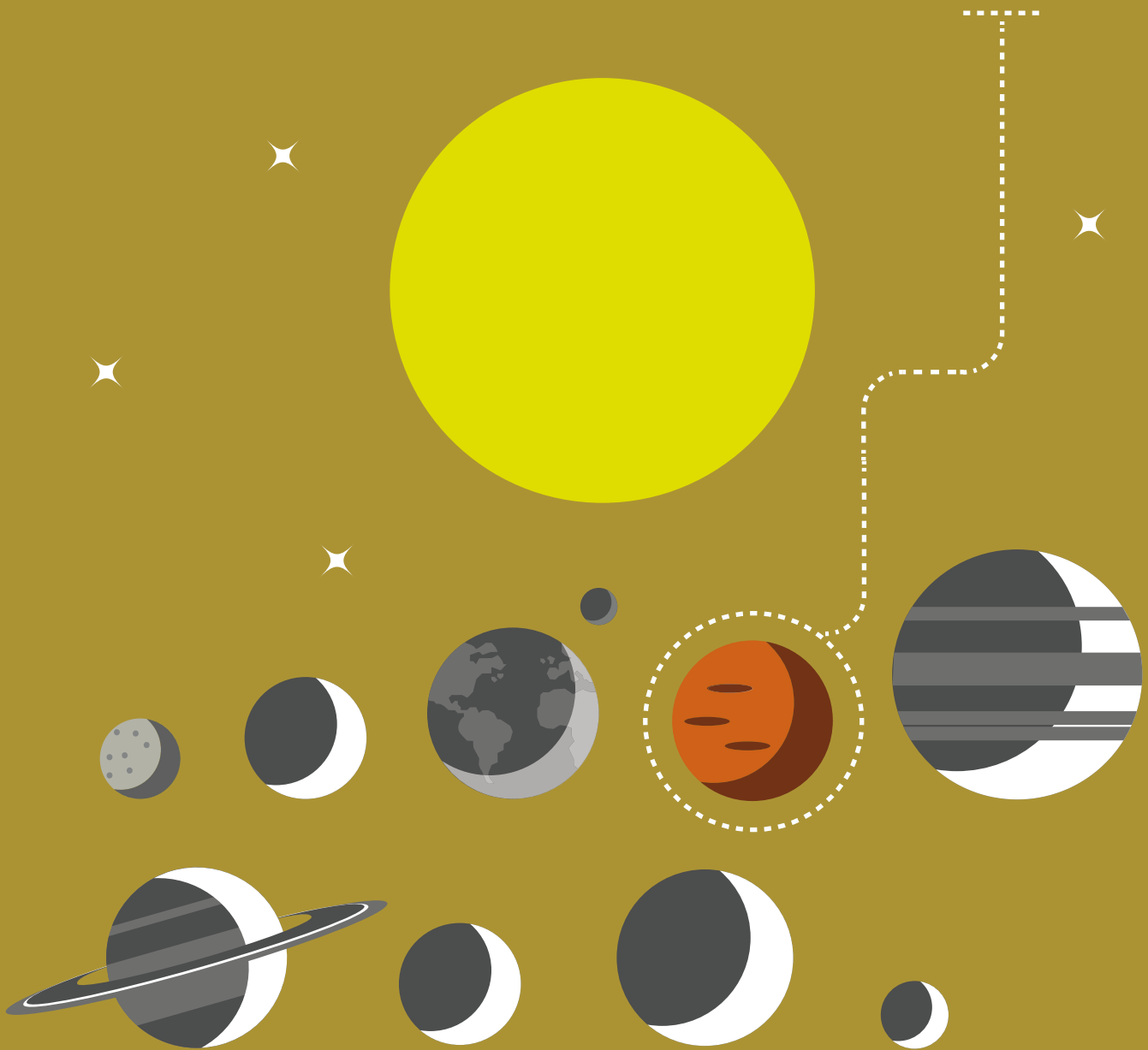


MARTE: PERSIGUIENDO EL AGUA EN EL PLANETA ROJO



Investigación VIU

viu | **Universidad
Internacional
de Valencia**

Pérez Verde, Antonio

Colaborador Docente de la Universidad Internacional de Valencia - VIU.
Master de Astronomía y Astrofísica

Milian Pascual, Lucas

Universidad Internacional de Valencia - VIU
C/ Gorgos, 5 - 7
46021 Valencia
lmilian@universidadviu.com

ÍNDICE

¿CÓMO ES MARTE?	3
LA EXPLORACIÓN DE MARTE EN EL SIGLO XX	5
LA HEGEMONÍA ESTADOUNIDENSE Y EL GRAN ÉXITO RUSO	5
LUCES Y SOMBRAS EN LA EXPLORACIÓN MARCIANA	8
LA EDAD DE ORO DE LA EXPLORACIÓN MARCIANA	10
LOS ORBITADORES DEL SIGLO XXI	10
LA MALA SUERTE DE LOS ATERRIZADORES	12
LABORATORIOS CON RUEDAS	13
EL FUTURO DE LA EXPLORACIÓN MARCIAN	16
EL AGUA DE MARTE Y LAS POSIBILIDADES DE ALBERGAR VIDA	17
EL GRAN OCÉANO MARCIANO	17
AGUA EN LA ACTUALIDAD	18
¿VIDA EN MARTE?	20
COLONIZAR MARTE	22
MARS DIRECT	22
SPACE X	23
CONCLUSIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25
SOBRE EL AUTOR	28

INTRODUCCIÓN

Para mucha gente, Marte no es más que un punto rojizo en el cielo que se confunde con el resto de estrellas. Pero Marte engancha, y esto es así porque una vez que aprendes a distinguirlo en el cielo y a saber cómo el ser humano ha conseguido llegar allí, es cuando empiezas a ver a ese punto rojizo de forma diferente.

De nuestros vecinos planetarios más inmediatos, Venus y Marte, es éste último el que más interés despierta, tal vez porque es el más parecido a la Tierra, salvando las distancias. Es por eso que Marte es el planeta más y mejor explorado del sistema solar, haciendo que de vez en cuando se meta en nuestros hogares a golpe noticia televisiva o periodística, en forma de documental o incluso de película.

Aquí conocerán cómo ha cambiado el concepto de Marte a lo largo del tiempo: desde un dios mitológico hasta un lugar donde establecernos como colonia. Y es que cada vez está más cerca la llegada del hombre al Planeta Rojo. Esos perennes “30 años para llegar a Marte” que llevamos arrastrando desde tiempos del programa Apolo serán una anécdota porque ahora, la cuenta atrás ya ha comenzado. Y en esto, el estudio del agua es fundamental.

For many people Mars is only a reddish dot in the sky and maybe, is confused with one of the thousands stars. However, Mars is addictive because when you learn to distinguish it in the sky and you know how the humans have arrived there, is when you begin to see differently the reddish point.

Venus and Mars are our immediate planetary neighbors, but is the Red Planet the one that attract attention, because is the most similar to Earth, relatively. For that, Mars is the most and best explored planet of our solar system and, from time to time, this planet appears on television, newspapers, documentaries or films.

Here you will know how has changed the concept of Mars over time: from a mythological god to a place where we will establish as a colony. We are ever closer to see the arrival of the humans to the Red Planet. The eternal “30 years for arrive to Mars” that we are listening since the days of the Apollo Space Program will be an anecdote because now, the real countdown has begun. For that, the study of water is the key.

Palabras clave: Marte, agua, vida, planeta, habitabilidad.

¿CÓMO ES MARTE?

	<i>Marte</i>	<i>La Tierra</i>
Radio medio (Km)	3.389	6.371
Masa ($\times 10^{23}$ Kg)	6,42	59,74
Densidad media (g/cm^3)	3,93	5,52
Temperatura media superficial ($^{\circ}$ C)	-63	14,05
Presión atmosférica (kPa)	0,64	101,33
Gravedad (m/s^2)	3,71	9,81
Duración del día (hh:mm:ss)	24:37:22	23:56:04
Duración del año (días)	686,97	365,26
Distancia al Sol (mill. de Km)	228,56	149,60
Satélites naturales	2	1

Tabla 1. Comparativa de valores entre Marte y la Tierra.

Siempre ha llamado la atención el color con el que apreciamos a nuestro planeta vecino sobre nuestros cielos: un tono rojo mortecino que hace que resulte sencillo imaginar porqué lo asociaron con el mal, la destrucción, las guerras... De hecho, Marte (dios romano de la guerra) fue nombrado también por otras civilizaciones como Nergal (dios sumerio del inframundo) o Ares (dios griego de la guerra). También llamó la atención su movimiento en el cielo, y no solo de Marte, sino de los demás planetas visibles a simple vista: Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno. Ese movimiento distinto al del resto de estrellas hizo que los bautizaran como "planetas", vocablo latín que procede del griego y significa "errante".

El hombre observó el cielo y en base a ello la Tierra era considerada como centro del universo porque, al fin y al cabo, todo parece girar alrededor de nuestro planeta. Sin embargo, Aristarco de Samos (310 aC - 230 aC) propuso que el Sol era el centro y no la Tierra, pero su idea, demasiado revolucionaria para la época, no terminó de encajar y la Tierra fue considerada como centro del universo durante los 1.800 años siguientes. Con la Tierra como centro, Claudio Ptolomeo (100 dC - 168 dC) explicó con gran precisión el movimiento de los planetas y las estrellas fijas mediante un sistema de esferas, epiciclos y deferentes, afianzando el geocentrismo en la sociedad.

