

¿Por qué Marte es tan importante?

¿Quién no ha mirado alguna vez al cielo estrellado y se ha sentido insignificante ante la inmensidad del universo que nos rodea? Todos esos puntos brillantes han despertado la curiosidad de los seres humanos desde tiempos inmemoriales, pero hay uno en concreto que ha ejercido sobre nosotros una atracción irresistible. Se trata del planeta Marte. Ya desde que hace milenios las antiguas civilizaciones dirigieran su mirada al firmamento y vieran en su característico brillo rojizo fuegos candentes o dioses guerreros, Marte ha impulsado, a partes iguales, la imaginación y el afán de conocimiento de la humanidad.

¿Qué hace que este planeta sea tan especial? Marte es importante porque ha estado siempre ahí, ante nuestros ojos, dispuesto a ofrecer respuestas a los grandes enigmas, provocando un profundo impacto en la cultura e impulsando de modo decisivo el avance de la ciencia en los últimos siglos.

Los primeros pasos de la astronomía como ciencia se fundamentaron en la observación sistemática de los movimientos de los astros en general y en la de los planetas en particular. El término *planeta*, que es de origen griego, significa ‘errante’, y refleja el hecho de que se trataba de puntos

brillantes en el cielo que no seguían el movimiento del resto de estrellas del firmamento, sino que se movían de manera extraña o errática en el cielo. A lo largo de los siglos, los astrónomos observaron cada vez más minuciosamente las posiciones de los planetas en el cielo con el objetivo de encontrar un modelo interpretativo del universo que fuera capaz de explicar los movimientos de los astros.

Todas las grandes civilizaciones de la Antigüedad desarrollaron modelos basados en la observación directa del firmamento, y en todos ellos Marte ocupaba un lugar destacado. Los primeros modelos de los que ha quedado constancia aparecieron hacia el siglo IV a. C. y se componían de un sistema de esferas concéntricas con la Tierra, situada en el centro del universo. Estos primeros modelos geocéntricos, sin embargo, no se ajustaban con las observaciones, pues no eran capaces de explicar los movimientos que algunos planetas, como Marte, describían en ciertos periodos del año.

Este desajuste se convirtió en un verdadero quebradero de cabeza para los astrónomos, que trataron de encajar los complicados movimientos de los planetas utilizando figuras “perfectas”, esferas y círculos, al considerar que eran las únicas adecuadas para describir los movimientos de los astros. De este modo, los modelos geocéntricos sufrieron sucesivas modificaciones a lo largo de los siglos, hasta que en el siglo II d. C. se propuso un modelo geocéntrico que utilizaba un complicadísimo sistema de círculos dentro de otros círculos, denominados epiciclos, deferentes y ecuantas, en un intento definitivo por *encajar* las observaciones. El modelo geocéntrico de epiciclos, con muy ligeras modificaciones, se mantuvo vigente casi ¡quince siglos! a pesar de que no terminaba de encajar perfectamente con las observaciones.

Esto llevó a los astrónomos a buscar explicaciones más sencillas del movimiento de los planetas. Las observaciones minuciosas del movimiento de Marte resultaron decisivas y condujeron, a lo largo del siglo XVI, a las sucesivas propuestas

de dos soluciones que resultaron cruciales y definitivas. La primera, propuesta a mediados de dicho siglo, fue la adopción del modelo heliocéntrico, ya propuesto en el siglo III a. C., que situaba al Sol en el centro del universo. Y la segunda, de finales del siglo, fue la adopción de la trayectoria elíptica para encajar los movimientos de los planetas, con el Sol en uno de sus focos. Desde ese instante, a finales del siglo XVI, se abandonaron los dos grandes principios que se habían mantenido vigentes hasta entonces: las órbitas circulares y el modelo geocéntrico. La Tierra, y con ella el ser humano, abandonaba para siempre el centro del universo, y todo ello gracias a las observaciones visuales recopiladas durante siglos del movimiento del “excéntrico” planeta rojo.

