

**Anguita, F.** (2009). 1. Marte y la Tierra: historia de dos planetas. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Misterios de la Gea: descifrando los enigmas ocultos en rocas, gases, agua y fuego*. pp. 9-39. Actas IV Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. ISBN 978-84-613-4817-6.

## **1. Marte y la Tierra: historia de dos planetas**

**Francisco Anguita**

*Profesor Titular de Geología,  
Universidad Complutense de Madrid.*

*Hace unos años, una periodista de El País vino a verme puesto que le habían encargado viajar a Houston con el propósito de entrevistar a un ingeniera de la NASA que había diseñado el robot de superficie 'Pathfinder' que tenía previsto posarse en Marte en unos días. Su intención era documentarse sobre este planeta, con el fin de preparar la entrevista y saber que es lo que podría preguntarle que resultara interesante. Estuvimos hablando largamente sobre Marte, y a la vuelta de Houston le pregunté como le había ido. Me contó, con una sonrisa, que cuando se vio delante de la ingeniera lo primero que se le ocurrió preguntarle fue ¿Por qué Marte? Y la respuesta fue ¿Cómo, que por qué Marte? ¡Marte le gusta a todo el mundo! Esta respuesta, aparentemente tan poco argumentada desde un punto de vista científico, refleja sin embargo el interés que siempre ha despertado este planeta.*

*Este recorrido comparativo entre los planetas Marte y la Tierra incluye información sobre sus posiciones en el Sistema Solar, sus tamaños, satélites, paisajes, volcanes, canales, cráteres de impacto, orografía general, e historia geológica. Con el conocimiento actual sobre el planeta rojo es posible describir bastantes aspectos, pero todavía hay numerosos detalles de Marte sin resolver que plantean muchas cuestiones, preguntas que aunque todavía carecen de respuesta, están bastante centradas.*

### **Introducción**

Desde un principio, Marte interesó muchísimo a los astrónomos y a todos aquellos que comenzaron a mirar a los planetas. Hacia finales del

siglo XIX puede decirse que en cierta medida se inicia un periodo de fiebre marciana. Por aquellos años con las primeras observaciones, los astrónomos empezaron a encontrar cosas que ahora sabemos que sólo podían ser fruto de su imaginación. Comenzaron a observar los famosos canales marcianos, y describieron como esos canales se duplicaban ante sus ojos en cuestión de segundos. Si hubieran sido algo más reflexivos y no hubieran estado obsesionados por lo que deseaban ver, sino por lo que realmente estaban viendo, hubieran comprendido que aquello no podía ser real. Es decir, por muy avanzados que fueran los ingenieros marcianos era imposible la construcción de canales de miles de kilómetros en cuestión de segundos.

Ese fue el Marte que nos vendieron hacia 1890. Unos años después, hacia 1898, Herbert George Wells publicó su famosa novela *La guerra de los mundos*, en la cual los marcianos eran los protagonistas de una invasión extraterrestre. Siempre me ha llamado poderosamente la atención que un personaje como Wells, que era un socialista utópico, escribiese una novela tan sangrienta. Una novela, en la que los marcianos no actuaban como una civilización avanzada que iniciaba una empresa bella y justa, sino que por el contrario eran descritos como una banda de asesinos invasores. Posteriormente, en 1938, fue llevada a cabo la famosa adaptación a la radio de la novela, en el muy conocido programa radiofónico de Orson Wells. Durante la emisión del programa, los oyentes que sintonizaron la emisión y no habían escuchado la introducción, pensaron que se trataba de un boletín real de noticias en el que se informaba de la invasión marciana de la Tierra, lo que provocó el pánico generalizado en las calles de Nueva York y Nueva Jersey donde supuestamente se estaba iniciando la invasión.

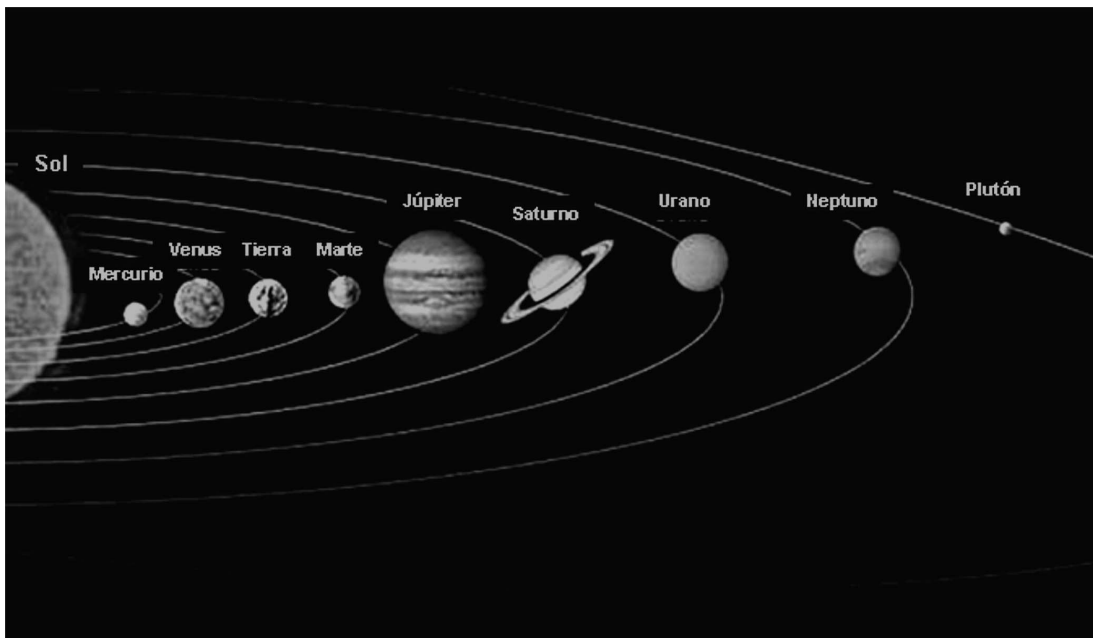
Los artistas en general también han prestado mucha atención a Marte, y en las obras de ciencia ficción este planeta ha sido un tema recurrente. Las famosas *Crónicas marcianas* de Ray Bradbury, aparecidas en 1953, representaron el primer ejemplo en la literatura de ciencia ficción culta. En la obra, Bradbury retrata a Marte, no como un planeta de asesinos, sino como un lugar en el que sus habitantes, los marcianos, son personas rodeadas por similares problemas a los de sus vecinos del planeta Tierra. También podemos citar a Elton John, que en los años sesenta compuso una canción, *Rocket Man*, en la cual describió a Marte en términos más científicos. Bastante más que los previamente utilizados por Wells y por Bradbury. De Marte Elton John canta que es un lugar muy malo para educar a nuestros hijos, puesto que es frío como el infierno. Este es el Marte de los escritores.

Marte, por otra parte, también apasiona a los ingenieros porque es probablemente el único cuerpo del sistema solar en el que podríamos intentar la aventura de transformarlo, para hacerlo habitable para los seres humanos. Esta posibilidad es tema de debate con defensores y detractores. Pero con la actual tecnología no hay seguridad de que sea posible.

En resumen, creo que Marte es un planeta que le gusta a todo el mundo. Pero en la actualidad el objetivo no es encontrar compañía en el universo, ya no estamos buscando marcianos. Ahora tratamos de descifrar que fue lo que pudo ocurrir cuando hace 4000 millones de años a una estrella se le ocurrió calentar Marte. No es una empresa descabellada, aunque escenarios de este tipo dudo que puedan preverse. La base utópica de esta búsqueda es establecer el parecido entre las condiciones que existían en Marte durante el periodo en el cual surgió la vida sobre la Tierra. Esto es, hace unos 4000 millones de años. Como veremos más adelante Marte tenía un ambiente parecido, un clima favorable o al menos aceptable para la vida, y por tanto, la pregunta es obligatoria. Si sucedió en la Tierra, ¿por qué no, en Marte?

### La Tierra y Marte en el Sistema Solar

Los planetas, la Tierra y Marte, por su proximidad al Sol, ocupan las posiciones tercera y cuarta en el Sistema Solar (Fig. 1). El sistema solar está constituido por ocho planetas puesto que la asamblea general de la Unión Astronómica Internacional reunida en Praga en 2006 calificó a Plutón, debido a su tamaño, como planeta enano y lo eliminó de la lista de planetas



**Fig. 1.** En el Sistema Solar Marte ocupa una posición un poco en el límite entre los planetas interiores pequeños y densos y los planetas exteriores enormes y gaseosos.

formales. Marte ocupa una situación un poco en el límite. Es el límite de los planetas interiores o telúricos que están formados por metales y rocas. De manera que tiene hacia afuera primero los asteroides y luego los planetas exteriores o gigantes, como Júpiter. Marte está situado en la frontera de dos tipos de planetas, los planetas densos y los planetas gaseosos.

Los tamaños relativos de la Tierra y Marte resultan evidentes cuando los comparamos (Fig. 2). El radio de Marte es aproximadamente la mitad del radio terrestre (unos 6400 frente a unos 3400 km). Marte es por lo tanto un planeta pequeño, pero desde el punto de vista de los aspectos geológicos que podemos estudiar en él tiene una ventaja con respecto a la Tierra, y es que carece de océanos. De modo que toda la superficie del planeta resulta visible para su reconocimiento. De este modo, la comparación de la superficie de Marte con la superficie emergida de la Tierra, es decir la superficie ocupada por los continentes, nos permite comprobar valores casi iguales. Por eso, el objeto de exploración es un planeta tan grande como la totalidad de la superficie continental terrestre.



**Fig. 2.** El radio de Marte (a la izquierda) mide aproximadamente la mitad del radio de la Tierra (derecha).

Los satélites de la Tierra y Marte son muy distintos (Fig. 3). La Tierra tiene un satélite gigante, la Luna, que con su radio de 3478 km es mucho mayor que los dos satélites que orbitan alrededor de Marte. Los satélites marcianos son Fobos y Deimos, que fueron descubiertos en 1877 por el

astrónomo estadounidense Asaph Hall, el cual eligió para ellos el nombre de los caballos del carro del dios Marte: Fobos (miedo) y Deimos (terror). Hay una anécdota curiosa sobre el descubrimiento de estos satélites. Hall estaba intentando estudiar Marte desde un sitio muy poco apropiado. Se trataba de un nuevo observatorio que la Marina de Estados Unidos había instalado junto a un río, un lugar muy malo para mirar hacia el cielo, porque existe mucha humedad que altera la calidad de las observaciones. De manera que los pobres resultados que obtenía lo tuvieron al borde de desistir. Fue su mujer, Chloe Angeline Stickney Hall, quien le animó a prolongar sus observaciones una noche más, y esa noche fue cuando descubrió los satélites. Por esta razón, el enorme cráter que hay en Fobos, denominado Stickney, lleva el nombre de la esposa de Hall. Este cráter es el resultado de una colisión con otro objeto que estuvo a punto de destrozar a esta luna.

Los satélites de Marte son realmente muy pequeños y con una forma muy irregular. Fobos tiene un diámetro medio de 22,2 km, mientras que el de Deimos es sólo de 12,6 km. Aunque la hipótesis más extendida apunta a que se trata de satélites capturados del cinturón de asteroides cercano,



**Fig. 3.** Comparación de la Luna, el enorme satélite terrestre (A) cuyo diámetro supera los 6900 km, con los diminutos satélites marcianos (no reproducidos con la misma escala): Fobos (B) con diámetro medio de 22,2 km y Deimos (C), con diámetro medio de 12,6 km.