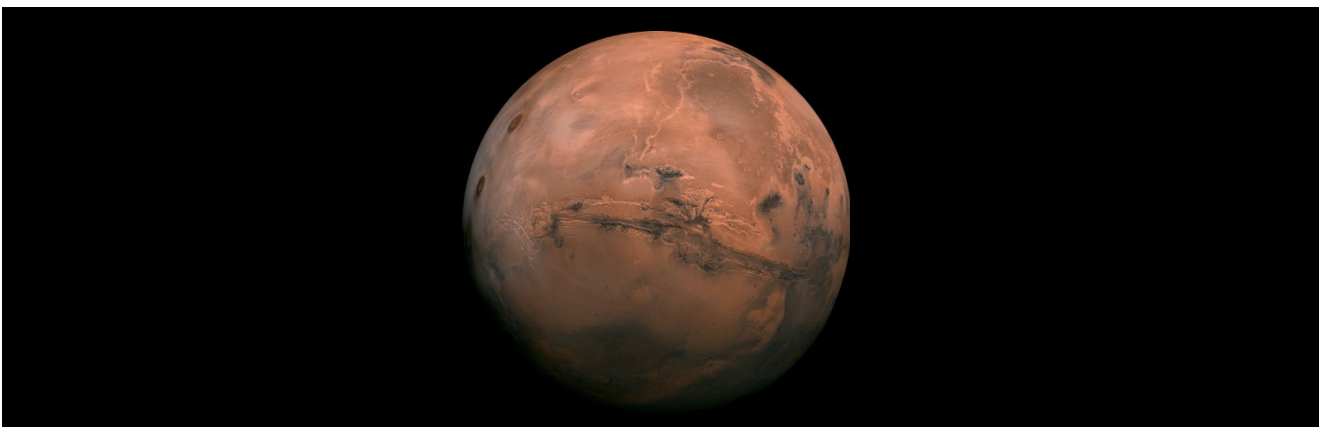


Figura 1. Aspecto del planeta Marte en un mosaico de imágenes || Créditos: NASA.

Tabla. Datos comparativos de Marte con respecto a la Tierra.

En el siglo XVI, Galileo Galilei (1564 -1642) con sus observaciones de Júpiter, Venus y la Luna realizadas con su recién inventado telescopio defendió que el Sol y no la Tierra era el centro del universo, idea que sirvió como base para que la sociedad aceptase el heliocentrismo como modelo. Además, Galileo también tiene su relación con el Planeta Rojo ya que fue él quien realizó el primer mapa de Marte.

Casi tres siglos después hubo otro hito en la exploración marciana cuando Asaph Hall (1829-1907) durante el gran acercamiento de Marte a la Tierra de 1877 descubrió los dos satélites de Marte: Phobos y Deimos. Ese mismo año fue cuando el astrónomo Giovanni Schiaparelli (1835-1910) revolucionó las observaciones

marcianas bautizando zonas de Marte y observando unas líneas que calificó como “canali”, que fueron traducidos al inglés como “canals” lo que propició una malinterpretación donde algunos creyeron que fueron construidos por una civilización inteligente. Consecuencia: los marcianos se pusieron de moda. Por aquella época Percival Lowell (1855-1916) construyó su propio observatorio para seguir estudiando el planeta Marte y confirmar o desmentir la existencia de esa civilización que construyó los “canals”. Pero la “fiebra marciana” tuvo los días contados y terminó con el inicio del siglo XX, momento en el cual los marcianos cayeron en el olvido. Marte pasó de ser imaginado como un mundo habitado a ser un mundo árido y sombrío.

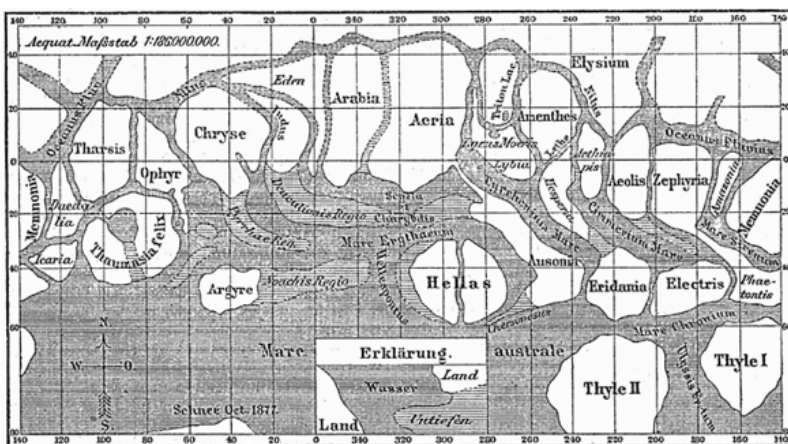


Figura 2. Mapa de Marte dibujado por Giovanni Schiaparelli.

Cada dos años aproximadamente y durante unos días, Marte y la Tierra están en una distribución óptima para lanzar sondas empleando un mínimo de combustible. Se les llama ventanas de lanzamiento. Medio siglo después de que Marte cayera en el

olvido todo cambiaría porque la mayor parte de estas ventanas estarían siendo aprovechadas para lanzar hacia Marte a nuestros exploradores.

LA EXPLORACIÓN DE MARTE EN EL SIGLO XX

A finales de la década de 1950 comenzó la carrera espacial para la exploración de la Luna donde Estados Unidos y la Unión Soviética se lanzaron a la conquista de nuestro satélite hasta que en 1969, dos astronautas estadounidenses pusieron el pie en suelo lunar.

De manera paralela, las dos potencias se pusieron manos a la obra para explorar el resto de planetas del sistema solar, donde Marte protagonizó la mayor parte de las misiones.

LA HEGEMONÍA ESTADOUNIDENSE Y EL GRAN ÉXITO RUSO

En la década de 1960, Estados Unidos y la Unión Soviética enviaron varias sondas al Planeta Rojo: los soviéticos lanzaron un total de nueve misiones sin lograr sus objetivos, por otro lado,

los estadounidenses comenzaron con las Mariner 3 y 4 las cuales llegaron a sobrevolar Marte y enviaron las primeras imágenes del Planeta Rojo desde sus proximidades.

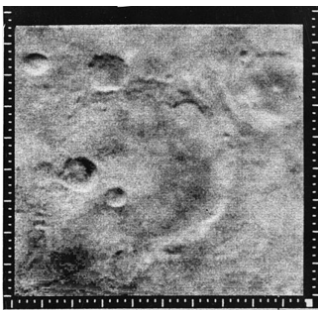


Figura 3. Una de las primeras fotos de Marte enviada por la Mariner 4 || NASA/JPL.

Fue la Mariner 4 la que nos ofreció una imagen de la superficie dominada por cráteres de impacto, lo que indicaba que la superficie era muy antigua y no había experimentado erosión, por lo que el agua líquida no había desempeñado un papel importante en, al menos, los últimos miles de millones de años. Además, la variación en la señal de radio de la Mariner 4 a medida que pasaba detrás del planeta permitió a los científicos calcular la densidad de la atmósfera, estimando su presión atmosférica en un valor inferior al 1% de la Tierra a nivel del mar impidiendo, por tanto, la existencia de agua líquida.

Cuatro años después lanzaron las sondas gemelas Mariner 6 y 7, realizando vuelos cercanos al Planeta Rojo y enviando unas imágenes que ayudaron a estudiar el hemisferio sur marciano y la zona ecuatorial. También tomaron imágenes de la cadena volcánica de Tharsis y revelaron que tanto la tenue atmósfera marciana como el casquete polar estaban compuestos básicamente de dióxido de carbono, en estado gaseoso y sólido, respectivamente.

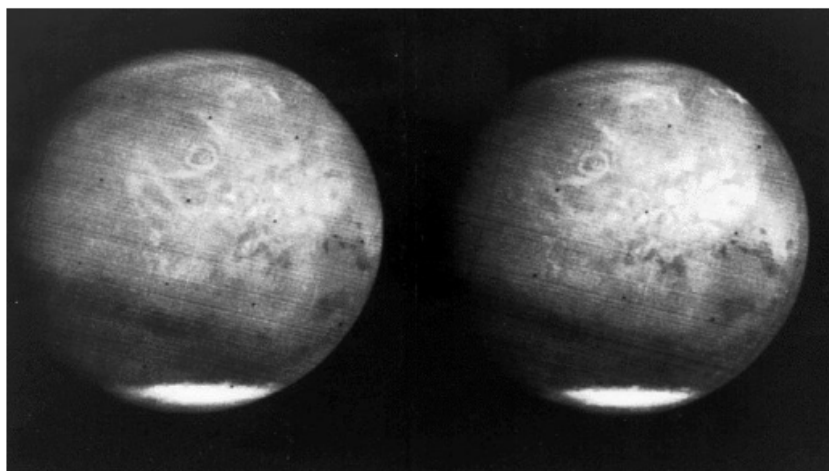


Figura 4. Imagen de Marte a 320.000 Km captada por la Mariner 7 en su aproximación || Créditos: NASA.

Ya en la década de 1970 se lanzaron las Mariner 8 y 9, las últimas del programa. Y aunque la primera de ellas falló en el lanzamiento, la segunda fue un éxito y el 13 de noviembre de ese año, por primera vez en la historia una sonda entraba en órbita alrededor del Planeta Rojo. Con las imágenes enviadas se pudo cartografiar Marte por completo, y se conocieron parámetros de composición atmosférica, gravedad, presión... que nos ayudaron a comprender mucho mejor cómo es Marte. Esta sonda revolucionó nuestras

ideas sobre el agua en el Planeta Rojo ya que nos mostró imágenes con antiguos cauces así como pruebas de erosión y sedimentación por efectos del agua.

Nuestro vecino empezaba a ser conquistado, pero ningún ingenio humano había pisado la superficie del planeta. Ése sería el siguiente paso.

<i>Lanzamiento</i>	<i>Misión</i>	<i>País</i>	<i>Resultado</i>
10-10-1960	Mars 1960A	URSS	Fracaso
14-10-1960	Mars 1960B	URSS	Fracaso
24-10-1962	Sputnik 22	URSS	Fracaso
01-11-1962	Mars 1	URSS	Éxito Parcial
04-11-1962	Sputnik 24	URSS	Fracaso
04-06-1964	Zond 1964A	URSS	Fracaso
05-11-1964	Mariner 3	Estados Unidos	Fracaso
28-11-1964	Mariner 4	Estados Unidos	Éxito Parcial
30-11-1964	Zond 2	URSS	Fracaso
24-02-1969	Mariner 6	Estados Unidos	Éxito
27-03-1969	Mariner 7	Estados Unidos	Éxito
27-03-1969	Mars 1969A	URSS	Fracaso
02-04-1969	Mars 1969B	URSS	Fracaso
08-05-1971	Mariner 8	Estados Unidos	Fracaso
10-05-1971	Cosmos 419	URSS	Fracaso
19-05-1971	Mars 2	URSS	Éxito Parcial
28-05-1971	Mars 3	URSS	Éxito
30-05-1971	Mariner 9	Estados Unidos	Éxito

Tabla 2. Relación de misiones espaciales desde 1960 hasta el fin del Programa Mariner.

