

Ricardo Amils y Paola Molina Sevilla

# Marte en la Tierra:

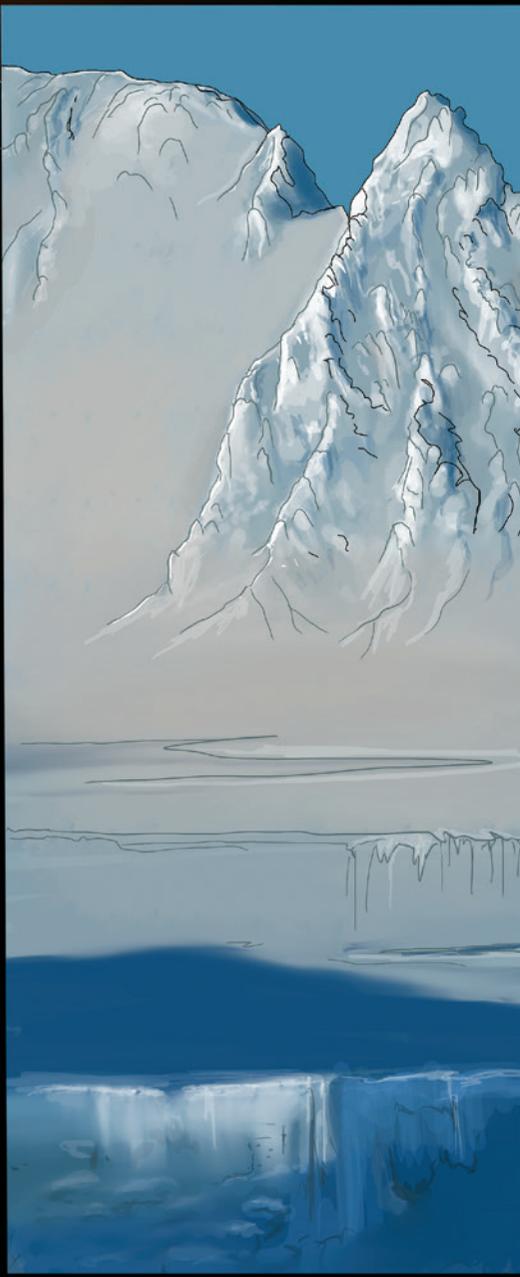
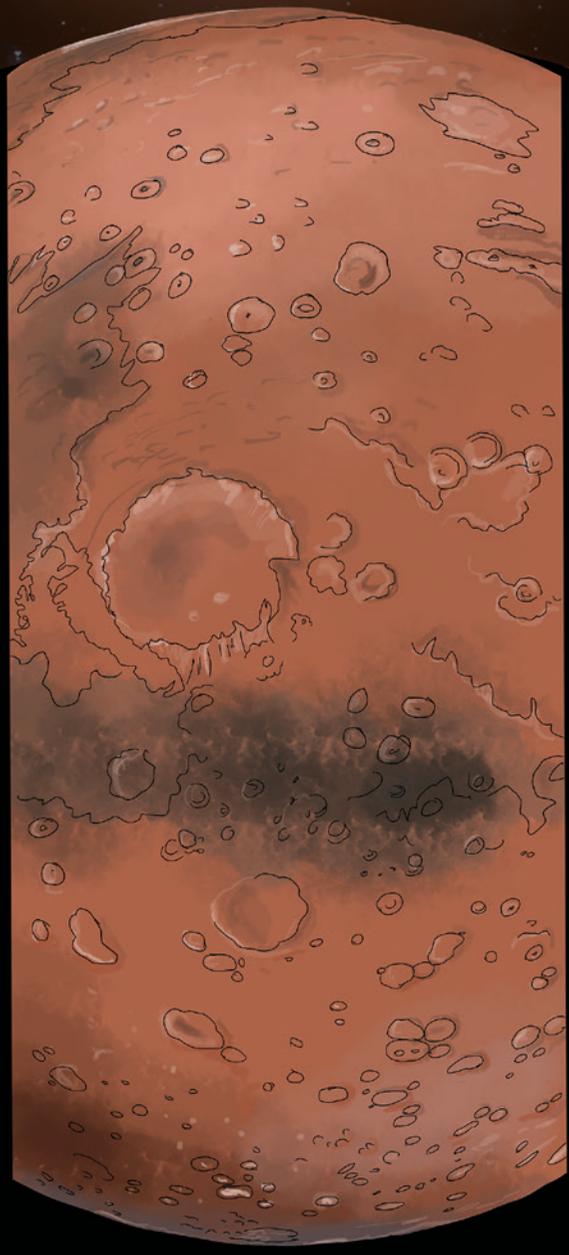