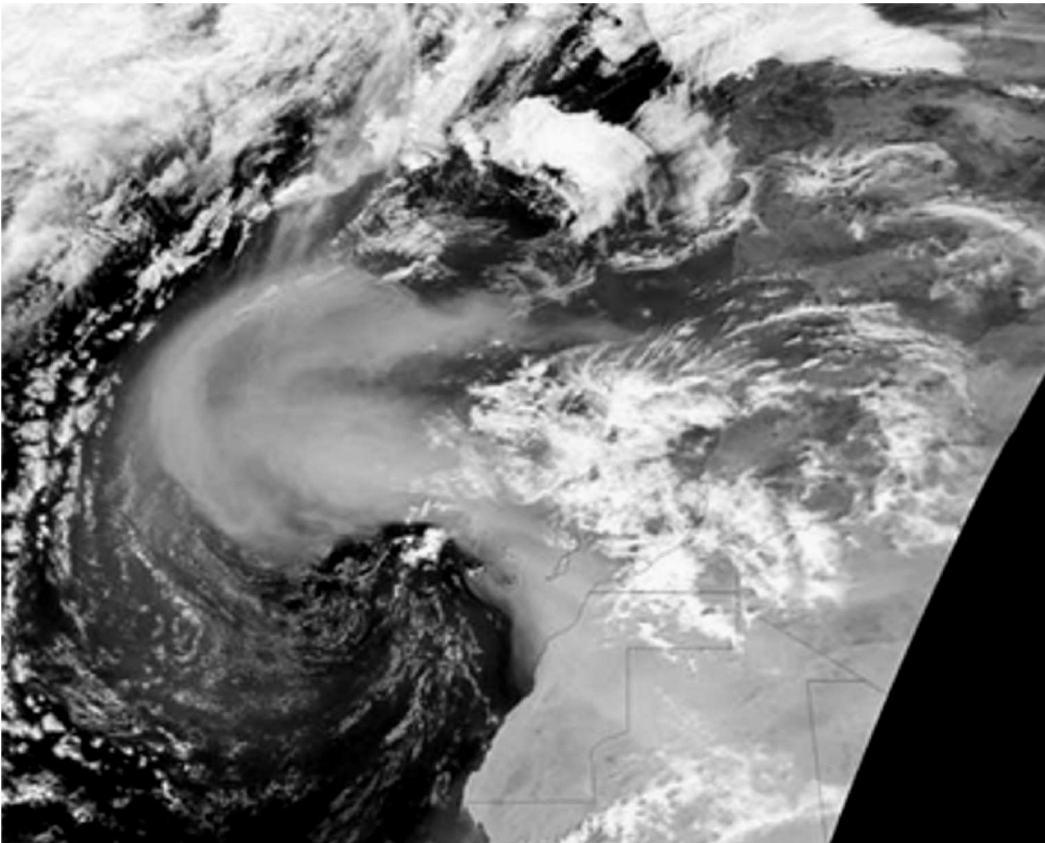
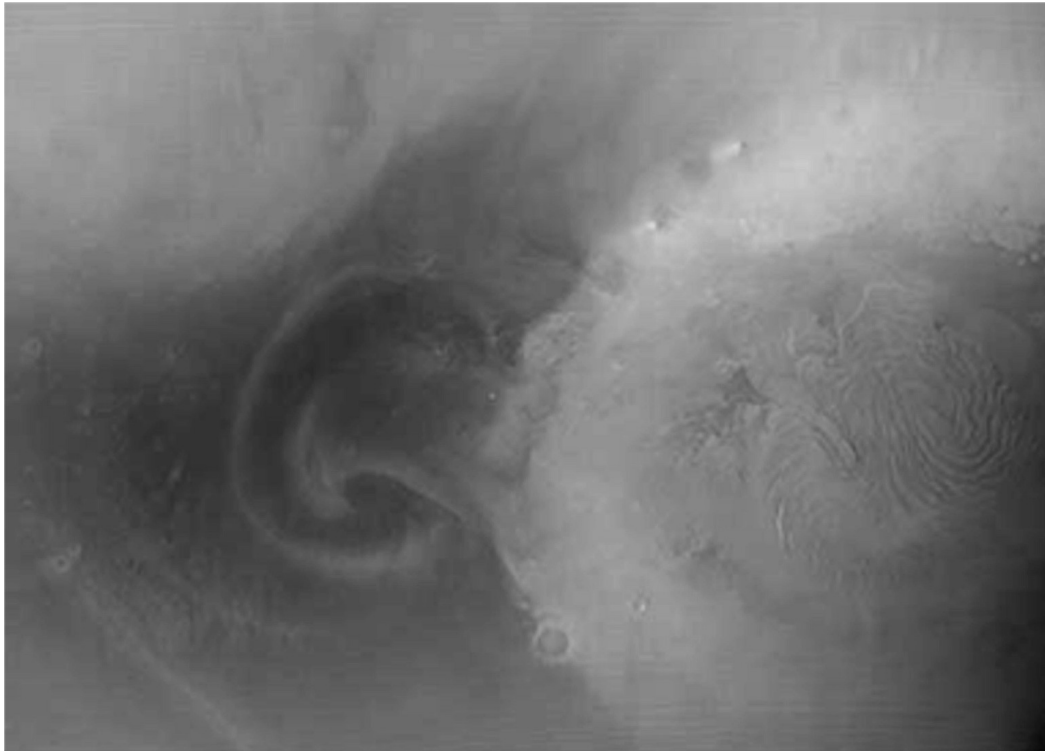
todavía hay algunos aspectos que no encajan del todo bien. Así, resulta un poco ilógico que Marte, uno de los planetas más pequeños del grupo de los densos, haya sido capaz de capturar estos asteroides. Es evidente que la captura de asteroides es más probable que ocurra por planetas de mayor tamaño y con mayor campo gravitatorio. Pero, en resumen, las diferencias son muy notables entre los satélites de ambos planetas.

### **La atmósfera y el relieve de estos planetas**

Uno de los aspectos más importantes que diferencian Marte de la Tierra, es la gran cantidad de agua que hay sobre la superficie terrestre, en comparación con la muy escasa cantidad de agua líquida que hay en Marte. En una pequeña pipeta cabe la única muestra de agua líquida que ha sido posible obtener hasta ahora de Marte. Esta cantidad de agua estaba en un meteorito procedente del planeta rojo. El agua que hay en Marte está congelada porque la temperatura del planeta, muy fría, impide la presencia de agua líquida. Se presenta bajo la forma de hielo, tanto en la superficie formando parte de los casquetes polares, como en el subsuelo en los poros de las rocas.

Las atmósferas de los dos planetas son muy distintas. Si se comparan las características de las atmósferas terrestre y marciana se comprueba que la presión atmosférica en la superficie de la Tierra es de 1 bar, con algunas variaciones en función de las condiciones meteorológicas. Desde aproximadamente unos 15 km de altura, la presión atmosférica es de sólo unos 100 milibares, y a 50 km de altura entramos en la estratosfera. Sin embargo en Marte, la presión atmosférica en superficie es del orden de 6-8 milibares, dependiendo de la meteorología marciana. Estas presiones atmosféricas se alcanzan en la Tierra a alturas del orden de 40 km. De manera que simplificando un poco, es posible generalizar que la atmósfera marciana es como la estratosfera terrestre. Tiene muy poco gas y por lo tanto, no sólo por la composición de gases, sino también por la poca cantidad de aire que hay en Marte, sería imposible respirar en ese planeta. En Marte existe una gran elevación que corresponde al monte Olimpo. Este enorme monte está prácticamente por encima de toda la atmósfera marciana, y permitiría la observación de las estrellas en pleno día. Veremos más características de Olimpo más adelante.

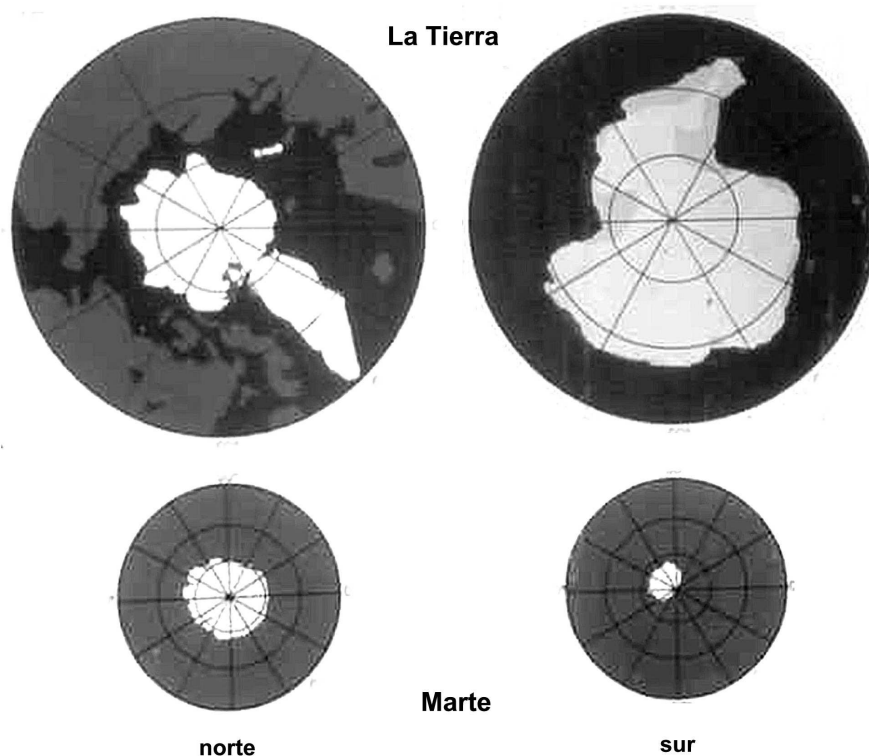
Entre las imágenes que se dispone con respecto a la atmósfera de Marte, hay algunas muy curiosas. En la figura 4 se observa una tormenta de polvo en Marte, que por su aspecto puede ser comparada con la obtenida en la Tierra de una tormenta de polvo en el Sahara que está barriendo las islas Canarias. Las tormentas de polvo en Marte son muy famosas, y se producen



**Fig. 4.** En la imagen superior se observa una tormenta de polvo en Marte, cuyo aspecto es similar a la obtenida en la Tierra de una tormenta de polvo en el Sahara que está barriendo las islas Canarias. Las tormentas de polvo en Marte son muy famosas, y se producen porque el planeta es muy seco.

porque el planeta es muy seco. Además como la atmósfera es muy ligera, cualquier diferencia térmica pone en movimiento la atmósfera, y el polvo que es muy fino, se levanta y genera tormentas que a veces crecen hasta envolver al conjunto del planeta. Si alguna vez llegan los astronautas a Marte, lo van a pasar muy mal por el polvo. Es muy fino, y va ser prácticamente imposible que los trajes y los instrumentos de los astronautas se libren de él. Teniendo en cuenta además que el ambiente es muy seco, hay que estar de acuerdo con Elton John, cuando decía que Marte “va a ser un sitio muy malo para criar a nuestros hijos”.