Muy poco tiempo después, en los inicios del siglo XVII, apareció por vez primera un instrumento que estaba destinado a ampliar nuestro conocimiento del universo como ningún otro hasta la fecha: el telescopio. Gracias a este, en los siglos posteriores, los astrónomos descubrieron un nuevo Marte, que pasó de ser un punto rojo brillante en el cielo a convertirse en un disco rojizo lleno de interrogantes. Sus zonas oscuras se interpretaron, al igual que en la Luna, como mares y océanos; sus casquetes polares indicaban la presencia de agua congelada, y su eje inclinado, de estaciones. Se trazaron mapas, se cartografió su superficie y sus cambios de tonalidad entre rojiza y grisácea a lo largo del tiempo se asociaron a la existencia de vegetación y, por lo tanto, de vida. Marte se había convertido, con la ayuda del telescopio, en un planeta hermano y posiblemente habitado, en el que la humanidad volvía a proyectar sus fantasías.

En la segunda mitad del siglo XIX y comienzos del XX los avances en la construcción de telescopios, cada vez mejores y más potentes, permitieron a los astrónomos observar con un detalle sin precedentes la superficie del planeta. La incorrecta traducción al inglés de la palabra italiana *canali*, con la que inicialmente se denominaron las estructuras lineales que

los astrónomos (italianos) creyeron ver en la superficie de Marte, por *canals* (en lugar del término *channels*, mucho más acertado), determinó que se creyese que se trataba de canales *artificiales* construidos por una avanzada civilización marciana. Estas estructuras, a ojos de los astrónomos, no eran sino canales de irrigación construidos, aparentemente, con el propósito de conectar las supuestas zonas yermas del sur con el gran océano boreal.

El gran interés por el estudio de Marte dio lugar, en la primera mitad del siglo XX, a la aparición de un arraigado imaginario popular sobre el planeta rojo. Alimentado por un sinfín de novelas, programas de radio y películas de ciencia ficción, Marte se mostraba como un planeta habitado por seres inteligentes, poseedores de una avanzada tecnología muy superior a la humana, cuya civilización luchaba denodadamente por conservar el agua como recurso vital en un planeta moribundo. ¿Cómo se pudo llegar a esta situación? No cabe duda de que la atracción que ejerce Marte sobre el ser humano es irresistible.

Estas teorías sobre un planeta Marte habitado se mantuvieron en mayor o menor medida hasta el primer sobrevuelo realizado con éxito por una nave espacial en los años sesenta del siglo XX. Las imágenes enviadas a la Tierra mostraban claramente un planeta inhóspito y árido, plagado de cráteres, sin rastro alguno de océanos, vegetación, canales o civilizaciones avanzadas. Pero lo que parecía ser el epílogo de la fascinación del ser humano por Marte se convirtió, como así había sido a lo largo de los siglos, en el prólogo para lo que sería el siguiente capítulo de esta historia.

Las primeras naves espaciales que se situaron en órbita alrededor de Marte y comenzaron a explorar y analizar su superficie en detalle mostraron una imagen del planeta rojo, de nuevo, fascinante: además de cráteres, había volcanes enormes, cañones gigantescos y lo que, con toda probabilidad, parecían ser cauces secos por los que pudo haber discurrido el agua en el pasado.

Uno de los descubrimientos fundamentales de la exploración robótica marciana ha sido, precisamente, constatar que Marte fue, anteriormente, bastante parecido a la Tierra, con abundante agua líquida en su superficie. En la actualidad sabemos que Marte es el más habitable de los planetas a nuestro alcance, por lo que su estudio es fundamental para entender el origen de la vida. Marte es, sin duda, uno de los mejores escenarios, si no el mejor, para demostrar la existencia de vida fuera de la Tierra.