Como pueden ver en la tabla anterior, pocos días antes de que se lanzara la Mariner 9, la Unión Soviética lanzó dos misiones a Marte: las Mars 2 y 3, que llevaban a bordo una valiosísima carga: cada una portaba en su interior un rover, además de un orbitador, siendo ésta la primera vez que un vehículo de exploración era lanzado a la aventura marciana.

Ambas sondas tuvieron un viaje exitoso y la primera en llegar fue la Mars 2, que realizó una correcta inserción orbital, desprendiendo el módulo de descenso para que el rover llegase a la superficie,

sin embargo, un error en la maniobra provocó que se estrellase y, aunque fuera un aterrizaje fallido, fue la primera vez que el hombre puso un artilugio en la superficie del Planeta Rojo. Pero la tristeza del fracaso no les duró mucho a los soviéticos porque cinco días después llegó la Mars 3, y esta vez todo sucedió según lo previsto marcando un hito en la historia por ser la primera vez que el ser humano ponía un ingenio en Marte de manera controlada, siendo éste el gran éxito ruso en la exploración marciana y quitándose, en cierto modo, la espina de no haber sido ellos los primeros en llegar a la Luna.



Figura 5. Sello ruso conmemorativo de la misión Mars – 3 || Créditos: USSR Post.

Este pequeño rover de 4,5 Kg, llamado PROP-M, estaba unido al aterrizador por un cable de 15 metros y no tenía ruedas sino un par de placas a modo de esquís para desplazarse por la superficie marciana con la limitación de la longitud del cable. Y aunque tan

solo logró transmitir un total de 20 segundos desde la superficie marciana, personalmente lo considerado uno de los grandes logros en la historia de la exploración espacial.

LUCES Y SOMBRAS EN LA EXPLORACIÓN MARCIANA

A partir de 1973 comenzó una nueva carrera para afianzarse en el Planeta Rojo. Ese año, de las cuatro misiones del programa Marsnik que lanzó la Unión Soviética, ninguna de ellas logró completar su misión aunque tres de ellas se pueden considerar éxitos parciales al devolver información a la Tierra durante un corto período de tiempo. Estados Unidos esperó a la siguiente ventana de lanzamiento, 1975, para estrenar su programa Viking lanzando sus dos primeras sondas compuestas de un orbitador y un aterrizador. Llegaron a Marte con éxito, destacando la Viking 1 al estar el orbitador activo durante más de cuatro años, mientras que el aterrizador lo estuvo seis.

El programa Viking nos mostró antiguos lechos fluviales detectados por los orbitadores de la sonda, además se encontraron enormes canales de salida producto de la ruptura de presas naturales tras inundaciones, se observaron profundos valles erosionados y se detectaron indicios de lluvias pasadas. Con todo ello, y tras los hallazgos realizados también por el programa Mariner en cuanto a la existencia de agua en el pasado de Marte, el Planeta Rojo sería considerado como un lugar donde pudo haber vida.

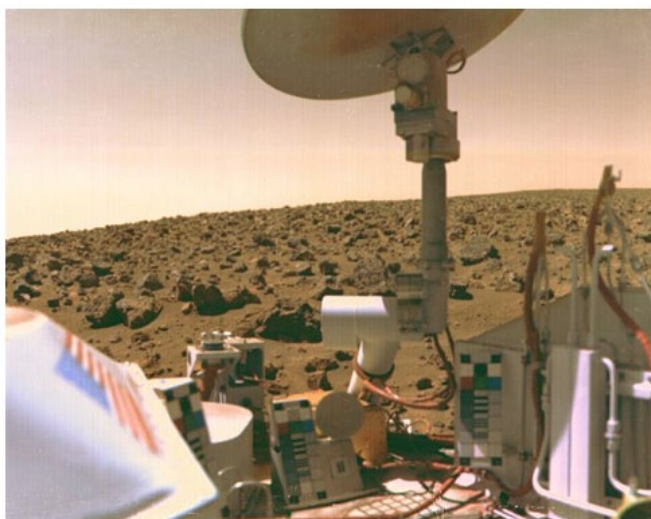


Figura 6. La zona Utopian Plain fotografiada por el aterrizador de la Viking 2 || NASA.

Tras el éxito de las dos primeras misiones Viking la carrera espacial marciana estuvo 13 años sin lanzamientos. En ese tiempo la URSS diseñó su programa Phobos, compuesto por dos sondas que siguieron la estrategia de las Viking al estar compuestas por un aterrizador y un orbitador cada una de ellas. Sin embargo el éxito que lograron estuvo muy lejos de lo que consiguieron las sondas estadounidenses, ya que en el caso de las Phobos tan solo el orbitador de la segunda sonda se puede considerar que tuvo cierto éxito al entrar correctamente en órbita y enviar datos de vuelta durante un breve período de tiempo.

Ya en la década de 1990 fueron un total de 8 misiones las que se lanzaron, seis de ellas estadounidenses, una de la antigua Unión Soviética y otra de Japón, que entraba como nueva potencia en la empresa de explorar Marte. De todas estas misiones tan solo dos llegaron a Marte con éxito: el orbitador Mars Global Surveyor y el lander Mars Pathfinder con el rover Sojourner en su interior. La primera de ellas fue lanzada en 1996, llegando a Marte 10 meses más tarde, lo que suponía el primer éxito en el Planeta Rojo en 20 años.

Lanzamiento	Misión	País	Resultado
21-07-1973	Mars 4	URSS	Fracaso
25-07-1973	Mars 5	URSS	Éxito Parcial
15-08-1973	Mars 6	URSS	Éxito Parcial
09-08-1973	Mars 7	URSS	Fracaso
20-08-1975	Viking 1 – Lander	Estados Unidos	Éxito
20-08-1975	Viking 1 – Orbiter	Estados Unidos	Éxito
09-09-1975	Viking 2 – Lander	Estados Unidos	Éxito
09-09-1975	Viking 2 – Orbiter	Estados Unidos	Éxito
07-07-1988	Phobos 1 – Lander	URSS	Fracaso
07-07-1988	Phobos 1 – Orbiter	URSS	Fracaso
12-07-1988	Phobos 2 – Lander	URSS	Fracaso
12-07-1988	Phobos 2 – Orbiter	URSS	Éxito Parcial
25-09-1992	Mars Observar	Estados Unidos	Fracaso
07-11-1996	Mars Global Surveyor	Estados Unidos	Éxito
16-11-1996	Mars 96 – Orbiter	Rusia	Fracaso
16-11-1996	Mars 96 – Lander	Rusia	Fracaso
04-12-1996	Mars Pathfinder – Lander	Estados Unidos	Éxito
04-12-1996	Mars Pathfinder – Rover	Estados Unidos	Éxito
03-07-1998	Nozomi	Japón	Fracaso
11-12-1998	Mars Climate Orbiter	Estados Unidos	Fracaso
03-01-1999	Mars Polar Lander	Estados Unidos	Fracaso
03-01-1999	Deep Space 2	Estados Unidos	Fracaso

Tabla 3. La exploración de Marte desde 1973 hasta finales de la década de 1990.

El Mars Global Surveyor estuvo orbitando el Planeta Rojo durante nueve años y detectó antiguos cauces fluviales que en algunos casos apuntaron a que esa actividad acuosa fue muy reciente, como es el caso de Nanedi Valles. Esta sonda puso de manifiesto que el Marte más primitivo habría requerido un clima más caliente y una atmósfera más densa para permitir que el agua líquida existiera en superficie. Además, el gran número de redes de valles que también observó apoyan firmemente la posibilidad de un ciclo hidrológico en Marte.

Por otro lado, la misión Mars Pathfinder llegó a Marte el 4 de julio

de 1997. El aterrizador apreció ciertos detalles que apuntaban a la presencia de agua en el pasado, como una serie de rocas imbricadas, colocadas de esa forma muy probablemente a raíz de una inundación. Los guijarros redondeados encontrados en la zona también apuntan a una acción erosiva por parte del agua. Y además, una vez en suelo marciano, el rover Sojourner recorrió Marte durante 83 días donde analizó tanto la composición de rocas como de suelo, lo que ayudó a investigar la historia evolutiva de la superficie de Marte y sus propiedades magnéticas. El gran éxito del rover abrió el camino a las siguientes misiones en lo que sería una época memorable en la exploración marciana.

LA EDAD DE ORO DE LA EXPLORACIÓN MARCIANA

El siglo XXI da paso a la alta tecnología para la exploración de Marte. Siete orbitadores, cuatro aterrizadores y tres rovers forman el ejército marciano del presente siglo. Un total de 14 misiones de las cuales únicamente cuatro fueron fallidas. Es interesante saber que de las diez que llegaron exitosamente a

Marte, ocho de ellas siguen activas a fecha 1 de marzo de 2017. Son misiones de gran envergadura con tal instrumentación que hacen de ellas auténticos laboratorios bien equipados y automatizados los cuales nos están enseñando los secretos más íntimos del Planeta Rojo, tanto de su pasado como de su presente.

LOS ORBITADORES DEL SIGLO XXI

Todo comenzó con el lanzamiento de la sonda estadounidense Mars Odyssey en la ventana de 2001 con el objetivo de crear un mapa completo del Planeta Rojo, estudiar su clima y dejar preparado el terreno para poder enlazar comunicaciones con los futuros artefactos que las agencias espaciales pondrán en la superficie del planeta. La sonda observó una cantidad significativa de hidrógeno en superficie que se cree que está incorporándose a la estructura molecular del hielo, revelando que el sólido elemento es algo común en la superficie del Marte actual. Por debajo de los 60° de latitud, el hielo se concentra en varias zonas, particularmente alrededor de los volcanes Elysium, Terra Sabaea y al noroeste de Terra Sirenum, en concentraciones que llegan hasta el 18% de hielo en el subsuelo. Por encima de los 60° de latitud, el hielo es muy abundante, donde a 70° de latitud sus concentraciones ascienden al 25% casi en todas partes, aproximándose al 100% en los polos.

En la ventana de 2003 fue la Agencia Espacial Europea la que puso un orbitador alrededor de Marte. Este orbitador, llamado Mars Express Orbiter, llevaba acoplado un aterrizador británico, el Beagle 2, que ya les adelanto, el artefacto del Reino Unido fue una de las cuatro misiones que fracasaron ya que se perdió el contacto durante el descenso. Sin embargo, Mars Express sigue operativa a día 1 de marzo de 2017. La sonda nos ha ofrecido un 95% de la superficie de Marte en alta resolución, también encontró depósitos de arcillas que sugieren un paisaje húmedo en tiempos remotos y examinó los depósitos de hielo en las zonas polares de planeta.