Con respecto al hielo, en Marte los casquetes de hielo existen en los polos igual que en nuestro planeta (Fig. 5). Existen dos pequeños casquetes, uno en el polo norte marciano, y otro todavía más pequeño en el polo sur. Hay por tanto una cantidad pequeña de hielo en la superficie del planeta. Durante muchos años hemos estado pensando que los casquetes tenían diferente composición. El del polo norte de hielo de agua y el del polo sur de hielo de dióxido de carbono, lo que llamamos nieve seca en la Tierra.



**Fig. 5.** Comparación de los polos de la Tierra y Marte. En Marte existen dos pequeños casquetes polares, el del polo norte es mayor y constituido por hielo de agua; en el del polo sur, más pequeño, el hielo está cubierto por una capa superficial de dióxido de carbono.





**Fig. 6.** En la parte superior, una de las primeras fotografías de la superficie de Marte, obtenida en el hemisferio norte. Se puede comparar con la inferior, de la precordillera andina. Algunos lugares inhóspitos de la Tierra recuerdan los paisajes marcianos.

Sin embargo, se ha visto que el dióxido de carbono sólo forma una fina capa superficial, y por debajo, lo que hay es hielo de agua. ¿Por qué hay hielo con dióxido de carbono en el polo sur y no en el norte? Pues, porque el polo sur marciano es con diferencia el lugar más frío del planeta, donde

las temperaturas medias son del orden de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y con valores extremos que pueden llegar a  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esto se debe a que la órbita de Marte es muy elíptica, con muchas diferencias entre el punto más próximo y más lejano del sol. El momento más lejano sucede cuando es invierno en el polo sur, con lo que se unen la mayor distancia con los rayos solares más oblicuos, condicionando un polo sur particularmente frío. Volveremos a comentar este polo un poco más adelante.

El paisaje más habitual y más documentado de Marte puede ser ilustrado por la figura 6. Se trata de un desierto pedregoso, un lugar muy poco atractivo, formado por extensas llanuras. Hay otras zonas con volcanes, pero los robots no han aterrizado en esas zonas, porque se han elegido las superficies más llanas, las menos peligrosas, para asegurar el éxito de las expediciones.

En la Tierra hay paisajes que recuerdan a lo observado en las llanuras marcianas. Algunos lugares inhóspitos de la Tierra no son tan diferentes a Marte. En Argentina, en una zona de la precordillera andina, un lugar alto y sin vegetación en el que probablemente las rocas proceden de una gran avenida de agua que las arrastró, se pueden obtener imágenes que recuerdan el paisaje marciano (Fig.6). Con mucha probabilidad las rocas marcianas tienen su origen en un mismo proceso geológico, una gran inundación de agua que movió rocas y las dejó esparcida por las llanuras.



**Fig. 7.** Distribución de los continentes y las cuencas oceánicas en la Tierra.

Así, aunque Marte es un planeta singular, algunos de sus paisajes pueden recordar a lugares presentes la Tierra. Algunas zonas de la Antártida, desprovistos de hielo y con las rocas a la vista, recuerdan también paisajes marcianos.

En la topografía general de los dos planetas también es posible encontrar puntos de contacto. En la Tierra existen dos superficies topográficas de referencia, puesto que son las más comunes. Son los continentes, que están dispuestos a unos 300 m de altura media sobre el nivel del mar, y las cuencas oceánicas que están como a unos 4000 m por debajo del nivel del mar (Fig. 7).

En Marte encontramos algo con cierto parecido. Hay un hemisferio más alto, el situado en la zona sur del planeta, y otro unos 5000 m más bajo, que está en el norte (Fig. 8). Quizá esta coincidencia es sólo superficial y no está relacionada con unos mismos procesos. Pero podemos realizar un análisis. Las dos cotas distintas que hay en la Tierra se deben a los dos principales tipos de rocas terrestres, los basaltos y los granitos, que tienen distintas densidades. Los granitos, más ligeros, están arriba y forman los continentes, mientras que los basaltos, más densos, forman los fondos oceánicos. En Marte, los granitos son rocas muy raras, y por tanto la pregunta que cabe realizar es a qué corresponde la corteza elevada y a qué la corteza hundida. Lo último publicado sobre este tema señala a un gran impacto asteroidal que rozó el norte del planeta y pulverizó su corteza en esa zona.



**Fig. 8.** Superficie de Marte en la que se distingue un hemisferio más alto (el situado en la zona sur del planeta), y otro unos 5000 metros más bajo, que está en el norte.

Sin embargo, cuando observamos esas transiciones entre los continentes elevados y las cuencas oceánicas en la Tierra, vemos algunas similitudes con lo que ocurre en Marte. En concreto, el borde continental de Francia, la Península Ibérica, el borde africano y Canarias, define

claramente la corteza continental de la corteza oceánica (Fig. 9). En Marte encontramos algo parecido (Fig. 10), en el escarpe que separa la parte elevada, llena de cráteres, de la parte hundida. A esa línea de separación llegan una serie de cauces secos que parecen terminar ahí. Sin embargo, la pendiente del terreno sigue bajando hacia la parte alta de la imagen, de manera, que lo lógico es esperar que los canales se siguieran excavando más allá de esa línea. Pero no es así. Ocurre de forma similar a como el Tajo termina en la costa portuguesa y no sigue por las llanuras abisales, puesto que la masa de agua oceánica ha frenado la corriente del río y cortado la erosión.

En una charla en un instituto de Madrid después de comentar la imagen de la figura 10, pregunté a los estudiantes lo que pensaban acerca de lo que podría haber ocurrido aquí, y me señalaron la posibilidad de la existencia de un mar que se secó. La anécdota es que los estudiantes tardaron quince segundos en hacer su propuesta, mientras que los científicos de la NASA tardaron unos quince años en llegar a la misma conclusión. Y es que no imaginaron que pudiera haber habido un océano en Marte. Pensaban, eso sí, que los canales marcianos habían sido excavados por el agua, pero como sucede en algunos desiertos, en los que los ríos se pierden sin llegar a ningún lugar de acumulación.



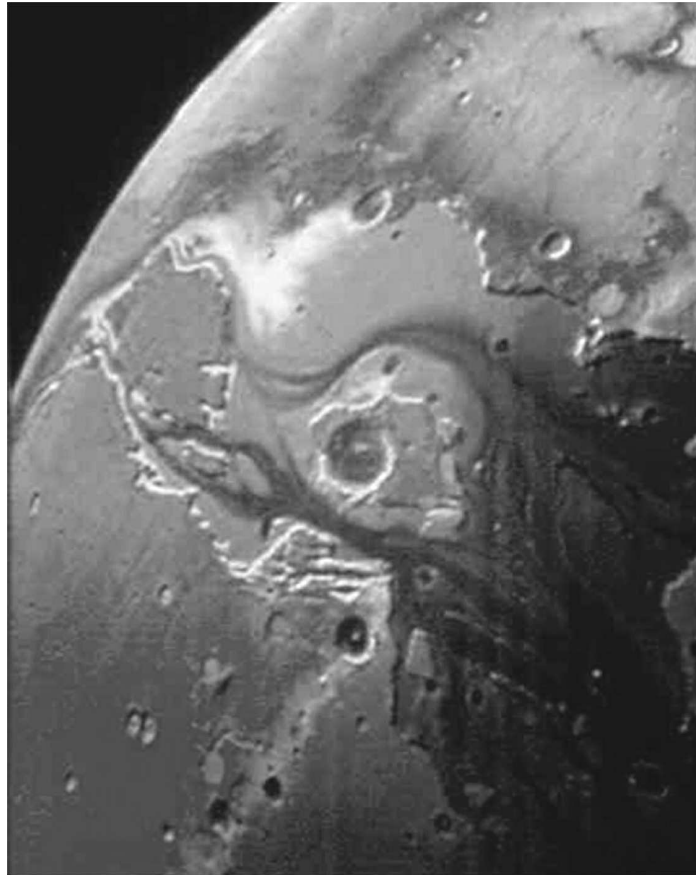
**Fig. 9.** Esquema del borde continental de Francia, Península Ibérica y borde africano, que define claramente lo que es corteza continental elevada, de lo que es la corteza oceánica hundida.



**Fig. 10.** Fotografía de la superficie marciana mostrando el escarpe que separa la parte elevada, llena de cráteres, de la parte hundida. A esa línea de separación llegan una serie de cauces secos que parecen terminar allí (flechas).

En estos momentos hay una mayoría de científicos que estudian Marte que piensan que toda esta parte norte del planeta estuvo cubierta por un mar, el Oceanus Borealis, también llamado océano del norte. No sería realmente un océano sino un mar, más o menos como el Mediterráneo, sin una enorme cantidad de agua, pero si una cantidad importante. La topografía de un talud continental en la Tierra y de un escarpe de Marte es prácticamente igual. Esto ha dado pie a pensar que tal vez se hayan generado de la misma forma. Si esta depresión se originó por un impacto, sería otra historia. En la costa atlántica oriental (Fig. 9) los cortes del escarpe se explican por la tectónica de placas. Los continentes se están moviendo, de manera que en el extremo oriental de la cuenca atlántica estaba Canadá hace 200 millones de años, luego se separaron, y ahora podemos observar la cicatriz que quedó. Si en Marte sucedió algo parecido o no, todavía no lo sabemos. Es una de esas incógnitas a las que no podemos responder en este momento.

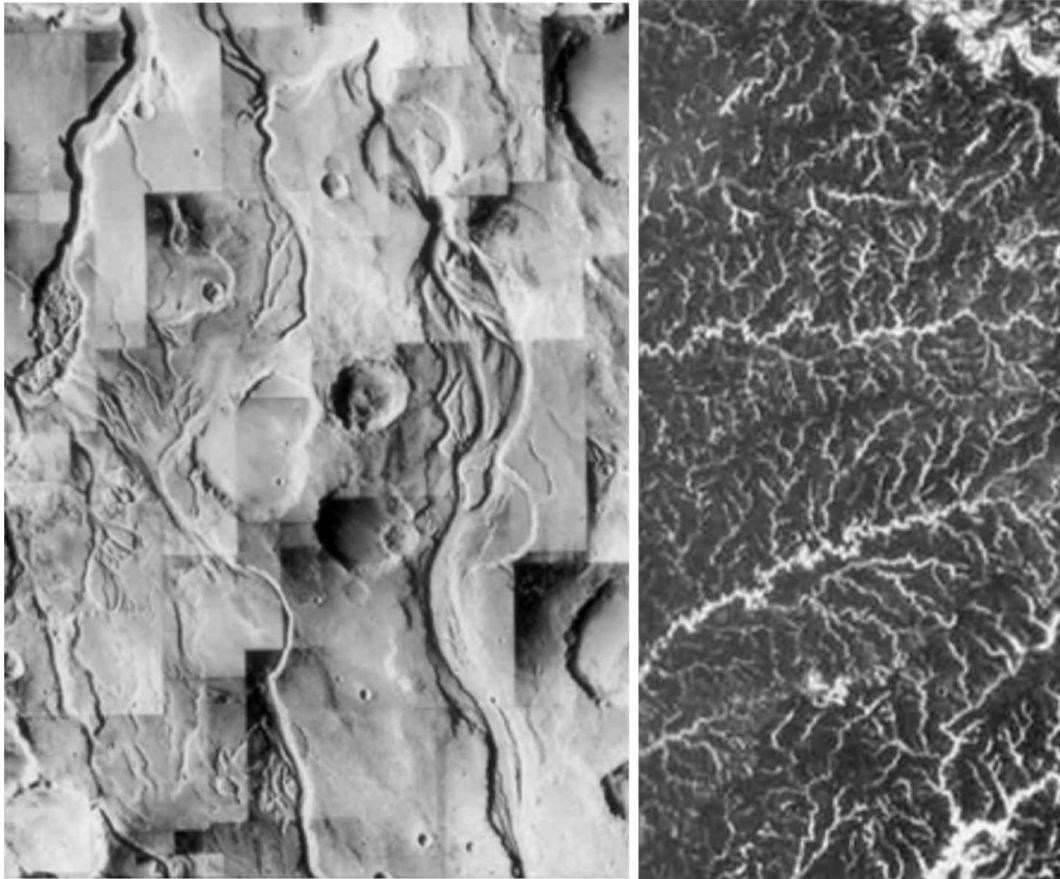
La hipótesis mayoritaria es que hubo un mar en el cual desembocaron enormes cauces de agua, de hasta 800 km de anchura. En Marte hubo unos enormes *amazonas* en un momento cercano a los 4000 millones de años (Fig. 11). La Tierra y Marte tienen aproximadamente una misma edad, unos 4500 millones de años, de manera que estos procesos tuvieron lugar en el principio del planeta. Relacionando los cráteres con los canales se puede estimar la edad de los canales.