Desde que conseguimos colocar robots exploradores en su superficie, no ha dejado de crecer el interés por desvelar los enigmas que esconde. Estamos viviendo momentos cruciales en la exploración marciana. Tanto es así que el primer ser humano que pise Marte ya ha nacido y todo apunta a que algunos de los grandes enigmas que aún esconde el planeta rojo podrían ser resueltos gracias a la exploración humana de Marte prevista para las próximas décadas. En ese momento histórico, nos convertiremos en una especie planetaria y, parafraseando al escritor estadounidense Ray Bradbury, “nosotros seremos los marcianos”. Y como una cápsula del tiempo, querido lector, espero que recuerdes estas líneas cuando seas testigo de ese histórico momento, ¡incluso si eres quien da ese paso!

La llegada al planeta Marte va a ser el siguiente gran salto de la humanidad, la siguiente etapa de la exploración humana, quizá impulsada por ese instinto de supervivencia o por el afán de conquista de nuevos entornos que los organismos vivos llevan impreso en sus genes. Se trata del próximo entorno por explorar, el resultado lógico de la vida abriéndose camino en el universo. Quién sabe si no lo ha hecho ya.

Un planeta cercano y hermano

Marte es un planeta de tipo rocoso. En el Sistema Solar, los cuatro planetas más cercanos al Sol (Mercurio, Venus, la Tierra y Marte) son de este tipo, mientras que los cuatro más alejados (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) son de tipo gaseoso o helado. Los planetas rocosos, también llamados telúricos o terrestres, tienen una estructura interior bastante similar en todos ellos, con un núcleo metálico, un manto de silicatos alrededor y una corteza rocosa sólida cuya superficie presenta una morfología plagada de cráteres, montañas, valles y volcanes. Poseen, además, atmósferas más o menos densas que están influidas por la actividad geológica y, en el caso de la Tierra, por la actividad biológica.

Hay también otros cuerpos en el Sistema Solar con características similares a las de los planetas terrestres, como algunas de las lunas de mayor tamaño del Sistema Solar, algún planeta enano como Ceres, el mayor de los objetos del cinturón de asteroides y los denominados objetos transneptunianos, más allá de la órbita de Neptuno (de ahí su nombre) y con Plutón, otro planeta enano, entre ellos. Puede que durante la formación y evolución temprana del Sistema Solar hubiera muchos más planetesimales de tipo terrestre en las

regiones interiores, pero es muy probable que, a lo largo del tiempo, se fusionaran entre sí o fueran destruidos tras colisionar con otros mayores hasta que solo quedaron los cuatro planetas terrestres actuales.

Marte, en números

Marte es el cuarto planeta del Sistema Solar en el orden de cercanía al Sol. Tomando como referencia la distancia media de la Tierra al Sol, conocida como unidad astronómica (UA) y con un valor de unos 150 millones de km, la distancia media de Marte al Sol es una vez y media mayor que la de la Tierra, es decir, 1,5 UA o unos 229 millones de km. Por el contrario, la distancia entre Marte y la Tierra es variable a lo largo del tiempo, debido al movimiento relativo de ambos planetas respecto del Sol. El momento de la separación mínima entre ambos planetas, conocido como oposición (con ambos planetas “del lado opuesto” al del Sol y formando una línea imaginaria Sol-Tierra-Marte), es de unos 55,7 millones de km. Por el contrario, en la conjunción, esto es, cuando ambos planetas están lo más alejados posible entre sí, con el Sol situado entre ambos, la distancia es de unos 401 millones de km. Por lo tanto, si alguien nos pregunta: ¿a qué distancia estamos de Marte?, la respuesta sería algo como: la distancia a Marte, *en estos momentos*, es de (un número comprendido entre 55,7 y 401) millones de kilómetros.

