio para desarrollar desde nuevos algoritmos en computación y simulación, hasta ingeniosas soluciones tecnológicas. Podemos entender un proyecto espacial como un clásico problema de *optimización con ligaduras*. Cuando estamos en el Espacio los recursos son finitos y las condiciones ambientales son muy diferentes a las de la superficie de la Tierra. Tenemos las ligaduras asociadas a las limitaciones de la masa que podemos enviar, a la energía para el funcionamiento del sistema, así como la limitación en la frecuencia y cantidad de información que podamos utilizar.

La participación en las misiones espaciales puede ser contribuyendo con instrumentos y explotando científicamente los datos que estos proporcionan; o, simplemente, involucrándose en algún grupo internacional para colaborar en el análisis de los datos obtenidos por uno o varios instrumentos.

Sin duda, la contribución con instrumentos es la más fascinante, pues durante su construcción debe haber una estrecha colaboración entre científicos e ingenieros para implementar la definición científica de los mismos. Este proceso de definición de los objetivos científicos del instrumento permite crear un entorno de investigación apropiada a través de la dirección de tesis doctorales. Los estudiantes de doctorado asociados al proyecto son como los vectores del futuro. Ellos son los que analizarán en profundidad los datos proporcionados por la misión, pues son los que conocen la estructura y funcionamiento de los instrumentos. Hay que recordar que un proyecto espacial como una misión a Marte es una carrera de fondo que supone varios años de preparación.

En este punto deseo resaltar dos misiones en preparación en las que participa España y en las que estoy involucrado:

- La *Misión Mars Science Laboratory (MSL)* de la NASA, que será lanzada a finales de este año 2011, en la que España aporta la estación meteorológica REMS (*Rover Environmental Monitoring Station*) y en cuyo período inicial de

preparación (2004-2007) he colaborado como investigador principal del proyecto cuando estuve en el Centro de Astrobiología (CAB) del que he sido cofundador. La estación lleva los instrumentos de viento, temperatura del aire y del suelo, medida de radiación ultravioleta, así como los de presión y humedad. Estos dos últimos suministrados por el *Finish Meteorological Institute* de Finlandia. Esta participación ha sido dirigida y coordinada desde el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) junto con varias empresas españolas de espacio.

- *Misión Mars MetNet Precursor*. Pretende depositar sobre la superficie una primera sonda para la medida de parámetros meteorológicos (temperatura, presión, humedad, irradiación solar) y magnéticos. Ésta será la primera de un conjunto de 16 sondas a desplegar en distintos puntos que permitirán establecer modelos de predicción del tiempo en Marte.

El desarrollo del Programa *MetNet* comenzó en 2000 en el contexto del consorcio constituido por el *Finish Meteorological Institute* (FMI), de Finlandia, el Centro de Estudios Espaciales (IKI) de la Academia de Ciencias de Rusia, y la *Lavochkin Science and Production Association* (de *Roskosmos*, la Agencia Espacial Rusa).

España se incorporó en 2007 al programa *MetNet* a través de un acuerdo entre el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y el FMI por el cual: 1) se garantizaba la incorporación de equipamiento científico y tecnológico español en las dos primeras cápsulas *MetNet* que se lanzarán; 2) la misión pasaba a ser trilateral, Finlandia, Rusia y España, y las banderas de los tres países irán en la nave; y 3) la carga útil asignada a España fue el 20% del total.

Toda la participación española en la misión *MetNet Precursor* se engloba bajo el acrónimo MEIGA (*Mars Environmental Instrumentation for Ground and Atmosphere*), en la que se desarrollarán las siguientes cargas útiles: Sensor de Irradiancia Solar, Magnetómetro, Barredor de Polvo, Comunicaciones con Luz y los Circuitos Microelectrónicos Integrados (ASIC) capaces de resistir las duras condiciones de Marte.

El *MetNet Precursor* irá acoplado como elemento secundario en la gran nave rEEUU *Phobos Sample Return*, o *Phobos Grunt* como la llaman los rusos. Su objetivo es importantísimo: irá a Fobos, la luna de Marte, donde posará un módulo que analizará *in situ* su superficie y recogerá unas muestras de roca que traerá de vuelta a la Tierra. Su lanzamiento está previsto en enero de 2014.

Asimismo, la participación española se ha estructurado en el Consorcio MEIGA, liderado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) bajo la responsabilidad del doctor Héctor Guerrero (Director de la Misión) y con la participación de la Universidad Complutense de Madrid, bajo mi dirección como Director Científico Español de la Misión. Son también miembros del Consorcio la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad de Sevilla y el Centro Nacional de Microelectrónica de Sevilla, del CSIC.

## 5. ¿Cuándo llegará el hombre a Marte?

Desde que Cristóbal Colón descubriera América en 1492, la Humanidad ha ido ampliando su presencia en territorios desconocidos de la Tierra. Los grandes hitos en dicha exploración parecen tener lugar con intervalos de 60 años. Así, tenemos las Islas del Pacífico en 1550, Japón en 1610, Australia en 1670, Siberia en 1730, el Himalaya en 1790, África en 1850, los Polos en torno a 1910, y el hombre llegó a la superficie de la Luna en 1969.

Si asumimos esa periodicidad en los últimos 500 años, el siguiente gran salto sería el aterrizaje del hombre en Marte hacia 2030. Como ya hemos visto, en el proceso de exploración de Marte participan varios países —EEUU (NASA), Europa (ESA), Rusia, Japón— a los que recientemente se ha incorporado China. Dado el coste de la empresa de llegar a Marte, la única manera de afrontarla es en el contexto de colaboración entre países.

Si miramos hacia atrás en la exploración espacial, no es utópico pensar en 2030 como la fecha para que el hombre llegue a Marte. Recordemos que el primer vuelo tripulado fue en 1961 y el primer paseo lunar de un hombre fue en 1969. Se cumplía con ello el anuncio que el presidente J. F. Kennedy había hecho en 1961 de que EEUU haría llegar un hombre a la Luna antes de 1970. Hoy, a diferencia del proyecto Apolo, se dispone de más tiempo y de más experiencia en vuelos y estancias en el espacio (¡incluso ha habido turistas espaciales!).

## Bibliografía

1. Raudsepp P (ed.). *Towards Mars! Y Towards Mars! Extra*. Helsinki: Oy Raud Publishing Ltd. 2000 y 2006.
2. Misiones de la NASA: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages](http://www.nasa.gov/mission_pages).
3. Godwin R (ed.). *Mars: The NASA Mission Reports*. Burlington: Apogee Books Space Series. 2000.
4. Soffen GA. The Viking Project. *J Geophys Res*. 1977;82:3959-70.
5. Zorzano MP y Vázquez L. Remote temperature retrieval from heating or cooling targets. *Optics Letters*. 2006; 31,1420-22
6. Vázquez L, Zorzano MP y Jiménez S. Spectral information retrieval from integrated broadband photodiode Martian ultraviolet measurements. *Optics Letters*. 2007;32:2596-98.
7. [www.meiga-metnet.org](http://www.meiga-metnet.org) y <http://metnet.fmi.fi>
8. Harri AM, Linkin V, Pichkadze K, Schmidt W, Pellinen R, Lipatov A, Vázquez L, Guerrero H, Uspensky M and Polko J. MMPM-Mars MetNet Precursor Mission. *Geophys Res Abstracts*. 2008;10:EGU2008-A-08751.