**Fig. 11.** La imagen de la superficie marciana muestra evidencias del desplazamiento de inmensos caudales de agua.

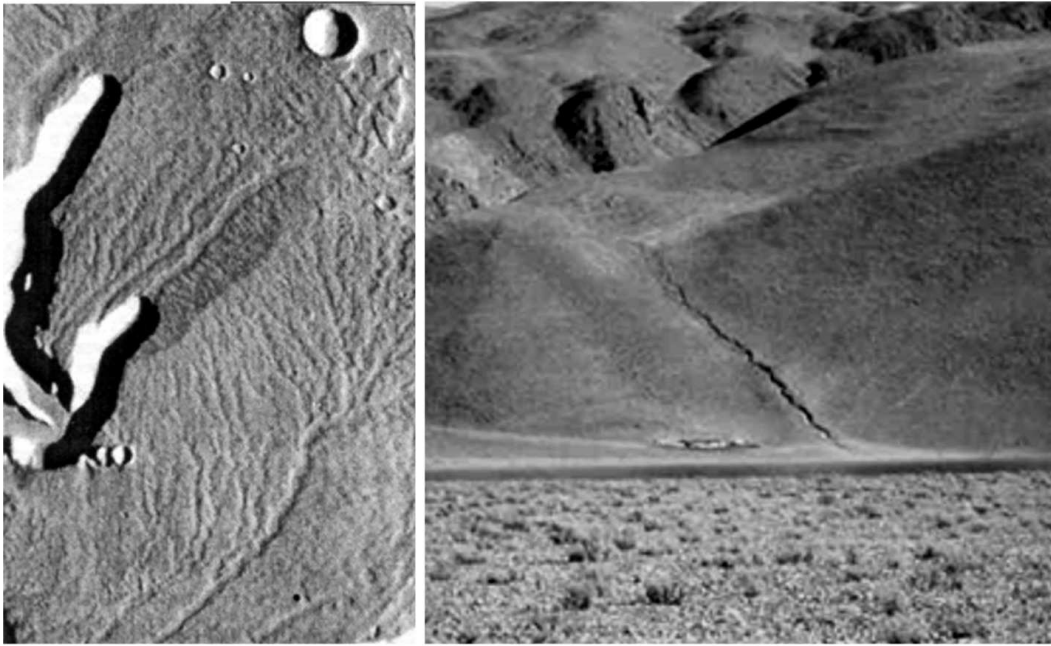
Con respecto a los canales marcianos cabe preguntarse cómo son y si se parecen a los terrestres. Algunos se parecen y otros en nada. En las imágenes de la figura 12 se comparan canales marcianos con canales terrestres. Los marcianos tienen un aspecto algo extraño porque en algunos momentos se vuelven difusos, se abren en muchos brazos que luego se reúnen otra vez, y da la sensación de que en la zona circuló más agua de la que los cauces podían evacuar, de forma parecida a lo que ocurre cuando se producen inundaciones. También es posible observar cómo un canal se pierde en muchos brazos en la llanura, para luego volverse éstos a reunir. Parecen cauces muy de ocasión, apenas tienen afluentes; como si no hubiera llovido nunca.

Sin embargo, como en la Tierra, no siempre pero con cierta frecuencia, encontramos en Marte lo que llamamos redes de drenaje maduras, con series sucesivas de afluentes de diferentes categorías, de manera que toda la superficie aparece cincelada por la erosión del agua. Aunque esto es lo general, a veces encontramos ejemplos que van justo al revés. Algunas



**Fig. 12.** Los canales marcianos (izquierda) se caracterizan porque a veces se vuelven difusos, se abren en muchos brazos y luego se vuelven a reunir. En la Tierra, por el contrario, encontramos redes de drenaje maduras (derecha), con series sucesivas de afluentes de diferentes categorías.

imágenes obtenidas en Marte sí dan la impresión de que haya llovido sobre el planeta (Fig. 13). Vemos que todo el terreno está completamente cincelado por afluentes, y la imagen se parece a la obtenida en la superficie de la Tierra (Fig. 12). De manera que en algunas partes de Marte si encontramos zonas que parece que han estado sometidas a una erosión intensa y prolongada a lo largo del tiempo. En la Tierra hay zonas en las que parece que no ha llovido en quinientos años. En una imagen de la puna (altiplanicie) argentina cerca de los Andes (Fig. 13), el parecido con Marte es importante si eliminamos algunos elementos: los matorrales (que naturalmente en Marte no los hay) y el ranchito del medio de la imagen. El resto es igual. Parece como si no hubiera caído nunca una gota de agua, salvo una gran tormenta que evacuó por el enorme canal del centro del paisaje.



**Fig. 13.** En algunas de las imágenes obtenidas en la superficie de Marte (izquierda), vemos que todo el terreno está totalmente cincelado por afluentes, con un aspecto muy parecido al de las redes de drenaje observadas en la superficie terrestre. La imagen de la derecha fue obtenida en la puna (altiplanicie) argentina en las proximidades de los Andes, mostrando un enorme canal en el centro del paisaje.

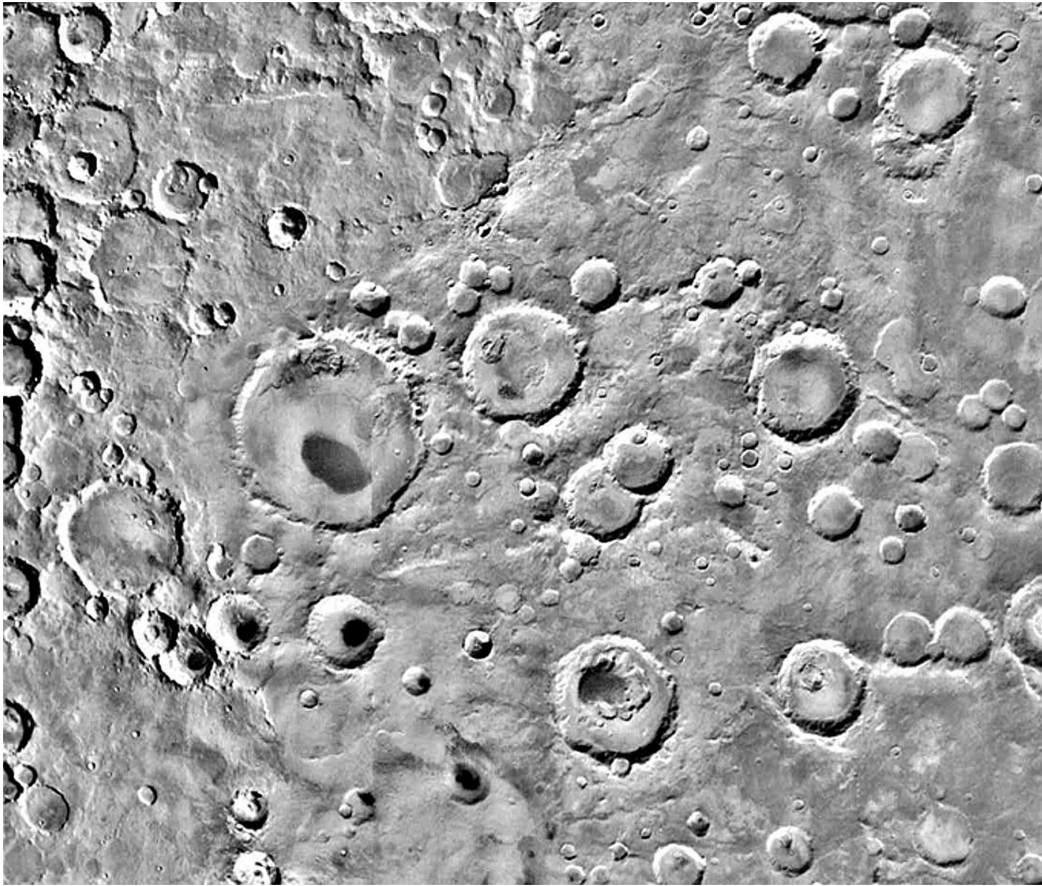
## **Cráteres de impacto y volcanes**

En Marte hay decenas de miles de cráteres de impacto (Fig. 14). En la primera cartografía que se realizó en 1976 se contaron del orden de cuarenta mil y actualmente hay catalogados más de cien mil. Una superficie con muchos cráteres de impacto nos indica que estamos en un planeta en el que pasan pocas cosas. Puede ser comparada con una mesa vieja llena de arañazos que lleva mucho tiempo funcionando y nunca se ha llevado al ebanista.

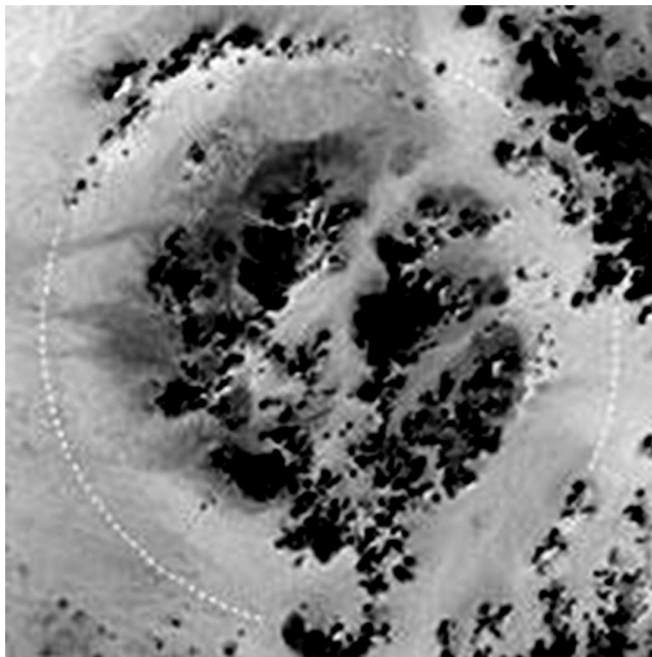
Por el contrario, una superficie con pocos cráteres de impacto, como es la superficie terrestre en la que se han catalogado unos ciento sesenta en todo el planeta, representa un planeta en el que ocurren muchas cosas. Por ejemplo, el cráter del desierto del Sahara (Fig. 15) ha tenido una invasión de arena que ha cubierto la mayor parte de la estructura. Queda un pequeño borde levantado, una ligera depresión en el centro, pero no es tan fácil de reconocer como los de la imagen de la superficie marciana.