Marte gira en torno a su eje con un periodo de 24,6 horas. El día solar marciano tiene una duración de 24 horas, 39 minutos y 32,55 segundos, lo que se conoce como sol, y es, aproximadamente, un 3% más largo que el día solar terrestre. La duración del año marciano es también mayor que el terrestre, pues al estar más alejado, describe su órbita alrededor del Sol más lentamente que la Tierra. En concreto, un año marciano tiene 668,6 soles, lo que equivale a 687 días terrestres. Esta mayor duración del año hace que las estaciones en

Marte tengan una mayor duración que las terrestres, de unos tres meses cada una. Entonces, ¿hay también estaciones en Marte? Pues sí, en Marte se producen estaciones a lo largo del año debido a que el eje de rotación de Marte también está inclinado respecto al plano de la eclíptica (el plano imaginario en el que los planetas del Sistema Solar giran alrededor del Sol). Esta inclinación del eje, conocida como oblicuidad, es de $25,2^\circ$ en Marte, un poco mayor que los $23,4393^\circ$ de la Tierra. Además, la órbita de Marte es más excéntrica que la terrestre, con una excentricidad de 0,0933941, bastante mayor que la de la órbita terrestre, de solo 0,01671123. La órbita más elíptica de Marte provoca que sus estaciones tengan duraciones muy diferentes entre sí, de manera que las primaveras marcianas en el hemisferio norte y los otoños en el hemisferio sur duran 194 soles (son las estaciones más largas). Las estaciones más cortas en Marte son los otoños en el hemisferio norte y las primaveras en el sur, con una duración de *solo* 142 soles. Los inviernos en el hemisferio norte y los veranos en el sur duran 154 soles; y, finalmente, los veranos en el hemisferio norte y los inviernos en el sur duran 178 soles.

Marte es el segundo planeta más pequeño del Sistema Solar, solo más grande que Mercurio y casi la mitad de pequeño que la Tierra. Su radio ecuatorial es de 3.390 km, frente a los 6.371 km de la Tierra. Tiene un décimo de la masa de la Tierra, con una densidad media un poco menor que la terrestre: $3,943 \text{ g/cm}^3$ frente a $5,513 \text{ g/cm}^3$. La gravedad superficial marciana es, aproximadamente, un tercio de la terrestre ($3,71 \text{ m/s}^2$ frente a $9,81 \text{ m/s}^2$), por lo que, en Marte, pesaríamos un tercio de lo que pesamos en la Tierra. Además, la velocidad de escape marciana necesaria para *escapar* de su campo gravitatorio es aproximadamente la mitad de la terrestre (18.108 km/h frente a 40.284 km/h). Este último es un dato importante para las agencias espaciales que estén planificando viajes de ida y vuelta a nuestro vecino rojo en un futuro cercano, pues nos indica que las necesidades de combustible

son menores para despegar desde Marte en un hipotético viaje de regreso a la Tierra.

Mercurio y Venus no cuentan con satélites naturales o lunas; la Tierra tiene uno, la Luna, y Marte tiene dos satélites naturales, llamados Fobos y Deimos. Las lunas de Marte reciben sus nombres de la mitología griega: Fobos significa ‘miedo’ y Deimos significa ‘terror’, y son los nombres de los caballos que tiraban del carro de Ares, el dios griego de la guerra, equivalente al dios romano Marte. Otras fuentes indican que se trataba de sus hijos. De cualquier modo, caballos o hijos, seguro que contaban con el amor incondicional de Ares.

Fobos, con una forma irregular y un tamaño de unos 22 km es, aproximadamente, el doble de grande que Deimos, también de forma irregular y unas seis veces más ligero que su *hermano mayor*. Como le ocurre a la Luna con la Tierra, Fobos y Deimos están acoplados por las fuerzas de marea con Marte, de modo que siempre muestran la misma cara hacia el planeta. El material oscuro que se ha observado en sus superficies es del mismo tipo que el observado en objetos del cinturón de asteroides, por lo que se cree que se trata de asteroides que fueron capturados por la gravedad marciana.

Fobos se desplaza alrededor de Marte a unos 6.000 km de distancia de su superficie y se mueve a gran velocidad, describiendo una órbita en unas 7,5 horas, o casi tres órbitas completas alrededor de Marte cada sol. Esto produce un efecto curioso para un observador que se encuentre en la superficie marciana: ¡Fobos sale por el oeste y se pone por el este! Y este curioso efecto se repite cada 11 horas.