Una de las imágenes más icónicas que nos ha mostrado el orbitador europeo fue la de un cráter de 35 Km de ancho y casi 2 Km de profundidad situado en la llanura de Vastitas Borealis a 70° de latitud norte y que está relleno parcialmente de agua congelada.

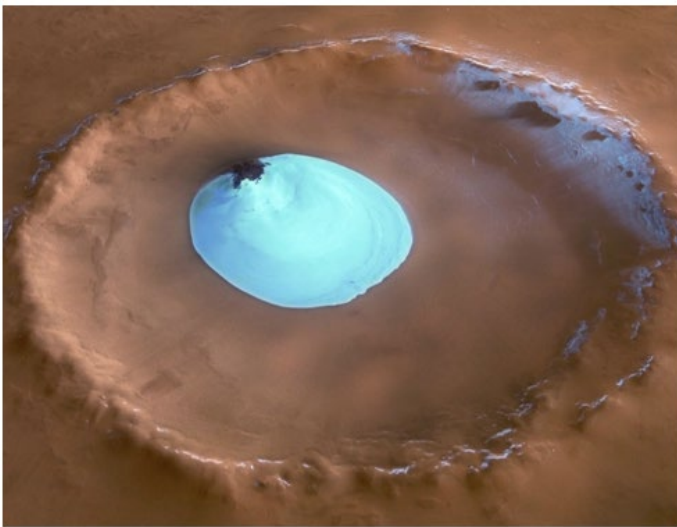


Figura 7. Cráter situado en Vastitas Borealis captado por la sonda Mars Express || Créditos: ESA,DLR,FU Berlin.

Uno de los mejores orbitadores, bajo mi punto de vista, fue lanzado en la ventana de 2005: el MRO (Mars Reconnaissance Orbiter), que también ejerce las funciones de repetidor de señales de los objetos que están en la superficie de Marte. Gracias a este orbitador hoy sabemos que el total acumulado de hielo de agua en el casquete polar norte asciende a la cantidad de 821.000 kilómetros cúbicos, lo que equivale al 30% de la capa de hielo de Groenlandia en la Tierra. Además, en 2009 se anunció la presencia de hielo de agua pura en algunos cráteres que, pasado un tiempo, el hielo se sublima pasando a formar parte de la atmósfera. De esto se ha deducido que el hielo se encuentra tan solo a unos pocos metros de profundidad.

En 2011, la agencia espacial rusa Roscosmos, lanzó una misión con su aterrizador Fobos-Grunt con el orbitador chino Yinghuo-1 a bordo. Un fallo en el lanzamiento no logró sacar los artefactos

de la órbita de la Tierra, cayendo poco después al océano Índico.

Un país que entró en la empresa de explorar Marte fue India, que aprovechó la ventana de 2013 para enviar su orbitador MOM (Mars Orbiter Mission) cuyo primer objetivo fue dar a conocer los sistemas de lanzamiento e inserción para con Marte. Y de hecho lo han demostrado acertando en su primer intento. De manera secundaria, la sonda está realizando análisis mineralógicos superficiales que ayudarán a mejorar la tecnología para enviar en un futuro sondas más complejas tanto a Marte como al resto de planetas del sistema solar.

En esa misma ventana de lanzamiento, los estadounidenses lanzaron MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile Evolution) con el objetivo de dilucidar por qué Marte perdió casi la totalidad de su atmósfera y estudiar la que tiene actualmente.

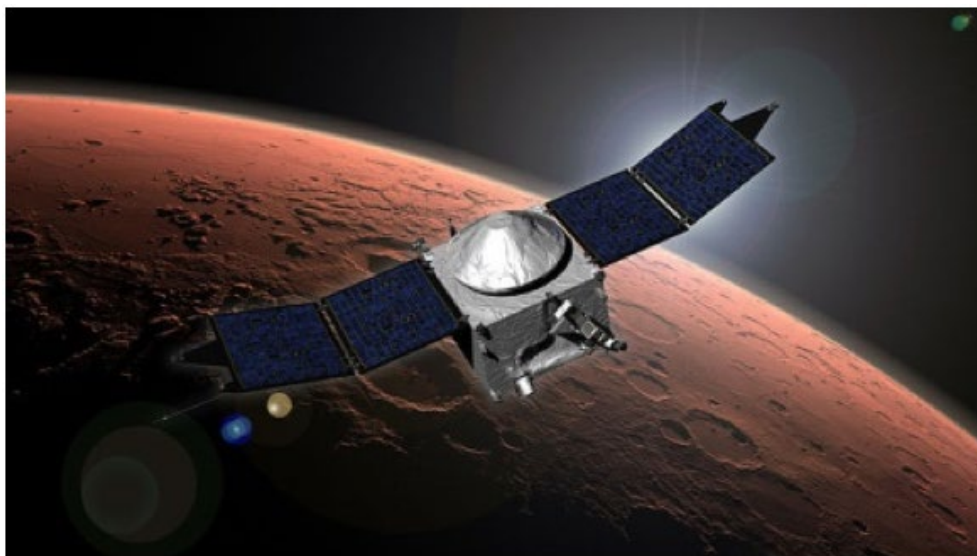


Figura 8. Recreación artística de la sonda MAVEN orbitando Marte || Créditos: NASA/Goddard Space Flight Center.

El último de los orbitadores que se enviaron a Marte fue aprovechando la ventana de lanzamiento de 2016, donde la Agencia Espacial Europea envió la primera parte de la misión ExoMars. El orbitador se llama TGO (Trace Gas Orbiter) y está analizando el metano atmosférico para intentar averiguar cuál es su origen. ¿Por qué el metano? Porque este compuesto se genera, a saber, mediante procesos tanto geoquímicos como biológicos. Sabemos que en Marte, la actividad geológica es prácticamente nula y tampoco hay evidencias de actividad biológica a fecha 1 de marzo de 2017. Además, el Sol degrada este metano haciéndolo desaparecer y, sin embargo, sus niveles se mantienen constantes. ¿Por qué? ¿Cuál es la fuente que lo genera? Esas preguntas son las que intentará responder esta sonda que, sepan que acoplado

a ella iba el módulo de descenso Schiaparelli, un demostrador para ver si la Agencia Espacial Europea tenía la tecnología como para aterrizar un rover en Marte de manera controlada, pero se estrelló. Lo bueno es que solo era un demostrador. Lo malo, que tienen poco tiempo para rediseñar el descenso y ya no tienen margen de error porque en el siguiente lanzamiento ya estará el rover a bordo.

Permítanme que les destaque que de todos estos orbitadores, todos ellos están operativos a día 1 de marzo de 2017 y puede que pronto nos sorprendan con algún descubrimiento relevante, algo que pone de manifiesto la robustez con la que se han creado para que tengan una vida lo más larga posible.

LA MALA SUERTE DE LOS ATERRIZADORES

Reino Unido, Estados Unidos, Rusia y Europa enviaron aterrizadores a la superficie de Marte que, respectivamente, fueron los Beagle 2, Phoenix, Fobos-Grunt y Schiaparelli. Ya les hablé anteriormente de los fracasos de las misiones británica, europea y rusa, por tanto, únicamente el aterrizador estadounidense Phoenix fue el que logró llegar a Marte y cumplir su misión a lo largo de 120 días terrestres.

Sin duda lo más destacable de este aterrizador fue la pequeña

excavación que realizó en su lugar de aterrizaje a 68° de latitud norte, cerca del casquete polar marciano, donde se muestran materiales que en un breve período de tiempo se sublimaron, confirmando que se trataba de hielo de agua. También reveló los restos de reacciones químicas que se produjeron entre minerales y agua, la cual solo pudo ocurrir por ahí en forma líquida, y por tanto, ofreciendo confirmación de flujos de agua en el pasado. También observó nieve en la atmósfera marciana pero sin llegar a tocar superficie ya que sus copos sublimaban antes.

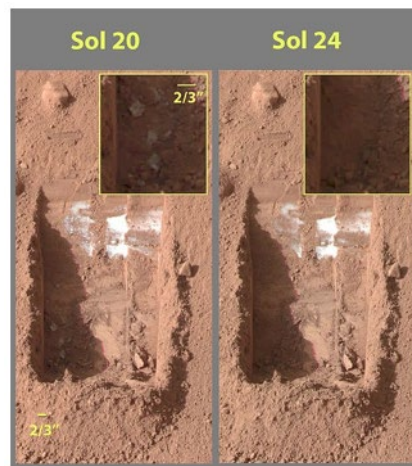


Figura 9. Alteración de hielo captado por el aterrizador Phoenix || Créditos: NASA/JPL.

Pero no es el único hallazgo del aterrizador, ya que el día de su llegada, en su aterrizaje activó los retrocohetes para reducir la velocidad de caída y posarse sobre Marte en buenas condiciones. La temperatura de la superficie aumentó por acción de estos retropropulsores y del suelo parecieron surgir lo que parecían ser gotas de agua con una alta concentración en sales.

Además, en julio de 2008 la NASA confirmó la presencia de hielo de agua en el lugar de aterrizaje de la sonda Phoenix cuando debido al calentamiento inicial de una muestra, el espectrómetro de masas detectó vapor de agua en los momentos que la temperatura de la muestra alcanzó 0 °C.

LABORATORIOS CON RUEDAS

Los tres rover que se lanzaron en el siglo XXI rumbo a Marte llegaron en perfectas condiciones al suelo marciano y se pusieron a recorrerlo para estudiar nuestro planeta vecino. Dos de ellos, Spirit y Opportunity, se lanzaron en la ventana de 2003, mientras que Curiosity se lanzó en la de 2011. Les quiero resaltar que Spirit y Opportunity fueron dos rover gemelos cuya autonomía fue estimada en 90 días marcianos, o lo que es lo mismo, 92 días terrestres. Pero la alta calidad de las células fotovoltaicas de sus placas solares y unos golpes de suerte en forma de viento marciano, hacían que regularmente se “soplasen” los paneles y se eliminara el polvo marciano depositado. De este modo los rover tuvieron la energía que necesitaban para funcionar

correctamente. Esto unido a las hibernaciones de los rover que, en el invierno marciano se posicionaban para recibir la mayor cantidad de luz posible, ha hecho que uno de estos dos rover siga funcionando a fecha 1 de marzo de 2017.