Aunque Marte es mucho más pequeño que la Tierra posee varios volcanes que sobrepasan el tamaño de los más grandes volcanes terrestres.



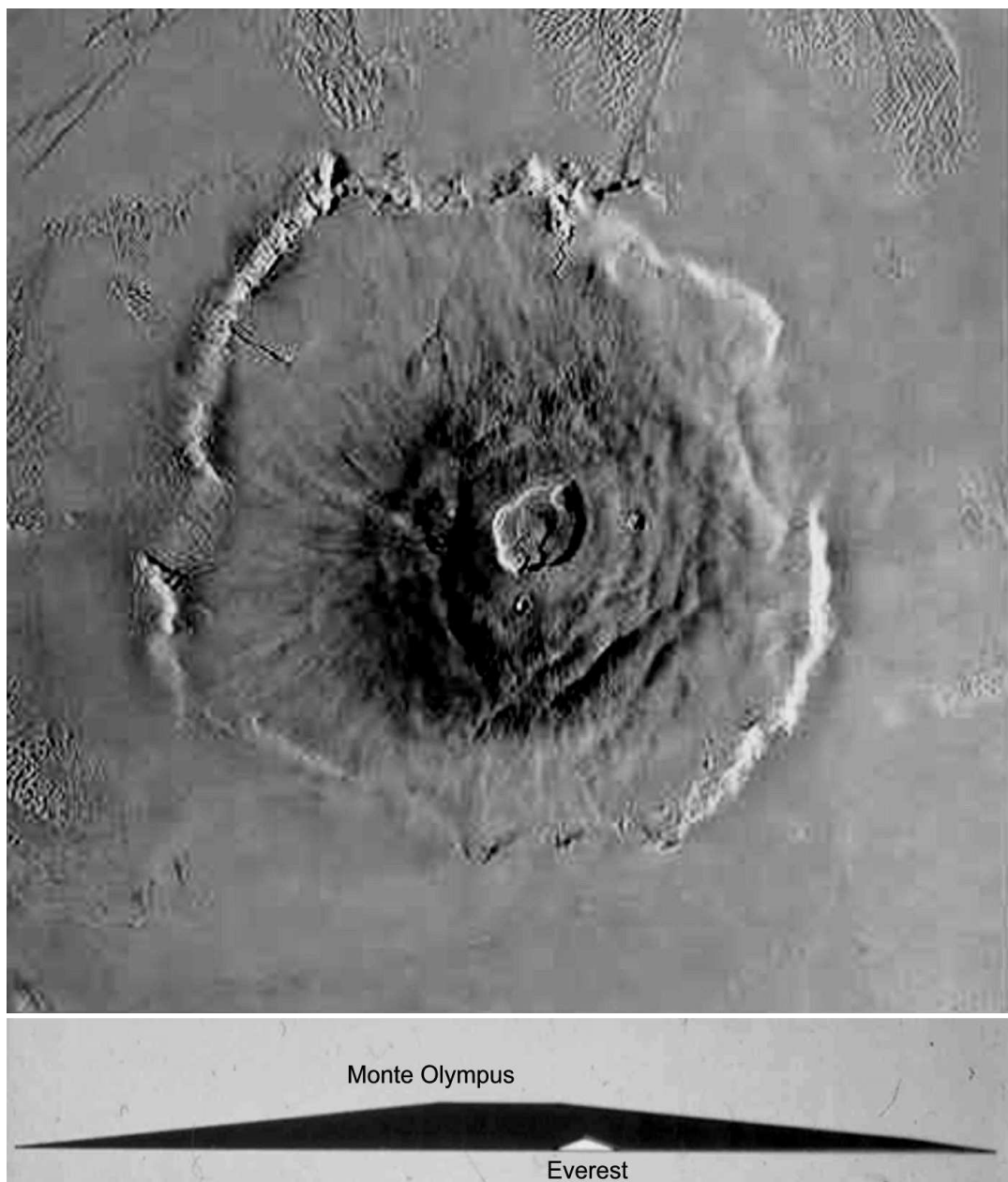


**Fig. 14.** Superficie de Marte en la que se observan decenas de cráteres de impacto.



**Fig. 15.** Cráter de impacto en el desierto del Sahara, parcialmente invadido por la arena.

Los volcanes más grandes están situados en grandes elevaciones o domos en las regiones marcianas de Tharsis y Elysium. El monte Olympus es el mayor de los volcanes de Tharsis. El Olympus mide 21 km de altura, por lo que está por encima de la atmósfera marciana, con numerosas calderas volcánicas como las terrestres (Fig. 16). En la parte alta también tiene cráteres de impacto. Está rodeado por un escarpe cuyo origen no se conoce bien. Probablemente ha habido colapsos en el edificio, quizá del tipo de los



**Fig. 16.** El monte Olympus se eleva hasta unos 21 km de altura, y con sus 500 km de diámetro sobrepasa ampliamente a la mayor de las montañas terrestres.

ocurridos en las islas Canarias. Se trata de un monte inmenso, de unos 500 km de diámetro, junto al que el Everest resulta insignificante. Aunque el Everest, más pequeño, tiene mayor desnivel.

### **¿Vida en Marte?**

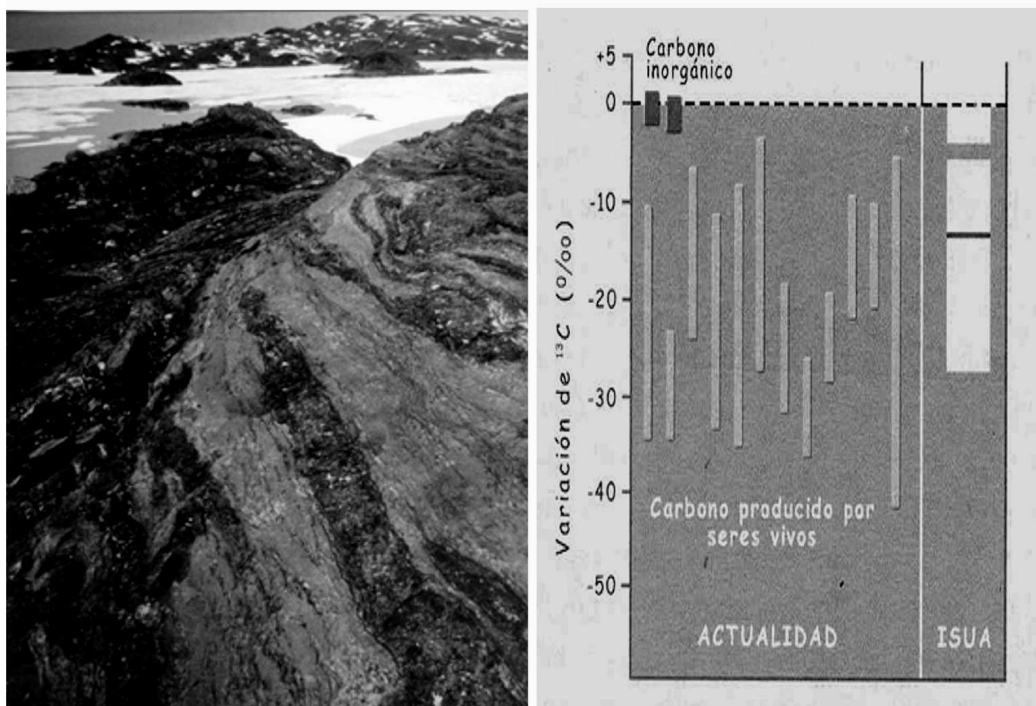
A la pregunta inicial, de ¿por qué Marte?, se puede añadir la pregunta quizá más apasionante ¿Hubo vida en el planeta rojo? En estos momentos seguimos sin saber la respuesta. En la imagen de la figura 17 aparece la famosa bacteria, que probablemente no sea una bacteria. Pero su hallazgo catalizó el desarrollo de una nueva ciencia, la Astrobiología, que tiene como objetivo la búsqueda de vida fuera de la Tierra. La supuesta bacteria se descubrió en 1996 en un meteorito encontrado en la Antártida y que, sin discusión, procedía de Marte. Esta estructura fue planteada como un posible fósil bacteriano. Sin embargo, se demostró que el meteorito está contaminado con materia orgánica terrestre, de manera que la información obtenida a partir de él resulta, al menos, sospechosa. Esta roca tiene una edad aproximada de 4000 millones de años, un momento en que Marte tenía agua líquida en la superficie, y una época realmente crucial en la historia del pla-



**Fig. 17.** Esta famosa microfotografía de un meteorito marciano encontrado en la Antártida fue interpretada como un posible fósil bacteriano.

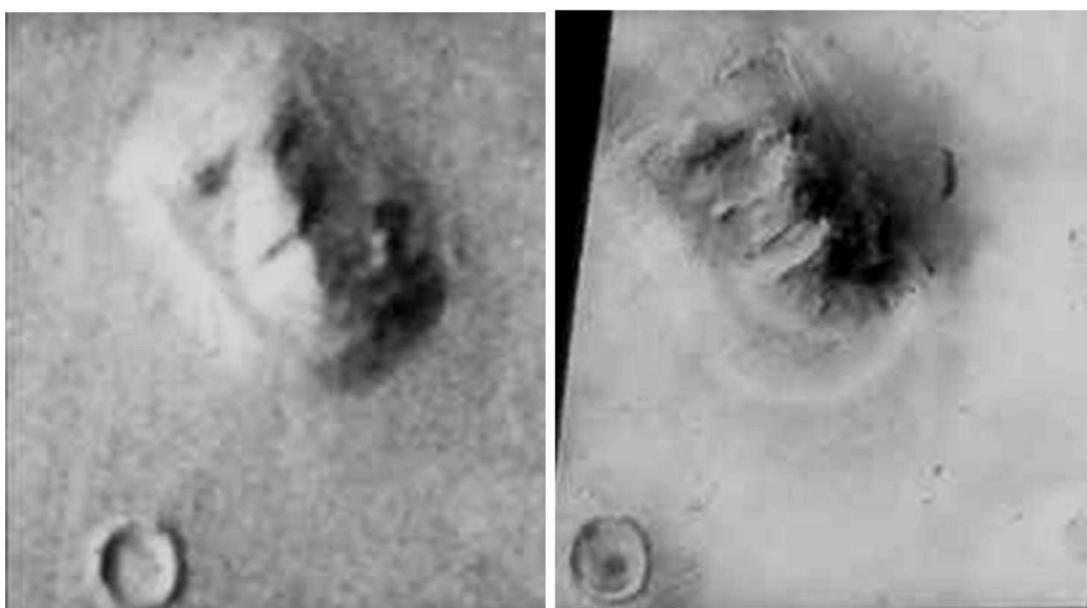
meta durante el cual existió un importante volcanismo activo, y por lo tanto, unos flujos importantes de energía en la corteza. Es decir, en aquellos momentos se contaba con los ingredientes decisivos para la aparición de la vida. Había energía y agua líquida. Y, ¿por qué no? La pregunta sigue ahí, y más allá de las dudas sobre el fósil de este meteorito, se ha continuado investigando la posibilidad de que hubiera habido vida en Marte.