Deimos está más alejado de Marte, a unos 20.000 km, y describe una órbita completa en unas 30,3 horas (1,2 soles, aproximadamente). Ambas lunas se desplazan por el cielo en sentidos contrarios, con Fobos eclipsando a Deimos en repetidas ocasiones. Y hablando de eclipses, un observador en Marte podrá ver un eclipse lunar de Fobos cada noche, y podrá ver eclipses solares de Fobos o de Deimos, no llegando a ser totales

en ningún caso debido al pequeño tamaño angular de las lunas en el cielo, que solo ocultan parcialmente el disco solar (y eso a pesar de que, al estar más lejos, el disco solar se vea desde Marte la mitad de pequeño que visto desde la Tierra).

Una mala noticia. Debido a las fuerzas de marea, Fobos está cayendo inexorablemente hacia Marte, unos 2 m por siglo, de manera que terminará impactando contra el planeta rojo en unos 50 millones de años. Puede que algo parecido haya ocurrido ya en el pasado, a la vista de algunas cadenas de cráteres descubiertas en zonas ecuatoriales de Marte, que podrían ser el resultado del impacto de los restos de antiguas lunas que han sido previamente fragmentadas por las fuerzas de marea antes del impacto final. Este fenómeno de fragmentación por las fuerzas de marea produjo, entre el 16 y el 22 de julio de 1994, el impacto en Júpiter de los 21 fragmentos a los que quedó reducido el cometa Shoemaker-Levy 9. Esperemos que un lector del futuro lea esto a tiempo y pueda ser testigo desde la Tierra o avisar a quien corresponda... en Marte.

Un corazón todavía palpitante

Podemos decir que, hoy en día, la estructura interior de Marte es una gran incógnita. A pesar de ello, se pueden plantear hipótesis asumiendo que Marte es un planeta rocoso. En el inicio de la formación de los planetas, la gravedad es la que manda. Durante la formación de un planeta rocoso, la gravedad va acumulando el gas y el polvo primigenios en un proceso conocido como acreción o acrecimiento, que libera gran cantidad de energía y produce un aumento de la presión y la temperatura del material que forma el protoplaneta, que se calienta y se funde.

Este material acumulado por el acrecimiento inicia un proceso paulatino de separación de los diferentes componentes. Los materiales más densos del protoplaneta se hunden

hacia el centro, mientras que los menos densos, por flotación, ascienden hacia la superficie; este proceso se denomina diferenciación. El resultado final de la diferenciación planetaria es la separación de los materiales en capas concéntricas de diferente composición y estado físico: el núcleo, el manto y la corteza.

En general, el núcleo de los planetas rocosos está formado por los elementos más densos y pesados, como el níquel y el hierro, mientras que los compuestos más ligeros como las rocas (la mayoría de ellas silicatos), ascienden hacia la superficie y forman los mantos y las cortezas. En la Tierra, la mayoría del hierro se acumuló en el núcleo durante la diferenciación, pero en Marte, más pequeño y con menor masa, el proceso de diferenciación fue ligeramente diferente y el hierro quedó mucho más repartido entre las diferentes capas, incluida la corteza. Precisamente, el hierro de la corteza ha ido formando, durante millones de años, óxidos de hierro de tonalidades rojizas y grisáceas que han dado ese color característico a la superficie marciana.

En el caso de la Tierra, el núcleo metálico posee dos capas, un núcleo interno sólido y otro externo, líquido. Son precisamente los movimientos convectivos del níquel y hierro fundidos del núcleo externo los que crean el campo magnético global. La magnetosfera terrestre es el resultado del denominado efecto dinamo que crean los movimientos convectivos en el núcleo fluido junto con el efecto Coriolis¹ producido por la rotación planetaria. Cuando un fluido conductor se desplaza por un campo magnético ya existente, aparecen corrientes eléctricas inducidas, creando otro campo magnético. Cuando este campo inducido se añade al campo preexistente, el efecto es idéntico al que se presenta en una dinamo: el campo total se sostiene a sí mismo.