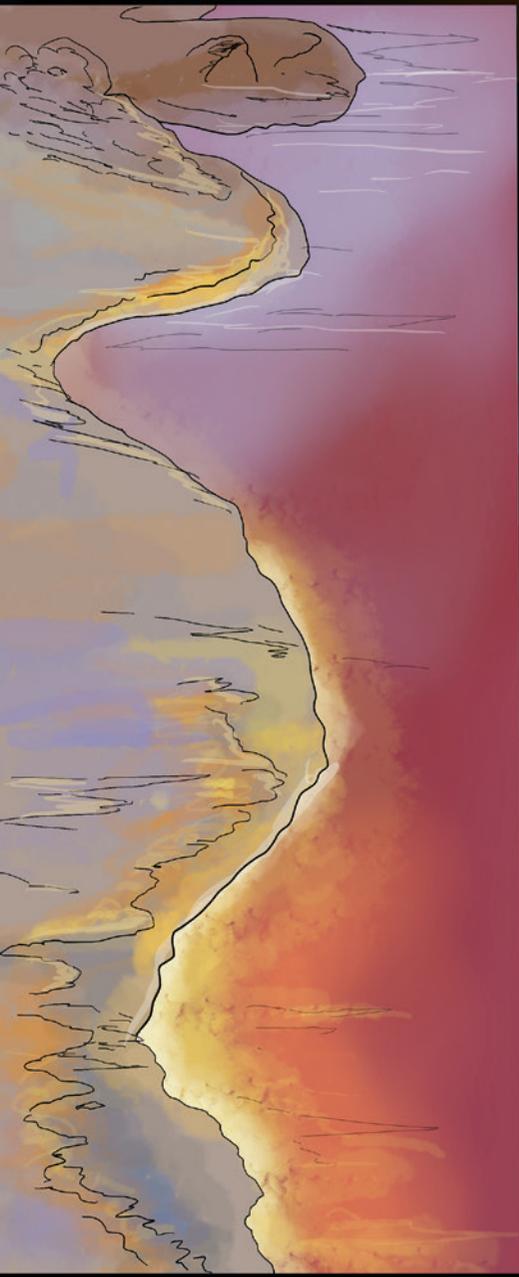
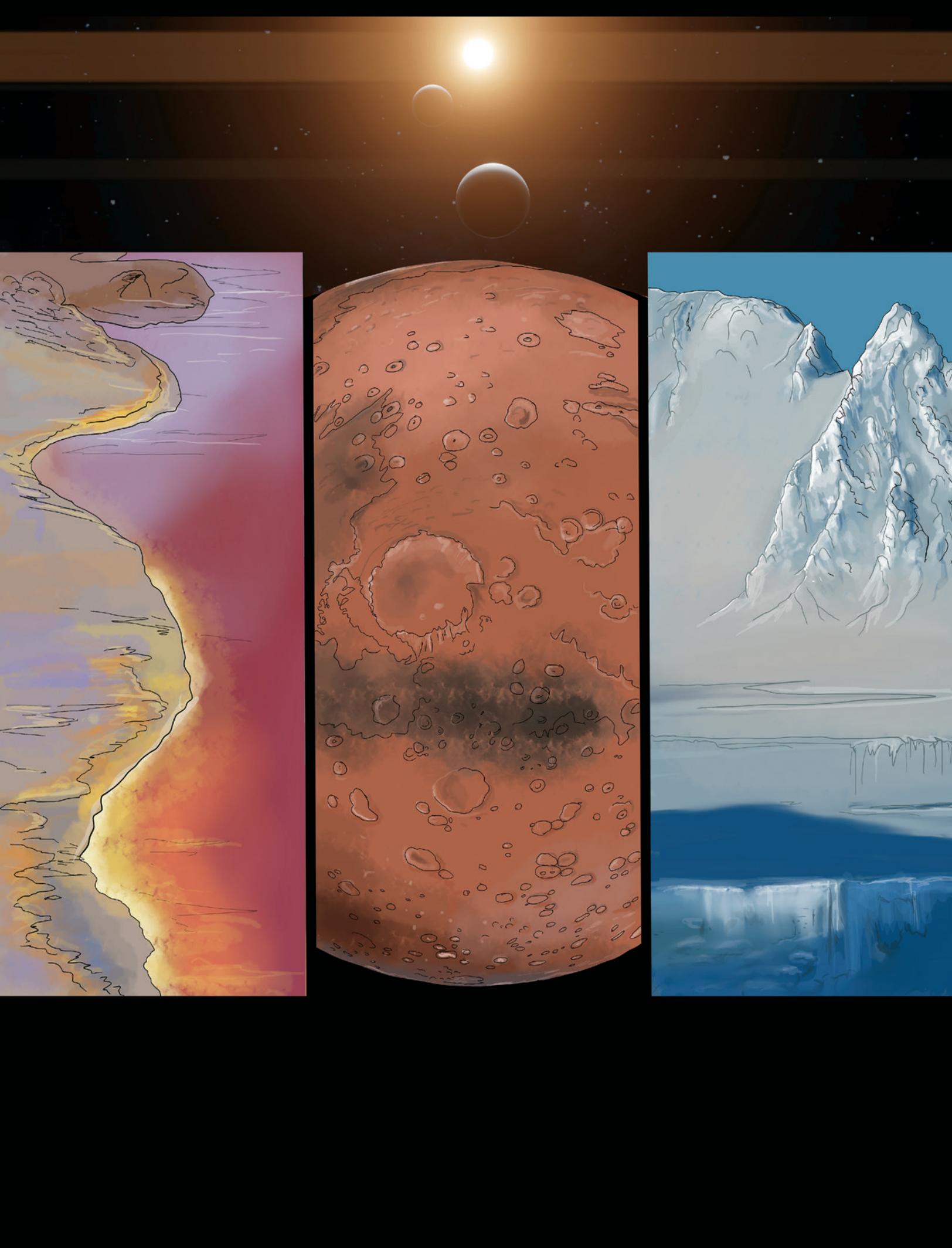
## en busca de análogos marcianos