Por esos tiempos en la Tierra, las evidencias obtenidas de rocas sedimentarias, como las procedentes de Groenlandia (Fig. 18), muestran indicios químicos de vida sobre el planeta. La distribución de los isótopos de carbono producidos por seres vivos en la actualidad (el carbono no producido por seres vivos tiene otra representación) se comparan con los valores obtenidos de las rocas de 3800 millones de años de la localidad de Isua, en Groenlandia (Fig. 18). Estos datos constituyen una prueba bastante clara de que la vida se originó en la Tierra cuando las condiciones eran similares a las de Marte. Por eso el gran interés por investigar si en Marte pudo ocurrir lo mismo.



**Fig. 18.** Las evidencias obtenidas de rocas sedimentarias de Isua, Groenlandia (izquierda), muestran indicios químicos de vida sobre el planeta hace 3800 millones de años. La distribución de los isótopos de carbono producidos por seres vivos actuales, comparada con los valores obtenidos de las rocas de Isua (derecha) constituye una evidencia de que la vida se originó en la Tierra cuando las condiciones eran similares a las de Marte.

Al hablar de la posibilidad de vida en Marte también hay que dejar un hueco para hacer una referencia a la pseudociencia. Algunas imágenes de las obtenidas en la superficie del planeta rojo han sido utilizadas para entrever el aspecto de una efigie que hubiera sido esculpida en la roca por una civilización avanzada. Así, una imagen tomada por Viking 1 en 1976 parece incluir el aspecto de una cara (Fig. 19). Sin embargo, cuando vemos el contexto, comprobamos que hay docenas de relieves que tienen formas diversas y a las cuales no se les debe dar mayor importancia. Lo primero que hizo en la primera órbita que pudo la sonda Mars Global Surveyor en 2001 fue fotografiar otra vez la misma zona y el resultado (Fig. 19) permite comprobar que no tiene ningún aspecto de cara.

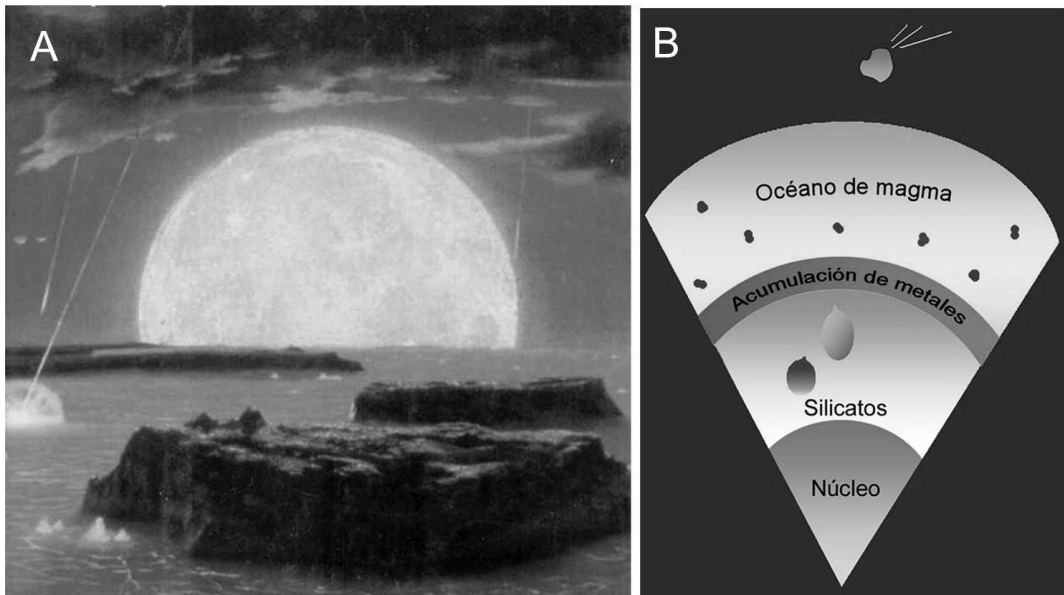


**Fig. 19.** Una imagen tomada por Viking 1 en 1976 (izquierda) fue interpretada como una cara esculpida en la roca. La imagen obtenida en el mismo lugar por la sonda Mars Global Surveyor en 2001 (derecha), permitió descartar esa posibilidad.

Las especulaciones sobre vida inteligente en Marte o en otros planetas abre la puerta a algunas reflexiones. Así, cuando uno comprueba que a pesar del alto grado de civilización alcanzado en la Tierra no ha sido posible poner freno a la barbarie, uno puede pensar en la llegada de un día en el que las condiciones de vida en este planeta sean totalmente adversas como consecuencia de la propia civilización. También podemos plantearnos si eso ha ocurrido en otros planetas y si ha existido alguna civilización que haya sabido superar la cultura de matar. Son preguntas de siglos que continúan sin respuesta.

## La historia de dos planetas

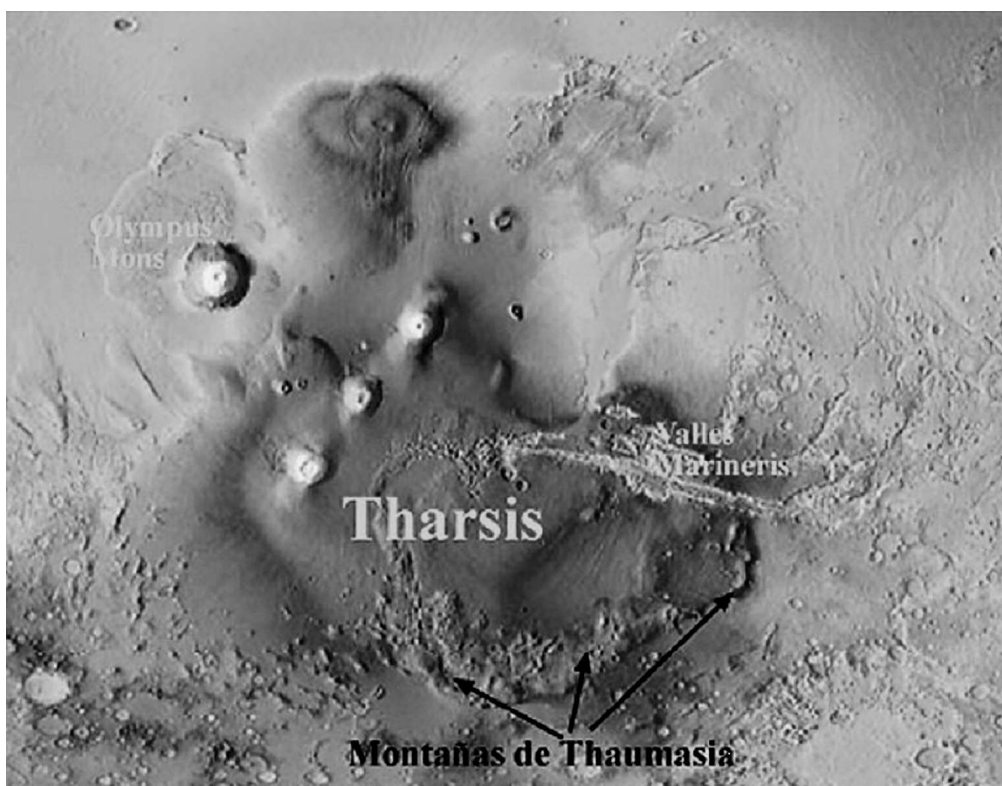
En la actualidad estamos en condiciones de explicar y reconstruir a grandes rasgos la historia de estos dos planetas: la manera en que se originaron, la evolución que han seguido y el modo en que terminarán. El comienzo consistió en un gran océano de magma (Fig. 20). Al principio, los gases estuvieron suspendidos sobre la superficie. Después, hace unos 4500 millones de años, se originó la luna. Por esos tiempos, el océano de magma tendría unos mil kilómetros de profundidad, y en él se iría separando el hierro para ir formando el núcleo de la Tierra (Fig. 20). Lo mismo sucedió en los demás planetas y en los asteroides. De manera que los dos planetas, la Tierra y Marte, comenzaron su historia de manera similar.



**Fig. 20.** Recreación del hipotético aspecto inicial de un planeta con la superficie ocupada por un inmenso océano de magma (A). En el profundo océano de magma el hierro se iría separando para formar el núcleo (B).

Más tarde, hace 4000 millones de años, comenzaron a suceder cosas interesantes en Marte. Hace unos cuatro años, durante una clase práctica examinando imágenes de Marte, un estudiante me preguntó sobre una pequeña línea blanca que apenas se distinguía y que parecía trazar un zigzag. Estaba situada más o menos en el ecuador del planeta, en el límite sur de Tharsis, la enorme meseta circular de hasta 10 kilómetros de altura. Al estudiante le contesté que no lo sabía, pero me picó la curiosidad y cuando terminó la práctica intenté ver más de cerca la imagen. Repasé en el límite sur de Tharsis, la región denominada Thaumasia, con elevaciones

que se yerguen unos cinco kilómetros (Fig. 21). Allí descubrí que había muchas más cosas que las que el estudiante había observado.



**Fig. 21.** Meseta de Tharsis en cuyo límite sur se encuentra la región de Thaumasia, bordeada por unas elevaciones de unos cinco km.

Se trataba de una serie de curvaturas, como líneas que se dan la vuelta, que se parecían mucho a las formas que en la Tierra generan los pliegues erosionados, y que están presentes, por ejemplo, en Galicia. Se trata de la deformación de las capas geológicas con forma ondulada, y surgen como consecuencia de la presión en rocas plásticas que en lugar de fracturarse se curvan. Estas observaciones resultaban muy interesantes para realizar comparaciones, puesto que en Galicia se formaron cuando el actual continente norteamericano chocó contra la Península Ibérica y deformó las rocas.

Empezamos a preguntarnos que podría haber pasado en Marte para que las rocas se deformasen de igual manera que las rocas de la Tierra. Al final del estudio que realizamos junto a Carlos Fernández, de la Universidad de Huelva, llegamos a la conclusión de que estas rocas habían sido presionadas, se habían movido y se habían montado unas sobre otras.