1. Debido a la rotación de la Tierra, los objetos que se desplazan sobre la superficie del planeta sufren el denominado efecto Coriolis, que curva la dirección de su movimiento. Como la Tierra gira de oeste a este, el efecto Coriolis desvía la dirección hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el sur.

La densidad de Marte, menor que la de la Tierra, pero ligeramente superior a la de los silicatos, hace suponer que posee un núcleo metálico, aunque seguramente sea de menor tamaño que el terrestre. El campo magnético actual de Marte, unas 10.000 veces más débil que el terrestre, posiblemente sea el remanente de un antiguo campo magnético global más intenso, ya que hay regiones de la corteza que conservan una ligera magnetización residual. Es probable, por tanto, que, en sus primeras etapas, el interior de Marte estuviera lo bastante caliente como para tener un núcleo líquido y generar corrientes de convección en el núcleo y también en el manto. La existencia de dichas corrientes en el núcleo generaría un campo magnético global, mientras que las corrientes de convección en el manto producirían actividad tectónica en el planeta. Seguramente, el rápido enfriamiento del interior (al ser Marte más pequeño, su ritmo de enfriamiento es mayor que en la Tierra) hizo desaparecer estas corrientes, provocando la progresiva desaparición de la actividad volcánica y tectónica superficial, así como la pérdida de su campo magnético global.

Se considera que la estructura interior de Marte está compuesta por un núcleo metálico sólido que ocupa los primeros 1.500-2.100 km y que está predominantemente compuesto por hierro, níquel y silicio, por un manto de silicatos que ocupa unos 1.240-1.880 km y por una corteza con un espesor de unos 10-50 km compuesta principalmente por hierro, magnesio, aluminio, calcio y potasio.

En noviembre de 2018, la misión InSight de la NASA (Interior exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport, ‘exploración del interior utilizando investigaciones sísmicas, geodésicas y de transporte de calor’) aterrizó en Marte con el objetivo de estudiar el interior del planeta (de ahí el nombre de la misión, ‘introspección’, en inglés). Los instrumentos a bordo estaban diseñados para examinar la estructura, la composición y el estado térmico de Marte, y los primeros datos obtenidos han sido sorprendentes: han revelado que

Marte es todavía un planeta activo, desde el punto de visto geofísico. En sus primeros diez meses de estudio, el sismómetro a bordo ha registrado casi 200 eventos sísmicos, que si bien no se trata de eventos de gran intensidad (solo 24 de esos terremotos alcanzan intensidades entre 3 y 4, y no se ha registrado todavía ninguno por encima de intensidad 4) indican de manera inequívoca que Marte es todavía activo sísmicamente. No menos importantes han sido las medidas realizadas por el magnetómetro, pues el campo magnético local detectado es diez veces mayor que el previsto, lo que es completamente inesperado. Estos recientes resultados indican que Marte guarda muchas sorpresas por desvelar en su interior, todavía palpitante.

MeteoMarte: curso breve de climatología marciana

La atmósfera de Marte está compuesta, prácticamente, por dióxido de carbono, CO_2 , con un 95,3%, por nitrógeno molecular, N_2 , con un 2,6%, y por argón, con alrededor de un 2%. También contiene pequeñas cantidades de vapor de agua, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y otros gases nobles, como neón, xenón o kriptón. A estos gases habría que añadirles el metano, detectado por primera vez en 2004 por la misión Mars Express. Se trata de un gas de gran trascendencia astrobiológica puesto que su presencia en la atmósfera terrestre es debida a la actividad biológica. En el caso de Marte, ha dado lugar a una gran controversia por no haberse confirmado, por el momento, su presencia inequívoca en la atmósfera (volveremos al *misterio del metano marciano* en uno de los próximos capítulos). La composición atmosférica, junto con la mayor o menor cantidad de polvo en suspensión, le dan al cielo marciano una tonalidad asalmonada característica, más o menos intensa, que podemos ver en las numerosas imágenes que, desde la superficie, han enviado a la Tierra las misiones que han aterrizado en Marte.