El caso de Curiosity, su autonomía está más limitada porque no tiene paneles, ya que estos serían demasiado grandes para mover los casi 1.000 Kg que pesa el vehículo. Su energía procede de un RTG, o generador térmico de radioisótopos, cuya duración estaba prevista en 1 año marciano, es decir, 687 días terrestres, sin embargo, Curiosity cabalga Marte desde agosto de 2012 y a fecha 1 de marzo de 2017, sigue explorando el suelo marciano.

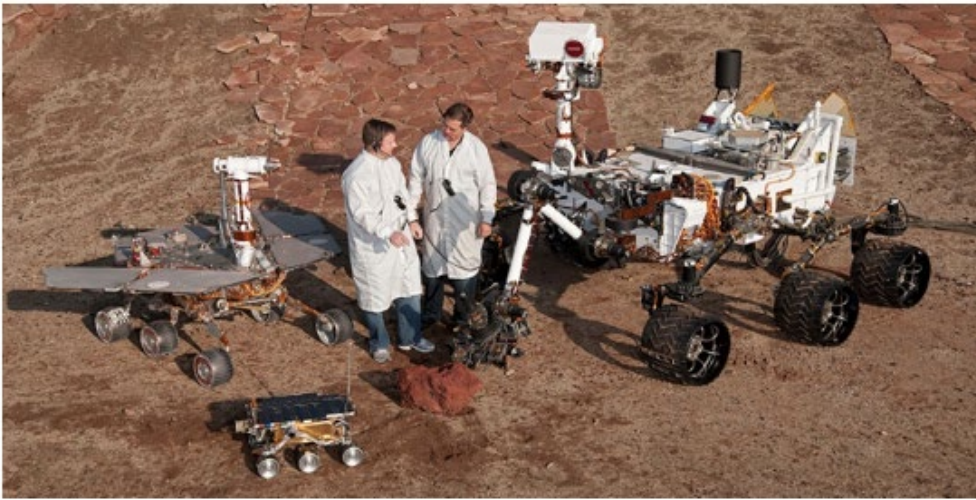


Figura 10. Comparación de un ser humano con el de los rover Spirit/Opportunity (izquierda), Sojourner (abajo izquierda) y Curiosity (derecha) || Créditos: NASA.

Comenzaré hablándoles de Spirit, que a los tres meses de aterrizar ya nos demostró la existencia de agua mediante pruebas indirectas debido a la morfología de ciertas rocas. Pero esta no fue la única prueba, ya que en las colinas Columbia del cráter Gusev también encontró formaciones que presentaban múltiples evidencias de interacción con el líquido elemento. Más adelante, el rover observó unos depósitos que revelaron grandes cantidades de minerales sulfatados e hidratados, lo que indica una fuerte presencia de agua en Marte.

En 2007, el rover sufrió un problema en una rueda que perdió su funcionalidad, por lo que ésta iba arrastrándose en lugar de rodar. Producto del arrastre, la rueda raspó la capa del suelo y descubrió

una zona de tierra blanca rica en sílice que se pudo haber producido posiblemente por acción de un géiser en el pasado. Además de esto, Spirit encontró evidencias de agua debido a los materiales encontrados: goethita, hierro oxidado y carbonatos, donde el agua es fundamental para su formación.

El problema de Spirit comenzó cuando el rover encalló en una pequeña fosa y no pudo salir. El rover siguió funcionando de manera estática hasta que el 22 de marzo de 2010 se recibió su última comunicación y más de un año después, el 24 de mayo de 2011, se dio por terminada la misión cuando el rover llevaba la nada despreciable cifra de 7 años en la superficie de Marte.

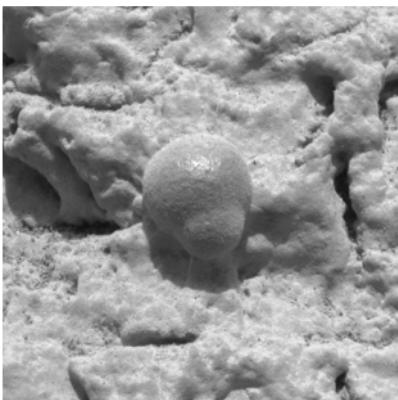


Figura 11. Roca erosionada por el agua detectada por el rover Opportunity || Créditos: NASA/JPL/US Geological Survey.

En el caso del rover Curiosity también nos ha dado buenas noticias en la búsqueda de agua analizando la corteza más superficial del planeta, donde demostró que la cantidad de agua almacenada en los minerales, aunque desconocida, puede ser bastante grande ya que según los análisis mineralógicos del rover en Meridiani Planum sugieren que los sulfatos podrían contener hasta un 22% de agua en peso. El rover también encontró una serie de rocas que presentaban una acción erosiva producida por el agua, por lo que debía estar en estado líquido. El hallazgo de un mineral llamado jarosita también es fuente inequívoca de la presencia de agua líquida en el pasado del Planeta Rojo, ya que se requiere de su presencia para la formación del mineral.

Y dejando los dos mejores hallazgos para el final, al poco de aterrizar, en septiembre de 2012, la NASA anunció el hallazgo de un antiguo arroyo de unos 70 cm altura donde el agua fluía a una velocidad estimada de 0,9 m/s. Prueba de ello son los guijarros redondeados que el rover encontró a lo largo del antiguo lecho del arroyo. Al año siguiente Curiosity nos volvió a sorprender mientras analizaba la zona de Aeolis Palus, deduciendo a través de los resultados que fue el lecho de un antiguo lago de agua dulce, por lo que podría haber sido un buen entorno para albergar vida microbiana.

Lanzamiento	Misión	País	Resultado
07-04-2001	Mars Odyssey	Estados Unidos	Éxito*
02-06-2001	Mars Express Orbiter	Europa	Éxito*
02-06-2001	Beagle 2	Reino Unido	Fracaso
07-07-2003	Opportunity	Estados Unidos	Éxito*
10-07-2003	Spirit	Estados Unidos	Éxito
12-08-2005	Mars Reconnaissance Orbiter	Estados Unidos	Éxito*
04-08-2007	Phoenix	Estados Unidos	Éxito
08-11-2011	Fobos Grunt	Rusia	Fracaso
08-11-2011	Yinghuo – 1	China	Fracaso
26-11-2011	Curiosity	Estados Unidos	Éxito*
05-11-2013	Mars Orbiter Mission	India	Éxito*
18-11-2013	MAVEN	Estados Unidos	Éxito*
14-03-2016	ExoMars – TGO	Europa	Éxito*
14-03-2016	ExoMars – Schiaparelli	Europa	Fracaso

Tabla 4. Misiones a Marte lanzadas en el siglo XXI.

(*) Activa a fecha 1 de marzo de 2017.

EL FUTURO DE LA EXPLORACIÓN MARCIANA

En 2018 tendremos una nueva ventana de lanzamiento y se aprovechará para lanzar la misión InSight de la NASA, que ya sufrió un retraso ya que su lanzamiento estaba previsto en la ventana de 2016. Esta misión consiste en un aterrizador con la tecnología necesaria para operar como un sismógrafo que servirá para ver la actividad interna del Planeta Rojo. Su duración está prevista que sea la de dos años terrestres para así poder completar un año marciano. No obstante, y viendo los precedentes, puede que la misión dure sustancialmente más.

Tras InSight, y ya en la ventana de 2020, está previsto que se lancen cinco misiones, cuatro de ellas ya confirmadas de las cuales dos de ellas son muy esperadas. Hablo de ExoMars y Mars2020. La primera de ellas, de las agencias espaciales europea y rusa, pretende poner un rover y un aterrizador en la superficie de Marte para buscar rastros de vida pasada en el Planeta Rojo. Recuerden que tendrán que rediseñar el módulo de descenso ya que en la prueba de demostración, Schiaparelli tuvo una serie de errores en la fase de entrada que hizo que el módulo se estrellase contra la superficie de Marte. Por otro lado, Mars2020, de la agencia espacial estadounidense, es un rover gemelo al Curiosity en tamaño e investigará la superficie marciana en busca de biofirmas procedentes de posible vida pasada en el Planeta Rojo, entre otras cosas.

Ese mismo año también está previsto el lanzamiento de la misión Red Dragon de SpaceX, y será la primera vez que una empresa privada ponga un artefacto rumbo a Marte. Se trata de una misión no tripulada que pretende hacer llegar a Marte un módulo a modo de demostrador para ver la fiabilidad de futuras misiones al Planeta Rojo. También está confirmada para 2020 la misión china MGRSO, que además de estudiar el planeta rojo desde la órbita, llevará también una cápsula a modo de demostrador para mejorar las reentradas atmosféricas marcianas, y el rover que viajará por la superficie para estudiarla.

La misión de 2020 que todavía está por confirmar es la rusa Boomerang, una misión a la luna Phobos de Marte con retorno de muestras, algo similar a lo que se pretendía con la malograda Fobos-Grunt, también rusa.

Y para un futuro un poco más lejano, la década de 2030, la NASA ya está pensando en llevar un hombre a Marte, concretamente en 2033, o al menos eso es lo que mostró la NASA en los últimos presupuestos presentados en marzo de 2017. ¿Serán capaces de lograrlo? Parece ser que los planes propuestos por empresas privadas han espoleado a la agencia estadounidense y no se van a dejar alcanzar tan fácilmente.

EL AGUA DE MARTE Y LAS POSIBILIDADES DE ALBERGAR VIDA

Gracias a las misiones espaciales de las que les hablé anteriormente, sabemos que en Marte hay agua. El gran inconveniente es que la mayor parte de ella está en forma de hielo que puede verse fácilmente en el casquete polar norte. En el casquete polar sur también hay hielo de agua, pero verla conlleva una mayor dificultad ya que se encuentra bajo la corteza de hielo de dióxido de carbono que está en contacto con la atmósfera del

planeta. Juntando los dos casquetes estamos hablando de mucha cantidad de hielo porque, para que se hagan una idea, si todo el hielo de agua estuviese en estado líquido, sería capaz de cubrir todo el planeta a una profundidad de 35 metros. Eso sin tener en cuenta las cantidades de agua existentes en el subsuelo marciano, que parecen ser importantes.