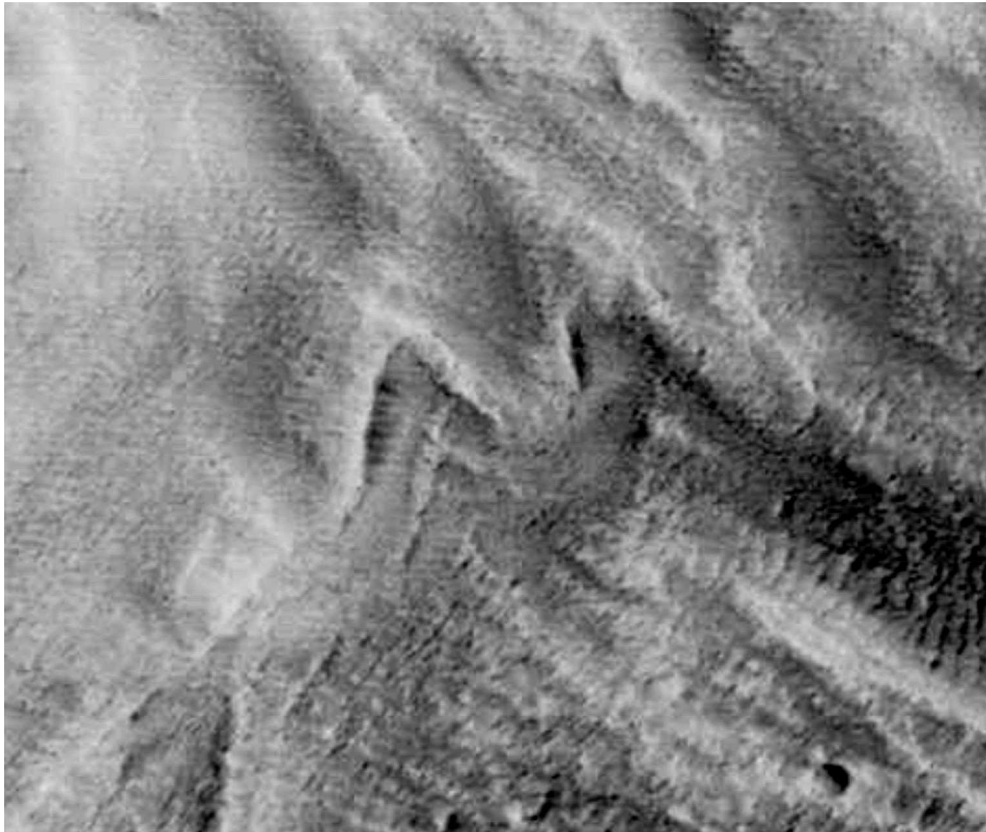
En el artículo científico que preparamos, y también en una reseña que publicamos en *El País* en enero de 2007, exponíamos que hasta ahora

Thaumasia nunca se había interpretado como una cadena de montañas. Los cálculos estructurales indicaban que en algunas zonas se habían erosionado hasta 8000 metros de roca. De manera que, o bien las montañas fueron desmanteladas durante un largo periodo de tiempo, a medida que se levantaban, o bien esta cadena superó los 12000 metros, un probable récord en el Sistema Solar, para ser luego arrasadas en un periodo corto de inusitada actividad erosiva.

Los revisores del artículo nos preguntaron si estábamos proponiendo tectónica de placas en Marte. Les contestamos que no exactamente. Que lo que afirmábamos era que en Marte había montañas que tenían los mismos rasgos que las que en la Tierra se forman por tectónica de placas. Evidentemente, no sabíamos si había habido o no tectónica de placas, pero sí un mecanismo que producía los mismos efectos. A la pregunta, ¿Hubo continentes móviles en Marte hace unos 4000 millones de años?, todavía no tenemos una respuesta afirmativa, pero tampoco podemos decir que no, puesto que hemos encontrado indicios de que sí pudo haberlos. Ahora sólo es posible afirmar que en aquella época en el planeta vecino actuó un fenómeno capaz de producir cadenas de montañas tan grandes como las mayores terrestres. Fuese tectónica de placas u otro proceso desconocido, su potencia fue suficiente para desgarrar la corteza y elevarla hasta la estratosfera.

Todo esto resulta particularmente interesante por una cuestión. 4000 millones de años es la cifra que más veces he repetido. Es una cifra mágica en la historia del Sistema Solar, porque es el momento en el que surgió la vida en nuestro planeta. El momento, además, en que Marte tenía las mismas condiciones que la Tierra. Por ello cabe preguntar si la tectónica de placas puede contribuir al desarrollo de la vida. Y la respuesta es que quizá sí. Se ha comprobado que la compleja diversidad constituida por millones de especies que han existido y existen en la Tierra ha sido condicionada por la tectónica de placas. El movimiento de los continentes ha provocado el aislamiento de las especies. Así, cuando la India se desplazaba desde el polo sur hasta por encima del ecuador, iba teniendo lugar un progresivo cambio de clima que dio nuevos hábitats a la flora y la fauna que vivía encima. Cuando dos continentes chocan, sus faunas se reúnen, y aparecen también nuevas probabilidades de evolucionar. De manera que un planeta con tectónica de placas es un planeta cuya biosfera tiene más oportunidades evolutivas. Por lo tanto, todo esto ayuda a definir un momento particularmente interesante en la historia del planeta. En la imagen de la superficie marciana (Fig. 22) se observan unos pliegues cuyo origen es una incógnita. Si en Marte no hay tectónica de placas, en estos momentos carecemos de argumentos científicos para explicar la deformación de estas rocas.





**Fig. 22.** Estos pliegues, observados en la superficie marciana, recuerdan a los plegamientos que en la Tierra están relacionados con la tectónica de placas.

## **El clima de Marte**

Sobre el clima de Marte es posible afirmar que el planeta ha experimentado un cambio climático global, un dato que nos sirve de coartada para seguir explorando el planeta. Si en la Tierra existe gran preocupación por el cambio climático global, sería muy útil disponer de la referencia de otro planeta para saber cómo ha tenido lugar el proceso. Marte ha tenido repetidos momentos en su historia con un clima que podríamos denominar aceptable, y otros momentos, como el actual, con un clima durísimo y helado.

Los cambios que han tenido lugar en el clima, quizá sucedieron de la siguiente manera. Si utilizamos la situación actual como referencia, con hielo en los casquetes polares y hielo disperso en la corteza (poros de las rocas, por ejemplo), la entrada más o menos masiva en erupción de los volcanes marcianos, es responsable de desencadenar el siguiente proceso. La emisión por los volcanes de grandes cantidades de gases a la atmósfera, gran parte de los cuales son de invernadero (todos aquellos con tres o más

átomos), junto con el calor generado por la actividad volcánica, provoca una progresiva fusión del hielo de los polos y de la corteza. En esta situación, el agua comienza a salir a la superficie y a incrementar el efecto invernadero. A través de este proceso alcanzaríamos un clima relativamente cálido, en que existiría un ciclo del agua con un océano transitorio que se llenaría en zonas definidas. La duración de este periodo no lo conocemos, pero dependería de la intensidad de la emisión de los gases.

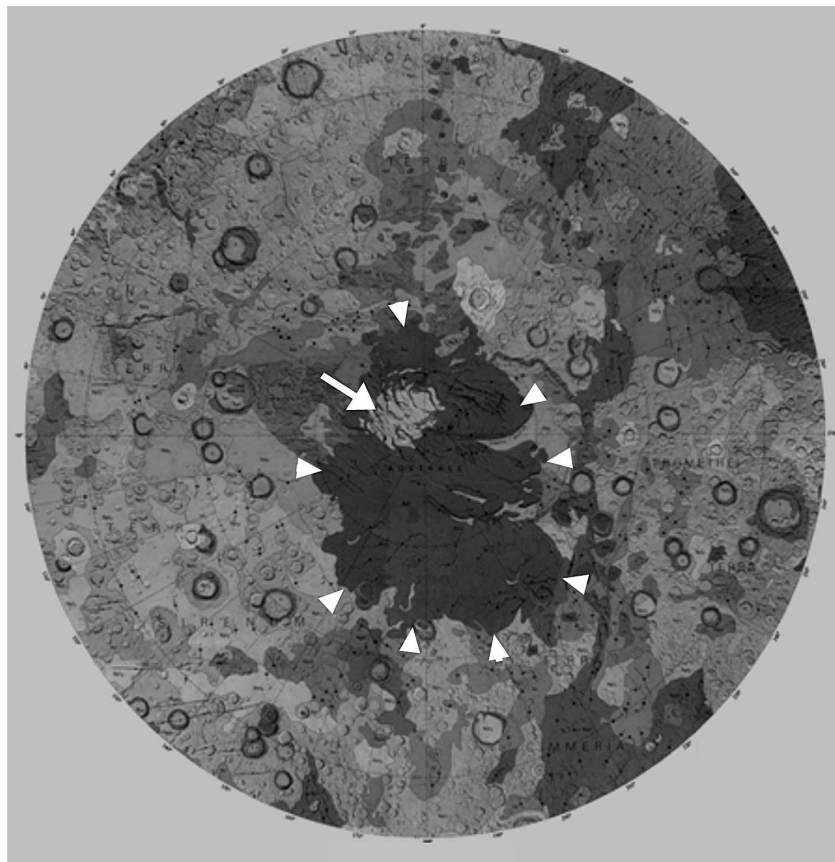
Este periodo cálido también tendría su final. Marte es un planeta con muy pequeña masa y por tanto está condenado a no tener una atmósfera densa permanente. Iría progresivamente perdiendo la atmósfera al espacio y volvería a un clima duro, que es el estable con las características del planeta. No sabemos las veces que este ciclo de climas ha tenido lugar en Marte, pero la presencia de una sobreexcavación en el fondo de algunos canales sugiere que al menos ha habido dos ciclos climáticos húmedos, y es probable que vuelva a suceder en el futuro. Muchas de las zonas volcánicas y de los edificios volcánicos han entrado en erupción en los últimos millones de años, y pueden volver a hacerlo.

El agua que se acumuló y discurrió por las zonas de los canales más importantes alcanzó valores muy elevados, hasta un centenar de veces superior a los caudales de los ríos terrestres más caudalosos como el Amazonas o el Mississippi. Esa inmensa cantidad de agua en parte ha ido a parar al espacio, pero buena parte de ella está ahora en los casquetes polares y en la corteza congelada en los poros de las rocas.

Otro aspecto que conocemos mal es la historia de las glaciaciones en Marte, pero tampoco la conocemos muy bien en nuestro planeta. De hecho, hay tantas hipótesis acerca de la causa de las edades de hielo, que lo mejor que podemos decir es que no lo sabemos. Conocemos la secuencia de las glaciaciones que han tenido lugar en la Tierra. La más importante se produjo cuando todos los continentes estaban situados cerca del ecuador, por lo que las lluvias eran abundantes sobre los continentes y había más alteración de las rocas, la cual consume dióxido de carbono que se va tomando de la atmósfera, con lo cual su concentración baja, la temperatura también, y las precipitaciones comienzan a ser en forma de nieve. De modo que la nieve cubrió los continentes, y los extremistas incluso piensan que cubrió los océanos por completo, o casi por completo.

La salida de estos periodos fríos está ligada a la actividad de los volcanes que emitiendo dióxido de carbono volvieron a calentar el planeta. Si todos los continentes volvieran a situarse cerca del ecuador es probable que ocurriera lo mismo, pero no estamos seguros. Las siguientes glaciaciones se produjeron por mecanismos fundamentalmente distintos, de manera que es difícil entender las glaciaciones en Marte cuando tenemos tantos interrogantes sobre las de la Tierra.