La exploración espacial en sus comienzos se basó en serendipia y conforme ha avanzado, se ha sistematizado. Una muestra es la búsqueda de sitios similares a los del paisaje marciano sobre la superficie de la Tierra, cuya historia geológica ayuda a entender la evolución planetaria y a conjeturar la habitabilidad de Marte. A estos lugares se les conoce como *análogos marcianos*.

### Introducción

A finales del siglo XIX, muchos astrónomos veían un gran potencial en Marte como planeta habitable por las evidencias recabadas en sus grandes telescopios, como lo fue el descubrimiento de Giovanni Schiaparelli en 1877, quien observó figuras que semejabán cauces de ríos y las denominó *canali*; sin embargo, por una mala traducción se interpretó como una red hidráulica artificial diseñada por una civilización avanzada, lo que avivó en el ideario de la gente la creencia de que en Marte había vida. Las primeras imágenes tomadas por las misiones Mariner mostrarían, no obstante, una superficie llena de cráteres que recordaba más a la Luna, fría y estéril.

Con todo y las claras evidencias de la inexistencia de una civilización avanzada, surge la misión espacial Viking en 1968, la única en tener como objetivo la búsqueda e identificación de vida microbiana en Marte, por medio de una serie de experimentos para detectar actividad metabólica y un experimento que podía caracterizar los componentes orgánicos, además de ser capaz de diferenciarlos de aquellos producidos sin intervención de seres vivos, llamados abióticos. Este último experimento consistía en tomar suelo marciano y calentarlo en una atmósfera inerte, separar los gases producidos por cromatografía de gases e identificarlos por espectrometría de masas. Para poder indicar la fuente de dichos componentes orgánicos, probar la instrumentación y facilitar la interpretación de los resultados, se utilizaron cultivos bacterianos, sedimentos del precámbrico, meteoritos, suelos agrícolas y sedimentos del desierto de Mojave, California, como el ambiente desértico más parecido a Marte.