EL GRAN OCÉANO MARCIANO

¿Qué ocurrió en el pasado más remoto del Planeta Rojo? Hace unos 3.800 millones de años Marte pudo haber tenido una atmósfera más densa que la actual y unas temperaturas superficiales más altas que hicieron posible la existencia de un gran océano. Esta hipótesis propone que la cuenca de Vastitas Borealis fue el lecho de un océano de agua líquida al menos en una ocasión, y que cubría prácticamente un tercio de la superficie

de Marte. Este océano, llamado Oceanus Borealis habría llenado dicha cuenca, que actualmente es una llanura con una profundidad de 4-5 kilómetros por debajo de la elevación media marciana. Además, los investigadores han encontrado una serie de deltas lo que indica la presencia de agua líquida ya no solo en océanos sino también en lagos y ríos.

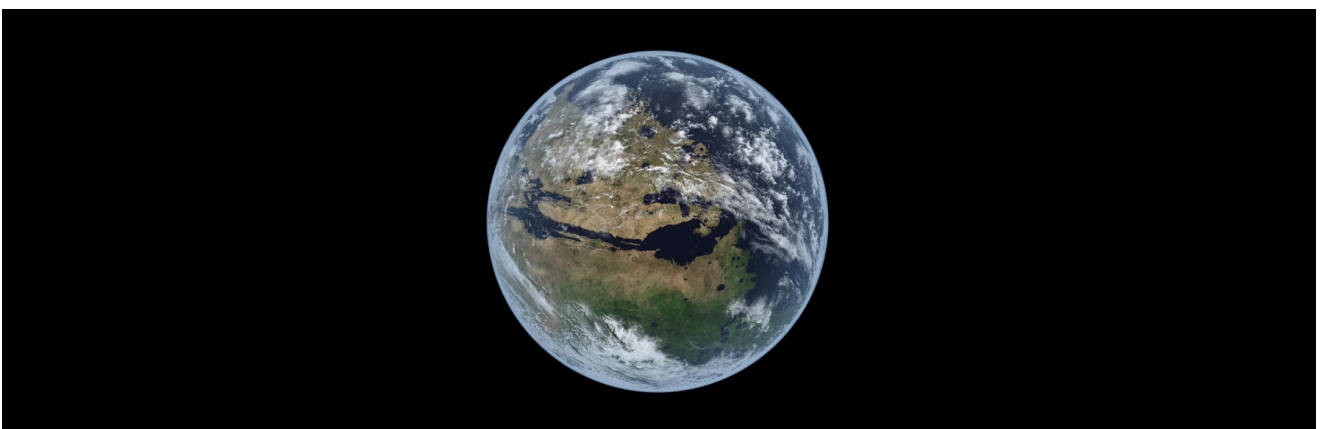


Figura 12. Posible aspecto de Marte cubierto por agua || Créditos: Kevin Gill.

Los cálculos muestran que la altura media de las olas habría sido de 50 m, pero que podrían variar entre 10 y 120 m. Estos tsunamis no fueron simultáneos, ya que los océanos tenían una diferencia

de alturas de unos 300 m, lo que indica que el océano estuvo presente durante varios millones de años.

AGUA EN LA ACTUALIDAD

Como ya les comenté, el agua líquida es un elemento altamente inestable ya que pasaría de sólido a gas debido a las bajas presiones que se dan en superficie. De todos modos, hay evidencias observacionales desde 2006 que apuntan a la existencia transitoria de líquidos en la superficie marciana cuando el orbitador MRO observó depósitos en las laderas de Terra Sirenum y Centauri Montes que no estaban allí diez años antes.

La explicación más plausible es que fueran formados por aguas con una alta concentración en sales que aparecían durante los meses más cálidos entre 1999 y 2001. Aunque no todos defienden que esto haya sido producido por efectos del agua líquida, ya que varios colectivos opinan que estos surcos habrían sido formados por acción del dióxido de carbono ya que el agua no podría fluir en las condiciones que presenta Marte actualmente.

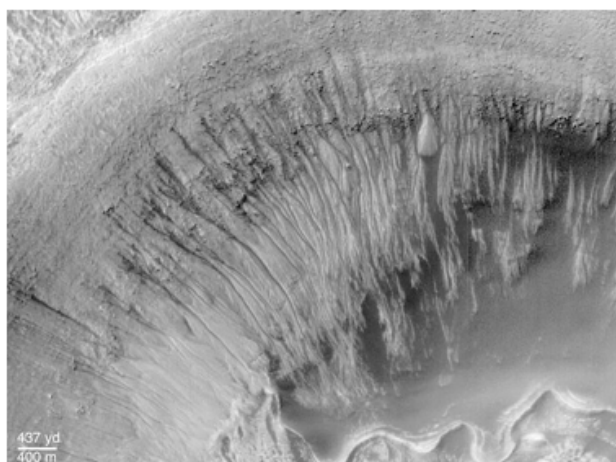


Figura 13. Detalle de Terra Sirenum donde se aprecian los surcos en las laderas del cráter Newton || Créditos: NASA, JPL, Malin Space Science Systems ODEvidence for Recent Liquid.

En 2011 se anunció la detección de cambios en Marte de periodicidad estacional en los bordes de cráteres situados en el hemisferio sur. Esos cambios se mostraban como marcas oscuras llamadas líneas recurrentes de pendiente o RSL (Recurring Slope Lineae) que se iban oscureciendo a medida que sucedían los días más cálidos del verano en el hemisferio sur marciano, pasando a decolorarse conforme iban bajando las temperaturas. Estas observaciones eran consistentes con la existencia de una masa de agua extremadamente salada, casi como una pasta, que fluía hacia abajo y se evaporaba a medida que pasaba el tiempo, dejando algún tipo de residuo.

El instrumento espectroscópico CRISM (Compact

Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) a bordo de la sonda MRO desde entonces ha venido realizando observaciones directas de sales hidratadas notando cómo aparecen en la misma medida que el oscurecimiento de las RSL, confirmando en que estas líneas, efectivamente, son producidas por los flujos de aguas líquidas con altas concentraciones en sal en zonas de suelos poco profundos. Además, y según análisis espectrográficos, ya se sabe que las líneas contienen cloratos hidratados y sales de perclorato. También se ha podido valorar que es a partir de -23° C cuando comienzan a aflorar estos fluidos. Sin embargo, lo que todavía no se conoce es de dónde proceden estas aguas.

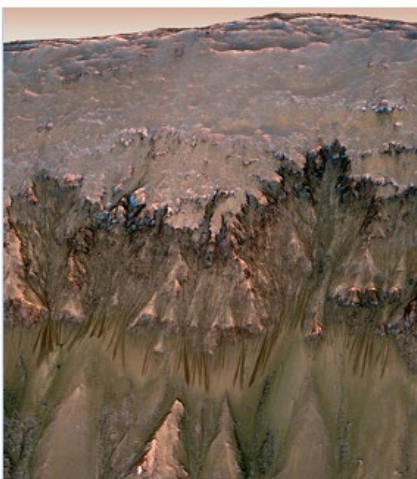


Figura 14. Crater Newton en Marte donde se aprecian los oscurecimientos producidos por las RSL || Créditos: NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona.

¿VIDA EN MARTE?

La primera vez que se pensó que Marte podría albergar vida fue, tal y como les comenté más arriba, a raíz de la mala traducción de la palabra “canali” que utilizó Schiaparelli para definirse a los cauces que apreció en la superficie del Planeta Rojo, y en lugar de traducirse al inglés como “channels” lo tradujeron como “canals” que hace mención a conductos o tuberías, algo artificial en definitiva, y por lo tanto, que hubiese sido construido por una civilización inteligente.

Supongo que ya lo sabrán, pero hasta la fecha no se ha encontrado ninguna prueba de vida pasada o presente no solo en Marte, sino en cualquier lugar del universo a excepción de la Tierra. Sin embargo, y en el caso del Planeta Rojo, las evidencias acumuladas unidas a su océano primigenio, apuntan a que el planeta pudo ser habitable por microorganismos en algún momento de su vida pasada. Pero tengan clara una cosa: el hecho de que un planeta sea habitable no implica que necesariamente tenga que albergar formas de vida.

Tal y como la conocemos, la vida precisa de una serie de elementos químicos, a saber, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, además de energía y, por supuesto, agua en estado líquido, por lo que al Marte actual tan solo le falta esto último en superficie. Pero, ¿y si el agua estuviera en el subsuelo? Los elementos químicos también estarían presentes allí, al igual que la energía, que no sería de tipo solar sino química. La posible existencia de corrientes subterráneas de agua líquida en el subsuelo de Marte será algo que investigarán futuras misiones al

Planeta Rojo.

Cabe destacar que el programa Viking fue el primero en realizar experimentos astrobiológicos en Marte. De los tres experimentos que se realizaron, dos de ellos dieron positivo. Uno de ellos fue el Pyrolytic Release Experiment, que detectó agentes biológicos; el otro, el Gas Exchange Experiment, analizó muestras haciéndolas interactuar con carbono 14 durante 200 días, dando como positivo el resultado para materiales biológicos. Sin embargo, gran parte de la comunidad científica los catalogó como falsos positivos debido a la posible contaminación que llevaron los instrumentos procedentes de nuestro propio planeta.

Marte es hostil, entonces ¿por qué pensamos que entonces que en este tipo de ambientes pudo haber vida? Hace años sería impensable ni siquiera suponer que en un ambiente sin oxígeno y con una ausencia casi total de agua, pueda desarrollarse la vida, pero hay lugares en nuestro planeta llamados análogos terrestres que invitan a pensar que, efectivamente, en Marte fue posible la vida, e incluso en la actualidad si nos referimos al subsuelo. Estos lugares presentan condiciones extremas en nuestro propio planeta, como por ejemplos las aguas y el suelo de río Tinto en Huelva (España) o el desierto de Atacama (Chile), uno de los lugares más secos de nuestro planeta. Si aquí se han encontrado microorganismos viviendo en perfectas condiciones, cabe la posibilidad de que en Marte también pudiese haber existido.



Figura 15. Paisaje de Río Tinto en Huelva (España), uno de los ambientes más hostiles de la Tierra || Créditos: Monika Oggerin.