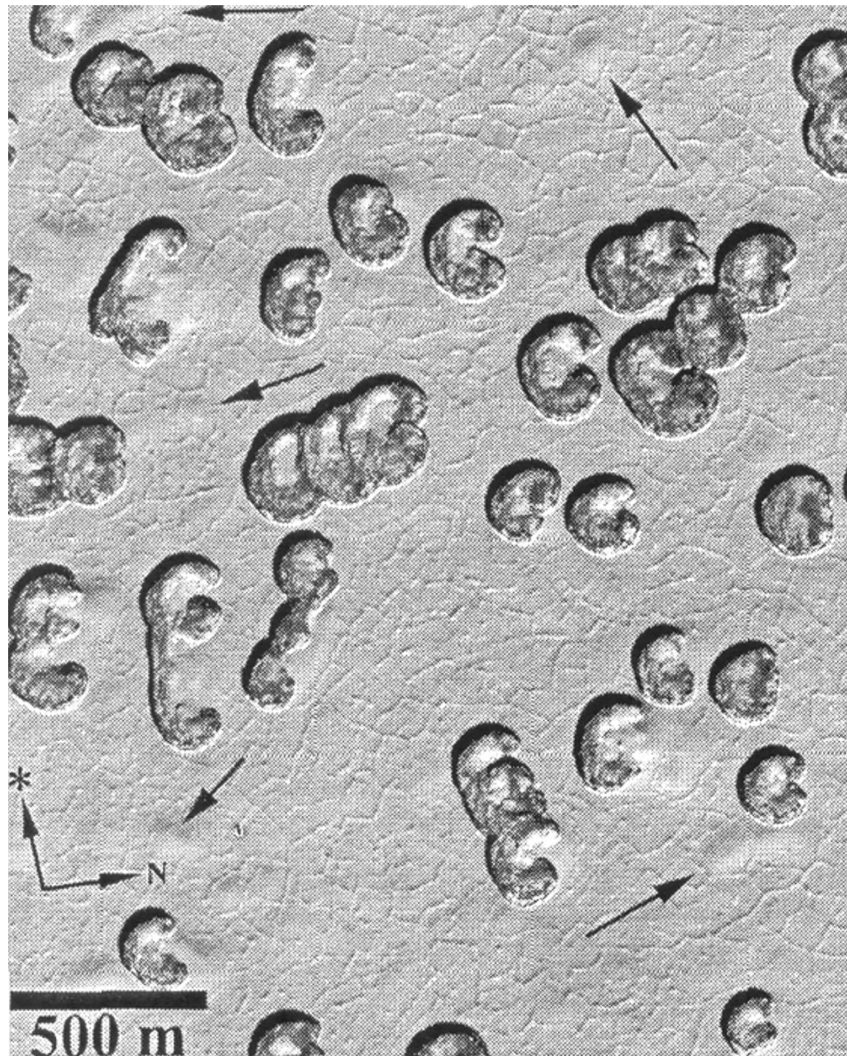
Sin embargo, en Marte está ocurriendo algo muy interesante en estos momentos. Quizá sea por casualidad, quizá no. Al igual que en la Tierra, Marte va hacia un clima cada vez más cálido. En el polo sur hay indicios geológicos muy claros de que este casquete fue mucho más grande en el pasado. Una amplia superficie, mucho mayor que la actualmente ocupada por el casquete polar está ocupada por morrenas, una prueba de que el hielo cubrió al menos esa amplia superficie (Fig. 23). En estos momentos el casquete está claramente en retroceso, de forma similar a como está ocurriendo en la Tierra.



**Fig. 23.** Mapa geológico del hemisferio sur marciano en el que se puede observar el actual casquete de hielo (flecha), y la amplia superficie que ocupó en el pasado confirmado por la presencia de morrenas (triángulos).

En la superficie del casquete del polo sur se han observado unas estructuras en forma de habas de un centenar de metros de diámetro, los denominados pozos de sublimación (Fig. 24). Observaciones sucesivas han permitido comprobar que están creciendo muy deprisa: el hielo está pasando a la atmósfera directamente. Si el ritmo de crecimiento se mantiene como en la actualidad dentro de algunos años no habrá hielo en el polo sur

de Marte. Y eso nos lleva otra vez a reflexionar sobre la situación en la Tierra, donde la pérdida de hielo se está produciendo a un ritmo dramático. Según los expertos, a las nieves del Kilimanjaro le quedan unos veinte años. Pero lo que está ocurriendo en Marte, evidentemente no puede ser culpa nuestra.

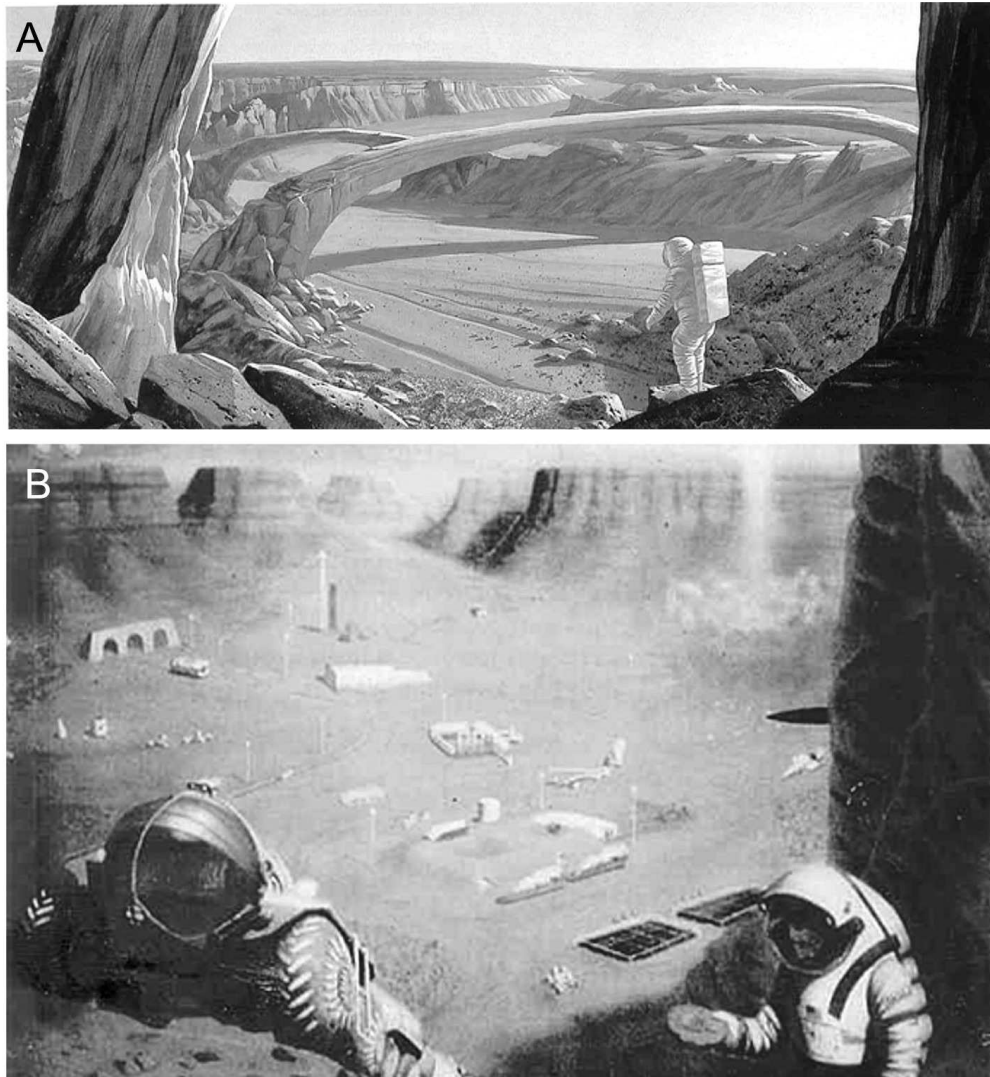


**Fig. 24.** Los pozos de sublimación observados en el casquete de hielo del polo sur marciano están creciendo muy deprisa. La pérdida de hielo puede hacerlo desaparecer en pocos años.

### **Reflexión final**

Para finalizar realizaré una reflexión que va más allá de la ciencia y que nos atañe desde el punto de vista social. ¿Debemos ir a Marte?, entendiendo como tal, el enviar astronautas y establecer colonias. Marte está siendo explorado mediante sondas robóticas, la última, que está cerca

de su polo norte se está quedando enterrada, y no pasa nada. Se convertirá en chatarra. Evidentemente no podemos actuar de igual forma con astronautas. Algunos dibujos de la NASA han tratado de ilustrar como sería una expedición a Marte (Fig. 25). En algunas se refleja una visión idealizada de lo que sería la exploración de marciana. El artista ha sabido expresar muy bien lo que es la expectación ante la curiosidad que tenemos por conocer lo que hay un poco más allá.



**Fig. 25.** Ilustraciones idealizadas de lo que sería la exploración de Marte: la expectación ante lo desconocido (A), o el hallazgo de evidencias de vida en el planeta.

También se representa una base marciana en plena actividad. Los dibujantes de la NASA ilustran siempre a un astronauta encontrando un fósil, lo que es una pista clara de lo que se persigue con la exploración de este planeta. Evidentemente, esto no va a tener lugar, porque el fósil de la

imagen representa a un organismo muy evolucionado, y no encaja con lo que sabemos de la historia de Marte. Un animal complejo, como es un artrópodo, requiere miles de millones de años de evolución con un clima sostenido y agua abundante, situaciones que no han ocurrido en Marte, tal como hemos visto previamente. Pero tal vez, el hallazgo no sería de un trilobites sino de una bacteria marciana.

En todo caso, se trata de una base estable, que implicaría invertir el poco dinero disponible para la investigación del planeta en preparar una visita a Marte, puesto que una misión tripulada cuesta lo que cien misiones robóticas. Por otra parte, una misión tripulada tendría que permanecer dos años como mínimo en el planeta, ya que este es el tiempo para disponer de una órbita de vuelta. Dos años no se pueden vivir en un módulo de aterrizaje, sino que requieren la construcción de una base. Además, no tendría sentido plantearla para un solo viaje sino que estaría diseñada para recibir misiones de forma continua. Esto significaría invertir una buena parte del PIB de la Tierra en colonizar Marte. Los ecologistas espaciales defienden que tenemos cosas mejores que hacer aquí en la Tierra, antes de iniciar la aventura de explorar otro planeta. Por lo menos, hasta que no hayamos puesto un poco de orden en éste.

### **Agradecimientos**

Las imágenes de Marte proceden de JPL/NASA, US Geological Survey y Malin Space Science Systems.

### **Bibliografía del autor sobre Marte**

- ANGUITA, F. (1998). *Historia de Marte*. Planeta, Barcelona.
- ANGUITA, F. (2003). Ciencias planetarias para el ciudadano del siglo XXI. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 11: 158-162.
- ANGUITA, F. (2006). Glaciares Marcianos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 13: 322-328.
- ANGUITA, F. & G. CASTILLA (2003) *Crónicas del Sistema Solar*. Editorial Equipo Sirius.
- ANGUITA, F. & M. DOMINGO (2003). Del cálido Venus a los helados cometas, pasando por las guerras marcianas: algunas claves del Sistema Solar. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 11: 170-180.
- ANGUITA, F., A.F. FARELO, V. LÓPEZ, C. MAS, M.J. MÚÑOZ-ESPADAS, A. MÁRQUEZ & J. RUIZ (2001). Tharsis dome, Mars: New evidence for Noachian-Hesperian thick-skin and Amazonian thin-skin tectonics. *Journal of Geophysical Research-Planets* 106: 7577-7589.

- ANGUITA, F. & C. FERNÁNDEZ (2007). El Himalaya de Marte. *El País*, 03.01.2007.
- ANGUITA, F., C. FERNÁNDEZ, G. CORDERO, S. CARRASQUILLA, J. ANGUITA, A. NÚÑEZ, S. RODRÍGUEZ & J. GARCÍA (2006). Evidences for a Noachian-Hesperian orogeny in Mars. *Icarus* 185: 331-357.
- FAIRÉN, A.G., J. RUIZ & F. ANGUITA (2002). An origin for the linear magnetic anomalies on Mars through accretion of terranes: Implications for dynamo timing. *Icarus* 160: 220-223.
- FERNÁNDEZ, C. & F. ANGUITA (2007). Oblique rifting at Tempe Fossae, Mars. *Journal of Geophysical Research-Planets* 112: 9007.
- MÁRQUEZ, A., C. FERNÁNDEZ, F. ANGUITA, A. FARELO, J. ANGUITA & M.A. DE LA CASA (2004). New evidence for a volcanically, tectonically, and climatically active Mars. *Icarus* 172: 573-581.