Los resultados de la misión Viking dejaron una importante huella en la exploración espacial, aunque mientras los experimentos de metabolismo mostraban actividad microbiana, la instrumentación encargada de detectar y caracterizar componentes orgánicos no fue capaz de hacerlo. Para probar el método se utilizaron muestras de los Valles Secos de la Antártida, en donde se detectaron varios compuestos orgánicos, evidenciando que los métodos y la instrumentación habían funcionado.

A pesar del ambiente inhóspito de los Valles Secos, se determinó también la existencia de una gran variedad de bacterias y algas, que llevó a los científicos a cuestionar cuáles podrían ser los límites para la vida y si este lugar que mostraba una fisiografía muy similar a la de Marte lo era también en relación con la actividad biológica. Se incentivó así la búsqueda de sitios para probar la instrumentación, generando a la par una redefinición de los sitios análogos a Marte.

 **Sitios análogos, definición cambiante**

 La Antártida es un desierto polar que en la época del Viking fue el mejor análogo debido a su topografía, su bajo campo magnético y alta velocidad de los vientos. La precipitación y la temperatura son tan bajas que la nieve al calentarse se sublima en vapor de agua y se disocia en átomos de oxígeno e hidrógeno debido a los rayos ultravioleta del Sol y el ozono, tal como ocurre en Marte, de ahí que la definición de un análogo marciano se expresó como aquel sitio en la Tierra cuyas condiciones ambientales, características geológicas, atributos biológicos —o una combinación de éstos— se aproxima a los esperados y observados en Marte.

A finales de los 90 del siglo pasado, la misión Pathfinder halló indicios de un ambiente acuoso en la superficie marciana, lo que motivó el desarrollo de misiones más eficientes y el requerimiento de ambientes para probar la instrumentación y que ayudaran a entender los procesos geológicos operantes en Marte. De acuerdo con estos requerimientos, Jeffrey Marlow propone clasificar a los análogos marcianos de acuerdo con las siguientes categorías: químicos, mecánicos, físicos, magnéticos y orgánicos.

A pesar de representar de manera parcial a los ambientes extraterrestres, los análogos participan en las diferentes etapas de una misión espacial y han tomado tanta relevancia que en 2021 se han presentado definiciones en relación con su relevancia, usos y límites:

1. Sitios usados por su analogía planetaria: sirven para explicar procesos geológicos extraterrestres, para lo cual se examinan las estructuras geológicas, la geomorfología y el paisaje.
2. Sitios usados por sus procesos mecánicos: permiten estudiar los procesos de alteración química, mecánica, hidrotermalismo, metamorfismo, intemperismo (degradación de las rocas por factores físicos o químicos) e impactos, para explicarlos en ambientes extraterrestres.
3. Sitios usados por su petrografía y mineralogía: su utilidad reside en que permiten estudiar la formación mineral y su identificación en ambientes extraterrestres.
4. Sitios de interés astrobiológico: sirven para el estudio del metabolismo en condiciones análogas y de bioseñales de vida presente o pasada.
5. Sitios análogos para ingeniería: permiten probar la instrumentación de los vehículos y el entrenamiento de astronautas.

Actualmente, se han descrito diversos sitios como análogos terrestres de Marte. En este escrito, hemos seleccionado los tres mejores, puesto que han aportado pistas contundentes sobre la presencia de agua líquida, el pasado de Marte y sus posibilidades de albergar vida.