COLONIZAR MARTE

Hoy en día ya se conocen la tecnología y los recursos económicos que se necesitan para realizar una misión tripulada a Marte y en este sentido parece que la empresa privada está tomando decisiones más rápidamente de lo que lo hacen las agencias espaciales públicas. Estas empresas, como Space X, Boeing o Blue Origin, están recuperando el espíritu de la joven NASA, aquella de los años 60, ágil y osada que puso un hombre en la Luna, aunque

ahora el objetivo es más grande y rojizo. Estas empresas privadas no dejan de lado a las agencias públicas porque, recuerden, tienen el conocimiento acumulado durante décadas de exploración espacial. En cualquier caso, la utilización de recursos in situ (ISRU por sus siglas en inglés) será fundamental y obligatoria en una misión tripulada a Marte.

MARS DIRECT

Uno de los planes más destacados es el llamado Mars Direct, propuesto por Robert Zubrin, director de The Mars Society, y que es muy similar al que mostró la novela de película homónima "The Martian". Este proyecto pretende abaratar lo que realmente encarece los viajes tripulados a Marte: el viaje de vuelta. Para ello se lanzaría al Planeta Rojo una nave sin tripulación denominada ERV (Earth Return Vehicle) que aterrizaría en Marte y esperaría allí a los astronautas para traerlos de vuelta a la Tierra. El ERV, de manera automática, fabricaría el combustible necesario para este viaje de vuelta. Por otro lado se enviarían los módulos de habitabilidad y por último se lanzaría la nave de crucero que transportaría a los astronautas desde la Tierra en el viaje de ida hasta Marte.

En cuanto a la duración de un viaje tripulado existen básicamente

dos alternativas en función del momento que se elija para el lanzamiento:

1) Si el lanzamiento se produce con Marte, Sol y la Tierra alineados en ese orden (conjunción), el viaje es más eficiente porque se consume menos combustible, pero la misión se alarga hasta casi 900 días, con dos viajes de 6 meses de duración y obligando a los astronautas a permanecer en Marte durante 500 días.

2) Si el lanzamiento se produce con el Sol, la Tierra y Marte alineados en ese orden (oposición), la misión se acorta hasta los 450 días, con los astronautas viviendo solo unos días o semanas en Marte, a costa de utilizar más cantidad de combustible en el viaje.

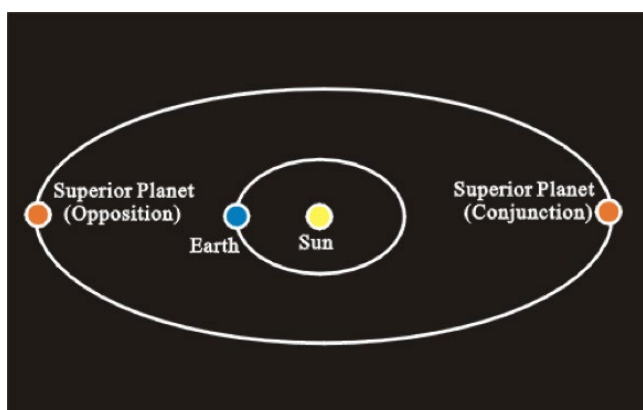


Figura 16. Esquema de las posiciones de oposición y conjunción de Marte con respecto a la Tierra ||

Créditos: Hong Kong Observatory.

SPACEX

Elon Musk, director ejecutivo y fundador de SpaceX, tiene claro que quiere poner a los seres humanos en la superficie del Planeta Rojo y para ello ha estado estudiando de cerca los diseños de cohetes rusos, ya que son los más sencillos y económicos del mercado. Con los datos obtenidos la empresa de Musk está logrando construir sus propios cohetes, motores y piezas, abaratando costes y teniendo el control absoluto sobre su tecnología. Han introducido una novedad que es un hito histórico en la exploración espacial: la reutilización de la primera etapa del cohete la cual regresa a su plataforma de lanzamiento después de haber colocado la carga en el espacio.

El plan de Musk consiste en construir un cohete de 122 metros de altura, el más grande jamás diseñado, con una capacidad para poner en órbita baja unas 550 toneladas. Tendrá sólo dos etapas: la primera, con 42 motores, será reutilizable y la segunda será la que realice el viaje a Marte. Una vez que la segunda etapa se encuentre en órbita terrestre, la primera etapa realizará entre 3 y 5

lanzamientos hacia la segunda para ir cargándola de combustible. La idea es que, a diferencia de la arquitectura Mars Direct, sea esta misma nave la que regrese a la Tierra utilizando los recursos locales como combustible.

Lo que no se menciona de momento en los planes de SpaceX son las características de los trajes espaciales que se usarán en Marte, pero deberán estar presurizados debido a la baja presión atmosférica marciana y tendrán que ser lo suficientemente cómodos como para poder recoger muestras y poder realizar labores de cultivo, ya que serán necesarios en el Planeta Rojo. Y no será fácil porque al clima hostil y la menor energía solar disponible se le une la gran escasez de agua. Pero a grandes problemas, grandes soluciones ya que son varias las propuestas como por ejemplo purificar la orina de los astronautas para que sea reutilizable, generar agua a partir del oxígeno atmosférico u obtener agua de las reservas del hielo son opciones que se están estudiando para hacer más fácil la vida en Marte.

CONCLUSIONES

Está claro que desde que las sondas están siendo enviadas a Marte, nuestra visión del Planeta Rojo cada vez se muestra más "amistosa". Las primeras imágenes que llegaban del planeta vecino tenían un marcado carácter sombrío, acribillado por impactos meteoríticos, asolado... Era difícil imaginar la vida en un ambiente como aquél. Sin embargo, elijan una de las últimas imágenes del rover Curiosity, la que les parezca. Son imágenes que nos resultan familiares donde es difícil imaginar, o al menos a mí me lo parece, que ahí no haya vida. Pero si nos ceñimos a los datos, estamos solos.

Pero esa soledad es, como si cada vez fuera menor, porque los datos que nos llegan de los rover y los orbitadores actuales, invitan al optimismo. Es como si cada vez que llegan noticias de Marte se completase un puzle al que cada vez le quedan menos piezas por colocar. Lo que estamos conociendo de Marte cada vez se parece más a lo que conocemos en la Tierra, y eso es lo que queremos: similitudes con lo conocido.

La nueva generación de misiones que llegarán a partir de los lanzamientos producidos de 2018 en adelante conoceremos mucho más a fondo la habitabilidad de Marte, porque si ya Curiosity nos la ha ido mostrando, los datos que nos ofrezcan estas misiones ayudarán a resolver ese puzle para que, una vez

completo nos respondan a la pregunta ¿Hay vida en Marte?

Pero a medida que las piezas de ese rompecabezas se van poniendo en su sitio, en paralelo hay otra carrera en Marte, la de llevar a un ser humano. En esta otra carrera parece que las empresas privadas quieren tomar la delantera, aunque la NASA, en sus recientemente anunciados presupuestos, parece que se va a tomar en serio lo de los viajes tripulados. No es fácil, porque llegar a Marte es algo muy complicado. Tal vez estemos mal acostumbrados por los éxitos de misiones pasadas haciendo parecer que es sencillo, pero el desastre de Schiaparelli, a mí personalmente me puso los pies en el suelo, advirtiéndonos que todavía queda mucho por hacer, que si no somos capaces de poner un rover en suelo marciano, no nos la podemos jugar a poner a un ser humano allí. El control de las misiones debe ser total para así reducir los errores a cero para que, cuando llegue el momento, el ser humano pueda poner allí un pie con una seguridad tal que le permita volver sano y salvo a la Tierra.

Y ya para terminar, si tuviera que definir en una palabra todo lo que está pasando y lo que pasará con Marte, con los datos en la mano, los resultados actuales y los equipos que llevarán las futuras misiones, solo se me ocurre una palabra: optimismo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abramov, O. & Kring, D.A. (2005). "Impact-Induced Hydrothermal Activity on Early Mars". *Journal of Geophysical Research*, 110: E12S09. DOI: 10.1029/2005JE002453.
- Anderson, C. (1990). "The First Rover on Mars - The Soviets Did It in 1971". *The Planetary Report*, July/August.
- Arvidson, R, et al. (1989). "The Martian surface as Imaged, Sampled, and Analyzed by the Viking Landers". *Review of Geophysics*, 27: 39-60. DOI: 10.1029/RG027i001p00039.
- Bibring, J.-P. et al. (2004). "Perennial Water Ice Identified in the South Polar Cap of Mars". *Nature*, 428 (6983): 627-630. DOI: 10.1038/nature02461.
- Boynton, W.V. et al. (2007). "Concentration of H, Si, Cl, K, Fe, and Th in the low and mid latitude regions of Mars". *Journal of Geophysical Research: Planets* 112 (E12). DOI: 10.1029/2007JE002887.
- Brown, D. et al. (2012). "NASA Mars Rover Fully Analyzes First Martian Soil Samples". <https://mars.jpl.nasa.gov/msl/news/whatsnew/index.cfm?FuseAction=ShowNews&NewsID=1399>.
- Brown, D. et al (2012). "NASA Rover Finds Old Streambed On Martian Surface". https://www.nasa.gov/home/hqnews/2012/sep/HQ_12-338_Mars_Water_Stream.html.
- Byrne, S. et al. (2009). "Distribution of mid-latitude ground ice on Mars from new impact craters". *Science*, 325 (5948): 1674-1676. DOI: 10.1126/science.1175307
- Chang, Kenneth (2013). "On Mars, an Ancient Lake and Perhaps Life". *New York Times*. <http://www.nytimes.com/2013/12/10/science/space/on-mars-an-ancient-lake-and-perhaps-life.html>
- Clark, B, et al. (1976). "Inorganic Analysis of Martian Samples at the Viking Landing Sites". *Science*, 194 (4271): 1283-1288. DOI: 10.1126/science.194.4271.1283
- Clark, B.C. et al. (2005). "Chemistry and Mineralogy of Outcrops at Meridiani Planum". *Earth and Planetary Science Letters*, 240: 73-94. DOI: 10.1016/j.epsl.2005.09.040.
- Clifford, S.M. & Parker, T.J. (2001). "The Evolution of the Martian Hydrosphere: Implications for the Fate of a Primordial Ocean and the Current State of the Northern Plains". *Icarus*, 154: 40-79. DOI: 10.1006/icar.2001.6671.
- Dartnell, L.R. et al. (2007). "Modelling the surface and subsurface Martian radiation environment: Implications for astrobiology". *Geophysical Research Letters*, 34(2). DOI: 10.1029/2006GL027494.
- Dartnell, L. R. et al. (2007). "Martian sub-surface ionising radiation: biosignatures and geology". *Biogeosciences*, 4: 545-558. DOI: 10.5194/bg-4-545-2007.
- Didymus, J.T. (2013). "Scientists find evidence Mars subsurface could hold life". *Digital Journal - Science*. <http://www.digitaljournal.com/article/341801>.
- Dohm, J.M. et al (2009). "GRS Evidence and the Possibility of Paleoceans on Mars". *Planetary and Space Science*, 57 (5-6): 664-684. DOI: 10.1016/j.pss.2008.10.008.
- Feldman, W.C. et al. (2004). "Global distribution of near-surface hydrogen on Mars". *Journal of Geophysical Research*, 109: E9. DOI: 10.1029/2004JE002101

10.1029/2003JE002160.