 **Principales sitios análogos para estudiar Marte**

 *Río Tinto, posibilidades de vida en Marte*

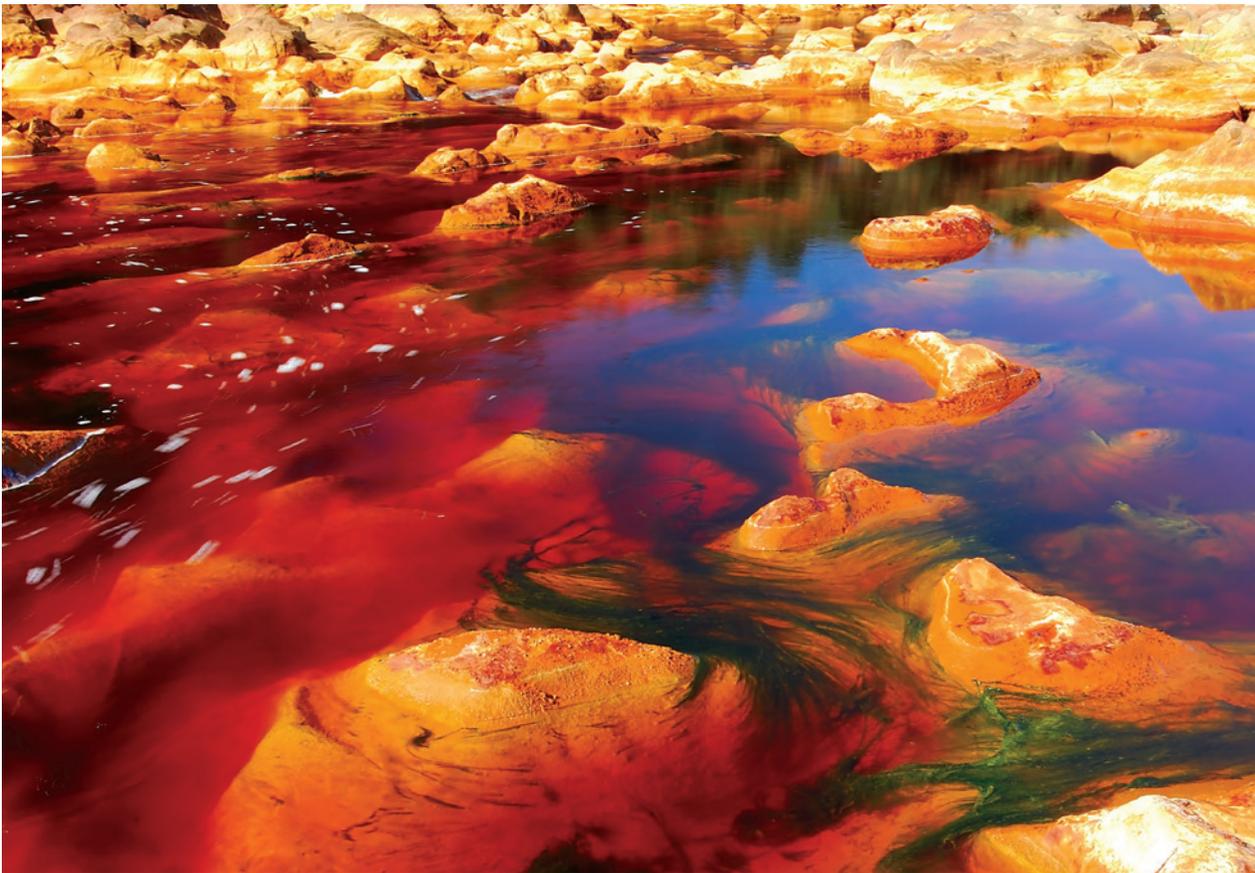
 La misión Pathfinder (1997) detectó ambientes donde fluyó agua sobre la superficie marciana. Para obtener evidencias en este sentido, se diseñaron los vehículos robóticos de exploración *in situ* Spirit y Opportunity, cuyo objetivo fue detectar minerales de hierro que sólo se forman en interacción con el agua. Para probar la instrumentación y dar una inter-

pretación a los resultados de la misión, fue necesario encontrar un ambiente acuoso con altas concentraciones de hierro; ese sitio se encontró en España, al suroeste de la península ibérica, en Huelva, en la cuenca del Río Tinto.

La cuenca del Río Tinto alberga el mayor depósito de sulfuros masivos del mundo (la Faja Pirítica ibérica), contiene altas concentraciones de sulfatos y óxidos de hierro, cuyos minerales más representativos son la hematita y la jarosita, minerales que fueron detectados en las zonas de estudio del robot Opportunity. Esto fue significativo porque la presencia de jarosita se asocia a un medio altamente alterado por el agua; esto es, se genera en ambientes sumergidos. Por su parte, la hematita se forma como un precipitado en agua líquida y la acción del vulcanismo, de modo que se consideró que la hematita “podría ser un indicador mineral de agua del pasado”. Saber cómo se formó en Marte la hematita puede ayudar a

caracterizar su historia pasada y determinar si mantuvo las condiciones favorables para la vida.

El Río Tinto muestra un complejo ecosistema a pesar de que sus aguas son extremadamente ácidas (pH entre 1.7 y 2.7) y están cargadas de hierro oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ), lo que le da su característico color rojo y son consecuencia de los procesos biológicos de microorganismos que crecen en los depósitos de sulfuros metálicos. Esto abre la posibilidad de que ambientes similares de Marte puedan haber albergado vida microbiana (véase la Figura 1). Estos descubrimientos muestran que el Río Tinto (Huelva) es un laboratorio natural que recrea Marte en la Tierra, tanto que sus características geológicas son muy similares a la región Meridiani Planum de Marte en la era Noeica, la más antigua de los tres periodos en que se ha dividido la historia de Marte. Además, la jarosita y la hematita son minerales que pueden preservar la materia orgánica y, por tanto, posibles restos de vida. A



**Figura 1.** Fotografía que muestra una parte del cauce del Río Tinto con su característico color rojo. Se puede apreciar la presencia de algas filamentosas. Crédito: Julio Segura.

partir de estos descubrimientos también se va construyendo la historia climática de Marte.

Recientemente se ha podido demostrar que el origen de las condiciones extremas de la cuenca del Tinto se deben a un biorreactor subterráneo capaz de promover la oxidación del hierro en **condiciones anóxicas**. La demostración de vida en el subsuelo profundo de la Faja Pirítica ibérica ha reactivado el interés de buscar vida en el subsuelo marciano, circunstancia que las condiciones actuales existentes en la superficie imposibilitarían.

### *Atacama, el Marte del presente*

El corazón del desierto de Atacama en Chile se considera la zona más hiperárida del planeta y por consecuencia casi estéril, a pesar de ser un desierto templado. La evidencia geológica y mineralógica sugiere que la zona más árida del desierto ha permane-

cido así por más de 10-15 millones de años, lo que lo hace el desierto más antiguo del mundo. Ocasionalmente hay ingreso y condensación de neblina que se conoce como *camanchaca*. Su hiperaridez se debe a los efectos combinados de un sistema de alta presión en el oeste del Pacífico junto con el efecto secante del flujo frío de las corrientes oceánicas de Humboldt con dirección norte, y un efecto de barrera debido a la cordillera de la costa, por el oeste, y a la cordillera de los Andes, al este, que evita el paso de nubes.

A partir de una publicación de la revista *Science* en 2003, se ha considerado que los suelos del desierto de Atacama podrían ser similares a los de Marte, debido al ambiente altamente oxidante y la escasa actividad biológica, que trae como consecuencia la acumulación de nitratos, la deposición de ácidos y la baja concentración de material orgánico (Figura 2).

Condiciones anóxicas  
Se dice de los ambientes con ausencia de oxígeno.