Glotch, T. & Christensen, P. (2005). "Geologic and mineralogical mapping of Aram Chaos: Evidence for water-rich history". *Journal of Geophysical Research*, 110: E09006. DOI: 10.1029/2004JE002389.

Grotzinger, J.P. (2014). "Introduction to Special Issue – Habitability, Taphonomy, and the Search for Organic Carbon on Mars". *Science*, 343 (6169): 386-387. DOI: 10.1126/science.1249944.

Grotzinger, J.P.; et al. (2014). "A Habitable Fluvio-Lacustrine Environment at Yellowknife Bay, Gale Crater, Mars". *Science*, 343 (6169): 1242777. DOI: 10.1126/science.1242777.

Hall, A. (1877). "Observations of the Satellites of Mars". *Astronomische Nachrichten*, 91, 1, p.11. DOI: 10.1002/asna.18800971002.

Head, J.; et al. (2006). "Modification of the dichotomy boundary on Mars by Amazonian mid-latitude regional glaciation". *Geophysical Research Letters*, 33. DOI: 10.1130/G24382A.1.

Hoffman, Nick (2002). "Active polar gullies on Mars and the role of carbon dioxide". *Astrobiology*, 2 (3): 313-323. DOI: 10.1089/153110702762027899.

Johnson, J. (2008). "There's water on Mars, NASA confirms". *Los Angeles Times*. <http://articles.latimes.com/2008/aug/01/science/sci-phoenix1>

Kaufman, M. (2015). "Mars Had an Ocean, Scientists Say, Pointing to New Data". *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2015/03/06/science/mars-had-an-ocean-scientists-say-pointing-to-new-data.html>

Kliore, A. et al. (1965). "Occultation Experiment: Results of the First Direct Measurement of Mars's Atmosphere and Ionosphere". *Science*, 149 (3689): 1243-1248. DOI: 10.1126/science.149.3689.1243.

Kolb, K. et al. (2010). "Modeling the formation of bright slope deposits associated with gullies in Hale Crater, Mars: Implications for recent liquid water". *Icarus*, 205: 113-137. DOI: 10.1016/j.icarus.2009.09.009.

Kostama, V.-P. et al. (2006). "Recent high-latitude icy mantle in the northern plains of Mars: Characteristics and ages of emplacement". *Geophysical Research Letters*, 33 (11): L11201. DOI: 10.1029/2006GL025946.

Leighton, R.B. et al (1965). "Mariner IV Photography of Mars: Initial Results". *Science*, 149 (3684): 627-630. DOI: 10.1126/science.149.3684.627.

Malin, M.C. & Carr, M.H. (1999). "Groundwater formation of martian valleys". *Nature*, 397, 589-592. DOI: 10.1038/17551.

Malin, M. C. et al. (2006). "Present-Day Impact Cratering Rate and Contemporary Gully Activity on Mars". *Science*, 314 (5805): 1573-1577. DOI: 10.1126/science.1135156.

Marín, D. (2014). "Los planes chinos para estudiar el sistema solar". *Eureka*. <http://danielmarin.naukas.com/2014/10/03/los-planes-chinos-para-estudiar-el-sistema-solar/>

Marín, D. (2017). "El presupuesto de la NASA de 2017, la carrera por la Luna y la misión tripulada a Marte". <http://danielmarin.naukas.com/2017/03/11/el-presupuesto-de-la-nasa-y-la-mision-tripulada-a-marte/>

McEwen, A.S. et al. (2011). "Seasonal Flow on Warm Martian Slopes". *Science*, 333 (6043): 740-743. DOI: 10.1126/science.1204816.

Mischna, M.A. & Shirley, J.H. (2016). "Numerical Modeling of Orbit-Spin Coupling Accelerations in a Mars General Circulation Model: Implications for Global Dust Storm Activity". [arXiv:1602.09137](https://arxiv.org/abs/1602.09137).

Morris, S. et al. (2006). "Mössbauer mineralogy of rock, soil, and dust at Gusev crater, Mars: Spirit's journal through weakly altered olivine basalt on the plains and pervasively altered basalt in

- the Columbia Hills". *Journal of Geophysical Research*, 111. DOI: 10.1029/2005JE002584.
- Moskowitz, C. (2015). "Water Flows on Mars Today, NASA Announces". *Scientific American*. <https://www.scientificamerican.com/article/water-flows-on-mars-today-nasa-announces/>
- Musselwhite, D.S. et al. (2001). "Liquid CO₂ breakout and the formation of recent small gullies on Mars". *Geophysical Research Letters*, 28 (7): 1283-1285. DOI: 10.1029/2000GL012496.
- Ojha, L. et al. (2015). "Spectral evidence for hydrated salts in recurring slope lineae on Mars". *Nature Geoscience*, 8, 829-832. DOI: 10.1038/ngeo2546.
- Osterloo, M.M. et al. (2008). "Chloride-Bearing Materials in the Southern Highlands of Mars". *Science*, 319 (5870): 1651-1654. DOI: 10.1126/science.1150690.
- Pérez-Verde, A. (2016). "La sonda InSight será lanzada en mayo de 2018". *Astrométrico*. <http://astrometrico.es/2016/03/10/sonda-insight-sera-lanzada-en-mayo-de-2018/>
- Pérez-Verde, A. (2016). "Vida extrema y análogos terrestres en Danakil". *Astrométrico*. <http://astrometrico.es/2016/05/05/vida-extrema-y-analogos-terrestres-en-danakil/>
- Pérez-Verde, A. (2016). "El TGO comienza a trabajar y el nuevo inquilino europeo de la ISS". *Astrométrico*. <http://astrometrico.es/2016/11/22/el-tgo-comienza-a-trabajar-y-el-nuevo-inquilino-europeo-de-la-iss/>
- Pla-García, J. (2016). "The meteorology of Gale crater as determined from rover environmental monitoring station observations and numerical modeling. Part I: Comparison of model simulations with observations". *Icarus*, 280, pp.103-113. DOI: 10.1016/j.icarus.2016.03.013.
- Pla-García, J. (2016). "Las temperaturas del aire en Marte raramente son positivas". *Astrométrico*. <http://astrometrico.es/2016/06/28/las-temperaturas-del-aire-en-marte-raramente-son-positivas/>
- Pla-García, J. (2016). "SpaceX y la obsesión por colonizar Marte". *Astrométrico*. <http://astrometrico.es/2016/11/14/spacex-y-la-obsesion-por-colonizar-marte/>
- Plaut, J. J.; et al. (2007). "Subsurface Radar Sounding of the South Polar Layered Deposits of Mars". *Science*, 316 (5821): 92-95. DOI: 10.1126/science.1139672.
- Pollack, J.B. et al. (1987). "The Case for a Wet, Warm Climate on Early Mars". *Icarus*, 71(2): 203-224. DOI: 10.1016/0019-1035(87)90147-3.
- Rennó, N.O. et al. (2009). "Possible physical and thermodynamical evidence for liquid water at the Phoenix landing site". *Journal of Geophysical Research*, 114: E00E03. DOI: 10.1029/2009JE003362.
- Ripero, J. (2003). "Marte: un repaso histórico a su observación". *The Mars Society España*. <http://www.marssociety.org/es/paginas/especiales/observacion.asp>
- Rodríguez, J.A.P. et al. (2016). "Tsunami waves extensively resurfaced the shorelines of an early Martian ocean". *Nature Scientific Reports*, Vol. 6, id. 25106. DOI: 10.1038/srep25106.
- Salese, F. et al. (2016). "Hydrological and sedimentary analyses of well-preserved paleofluvial-paleolacustrine systems at Moa Valles, Mars". *Journal of Geophysical Research: Planets*, 121: 194-232. DOI: 10.1002/2015JE004891.
- Smith, D. et al. (1999). "The Gravity Field of Mars: Results from Mars Global Surveyor". *Science*, 286 (5437): 94-97. DOI: 10.1126/science.286.5437.94.
- Smith, P.H. (2009). "H₂O at the Phoenix Landing Site". *Science*, Vol. 325, Is. 5936, p. 58. DOI: 10.1126/science.1172339.
- Spinrad, H. et al (1963). "Letter to the Editor: the Detection of Water Vapor on Mars". *Astrophysical Journal*, 137: 1319. DOI: 10.1086/147613.

SOBRE EL AUTOR

Antonio Pérez Verde (1981). Estudió Ingeniería Técnica de Telecomunicación en la Universidad de Castilla la Mancha, especializándose en Física de Ondas en el Limerick Institute of Technology (Irlanda). Pasó varios años en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA) en un proyecto de telescopios robóticos para la caracterización de exoplanetas y fue en ese lugar donde tuvo el primer contacto directo con la exploración de Marte.

Es colaborador docente del Master de Astronomía y Astrofísica de la Universidad Internacional de Valencia desde 2016 y a nivel

divulgativo colabora periódicamente en el portal TecnoXplora de Atresmedia, en la revista Astronomía y en la revista Principia y en medios audiovisuales como radio San Vicente y Castilla la Mancha Media. Puntualmente también ha aparecido en diarios y revistas especializadas.

Es autor del blog "Astrométrico" donde también desarrolla su labor divulgativa hablando de astronomía con especial hincapié en exoplanetas y exploración del sistema solar, donde Marte cobra un papel protagonista.

viu | **Universidad**
Internacional
de Valencia

Síguenos en:



www.viu.es