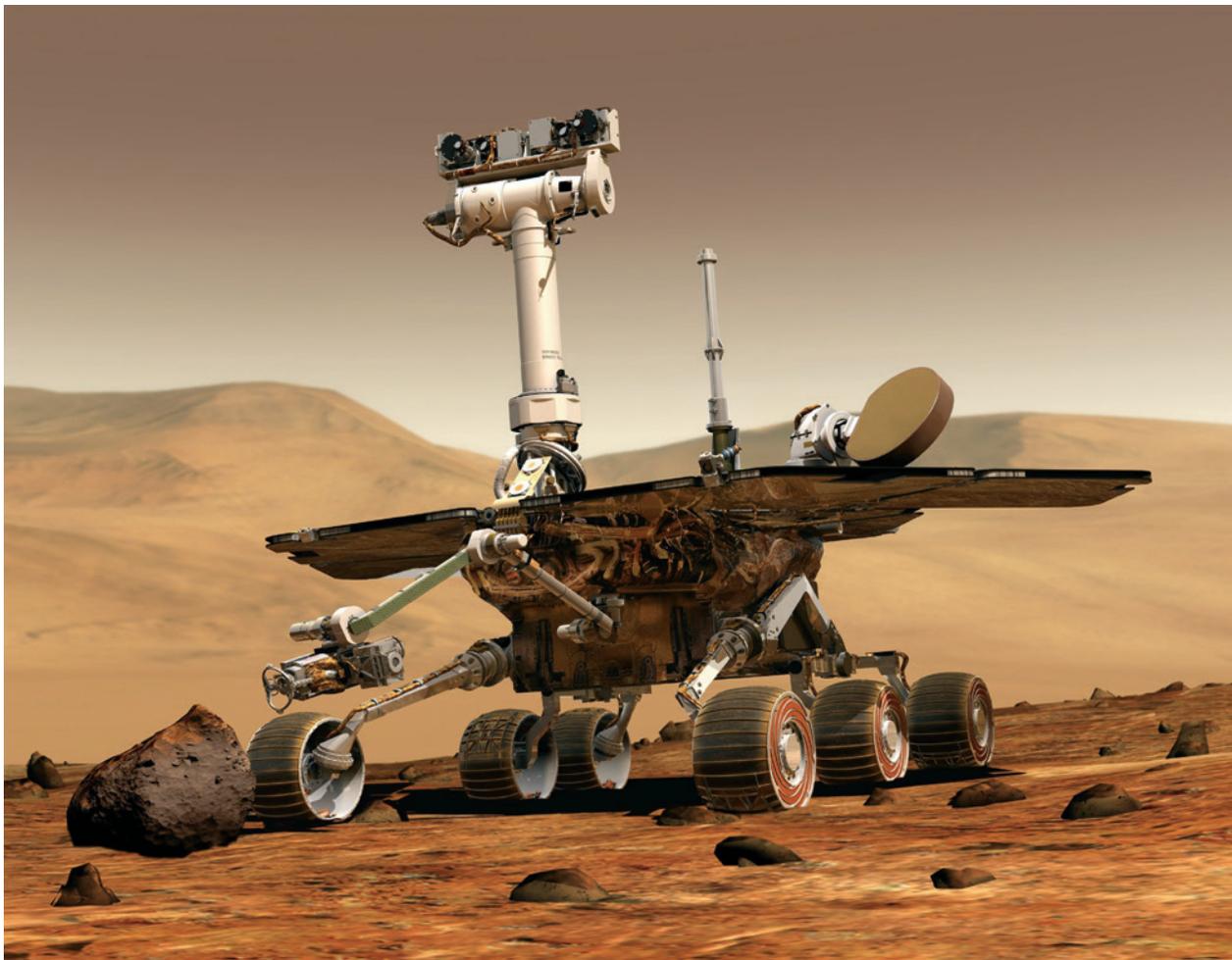
**Figura 2.** Las rocas y la arena caracterizan el corazón del desierto de Atacama. No hay presencia de vida macroscópica. Crédito: Navarro Team.

En 2008, la misión Phoenix detectó percloratos en el suelo marciano, y según las pruebas con los suelos del desierto de Atacama, en presencia de estos componentes químicos era imposible detectar material orgánico con las técnicas usadas por la misión Viking. Estos resultados, más el estudio de la degradación de la materia orgánica en estos suelos, han sido determinantes para preparar futuras misiones.

### *Dalol, los límites de la vida en la Tierra*

Los microorganismos se pueden encontrar donde existe agua líquida y fuentes metabólicamente adecuadas de carbono, energía y nutrientes. Sin embargo, ante cambios drásticos en su entorno, su integridad celular puede verse comprometida en condiciones físicas y químicas extremas (temperatura, presión, salinidad, pH, potencial redox, entre otros). Los microorganismos que viven en presencia

de tales desafíos se denominan extremófilos y se han adaptado fisiológicamente para vivir en condiciones adversas. Esta capacidad de colonizar cualquier hábitat terrestre podría ser viable en otros cuerpos planetarios. Por lo tanto, el estudio de los procesos geológicos en ambientes extremos, junto con la habitabilidad, juegan un papel crucial en la determinación de los límites físicos y químicos dentro de los cuales puede existir la vida en la Tierra. Adicionalmente, la filogenia –encargada del estudio de la evolución de las especies hasta ahora conocidas en la Tierra– indica que provenimos de un ancestro común y que las primeras formas de vida temprana habrían habitado un entorno termófilo (cálido), en océanos ricos en iones metálicos, carentes de oxígeno (anaerobiosis), con lo que se propone a los sistemas hidrotermales asociados con actividad volcánica submarina, o aguas termales terrestres, como



entornos en los que surgió la vida. A partir de estas propuestas, se ha incrementado el interés de estudiar Marte, pues su fisiografía muestra que en su pasado hubo actividad volcánica e hidrotermal sobre su superficie, debido a la presencia de agua líquida.

De nueva cuenta, es necesario encontrar ambientes análogos donde podamos estudiar formas de vida en condiciones extremas que se asemejen al pasado de Marte. La zona de Dallol, la cual se encuentra en una remota región de Etiopía y es parte de la depresión de Danakil, presenta un excelente ambiente similar al de Marte. Dentro de ella se encuentra un campo hidrotermal con actividad volcánica. Esta zona está rodeada por una amplia e hiperbárica llanura de sal, con ambientes naturales muy cálidos (36-38 °C) y pH cercano a cero, lo cual los hace los más ácidos de la Tierra. Las espectaculares geomorfologías y depósitos minerales producidos por aguas hidrotermales sobresaturadas y **salmueras** son el resultado de interacciones complejas entre la alteración hidrotermal activa e inactiva del lecho rocoso, fuentes y piscinas termales sulfúricas, fumaro-

**Salmueras**  
Cuerpos de agua con altas concentraciones de sal.

las y géiseres, así como procesos de recristalización impulsados por aguas hidrotermales, desgasificación y evaporación rápida (Figura 3). La diversidad de hábitats presentes en Dallol lo hacen un lugar único que puede servir como un laboratorio natural para explorar ambientes para la vida temprana, estudiar los mecanismos de adaptación en genes, proteínas, membranas y ácidos nucleicos en condiciones extremas, donde podamos dilucidar los principios de supervivencia y adaptación, como la termoestabilidad que utilizan los extremófilos para conservarse y de la cual aún no existe una comprensión integral. La zona de Dallol nos da la oportunidad de proponer entornos en los que podría existir vida extraterrestre, definir firmas biológicas, así como el diseño de instrumentación científica para la detección de vida.

**Reflexiones finales**

Después de los polémicos resultados que obtuvo la misión Viking, no había instrumentación que diera cuenta de la existencia de material orgánico ni que



**Figura 3.** Fotografía de una de las pozas en la zona de Daloll, cuyos colores se deben a depósitos de hierro en distinto estado de oxidación. Crédito: Nuria Rodríguez.



determinara la existencia de vida en Marte. En dicha época fue necesario valerse de ambientes que ayudaran a entender los fallos de la misión y que hoy en día se han vuelto esenciales no sólo para probar instrumentación, sino que han ayudado a reconstruir el pasado climático de Marte, reconocer sitios de mayor interés astrobiológico, así como nuevos mecanismos para la búsqueda de vida no sólo en el planeta rojo.

### Ricardo Amils

Unidad de Microbiología Aplicada-Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

ramils@cbm.csic.es

### Paola Molina Sevilla

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

paolams@ciencias.unam.mx

### Lecturas recomendadas

Navarro-González, R. (2006), "Marte en el Desierto de Atacama", *Ciencia*, 57(1):5-9.

Herrán, J. de la (2003), "Marte más cerca que nunca", *¿Cómo ves?*, 57, DGDC-UNAM. Disponible en: <https://www.comoves.unam.mx/numeros/articulo/57/marte-mas-cerca-que-nunca>.

Valdivia-Silva, J. y G. Cordero-Tercero (2022), "Astrobiología en Marte", en L. Montoya-Lorenzana, G. Cordero-Tercero y S. Ramírez-Jiménez (comps.), *Astrobiología. Una visión transdisciplinaria de la vida en el universo*, México, FCE/UNAM/ICN.

Amils, R., D. Fernández-Remolar y The IPBSL Team (2014), "Río Tinto: A geochemical and mineralogical terrestrial analogue of Mars", *Life*, 4(3):511-534.

Amils, R. *et al.* (2023), "Coupled C, H, N, S and Fe biogeochemical cycles operating in the continental deep subsurface of the Iberian Pyrite Belt", *Environmental Microbiology*, 25:428-453.

Calavazzi, B. *et al.* (2019), "The Dallol Geothermal Area, Northern Afar (Ethiopia)—An exceptional planetary field analog on Earth", *Astrobiology*, 19(4):553-578.

Marlow, J. J. *et al.* (2008), "Mars on Earth: soil analogues for future Mars missions", *Astronomy & Geophysics*, 4(2):20-23.