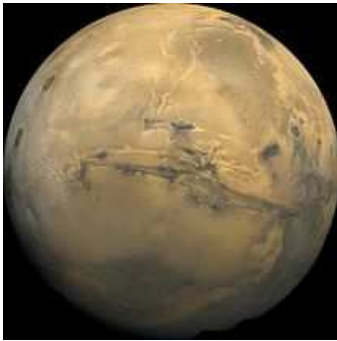


Marte

Marte, apodado a veces como el Planeta Rojo, es el cuarto planeta del Sistema Solar. Forma parte de los llamados planetas telúricos (de naturaleza rocosa, como la Tierra) y es el planeta interior más alejado al Sol. Es, en muchos aspectos, el más parecido a la Tierra.

Tycho Brahe midió con gran precisión el movimiento de Marte en el cielo. Los datos sobre el movimiento retrógrado aparente (lazos) permitieron a Kepler hallar la naturaleza elíptica de su órbita y determinar las leyes del movimiento planetario conocidas como leyes de Kepler.

Forma parte de los planetas superiores a la Tierra, que son aquellos que nunca pasan entre el Sol y la Tierra. Sus fases están poco marcadas, hecho que es fácil de demostrar geoméricamente. Considerando el triángulo Sol-Tierra-Marte, el ángulo de fase es el que forman el Sol y la Tierra vistos desde Marte. Alcanza su valor máximo en las cuadraturas cuando el triángulo STM es rectángulo en la Tierra. Para Marte, este ángulo de fase no es nunca mayor de 42° , y su aspecto de disco giboso es análogo al que presenta la Luna 3,5 días antes o después de la Luna llena. Esta fase, visible con un telescopio de aficionado, no logró ser vista por Galileo, quien sólo supuso su existencia.



Características orbitales

Radio medio 227.936.640 km

Excentricidad 0,09341233

Período orbital (sideral) 686,98 días

Período orbital (sinódico) 779,95 días

Velocidad orbital media 24,1309 km/s

Inclinación $1,85061^\circ$

Número de satélites 2

Características físicas

Diámetro ecuatorial 6.794,4 km

Área superficial 144 millones km.

Masa $6,4191 \times 10^{23}$ kg

Densidad media 3,94 g/cm³

Gravedad superficial 3,71 m/s²

Período de rotación 24,6229 horas

Inclinación axial 25,19°

Albedo 0,15

Velocidad de escape 5,02 km/s

Temperatura superficial mín. media máx.

186 K 227 K 268 K

Características atmosféricas

Presión atmosférica 0,7-0,9 kPa

Dióxido de carbono 95,32

Nitrógeno 2,7

Argón 1,6

Oxígeno 0,13

Monóxido de carbono 0,07

Vapor de agua 0,03

Neón

Criptón

Xenón

Ozono

Metano Trazas

Características físicas

Tiene una forma ligeramente elipsoidal, con un diámetro ecuatorial de 6.794 km y el polar de 6.750 km. Medidas micrométricas muy precisas han dado un achatamiento de 0,01, tres veces mayor que el de la Tierra. A causa de este achatamiento, el eje de rotación está afectado por una lenta precesión debida a la atracción del Sol sobre el abultamiento ecuatorial del planeta. La precesión lunar, que en la Tierra es dos veces mayor que la solar, no tiene su equivalente en Marte.

Con este diámetro, su volumen es de 15 centésimas el terrestre y su masa solamente de 11 centésimas. En consecuencia, la densidad es inferior a la de la Tierra: 3,94 en relación con el agua. Un cuerpo transportado a Marte pesaría 1/3 de su peso en la Tierra, debido a la poca fuerza gravitatoria.

Rotación y traslación

* Se conoce con exactitud lo que dura la rotación de Marte debido a que las manchas que se observan en su superficie, oscuras y bien delimitadas, son excelentes puntos de referencia. Fueron observadas por primera vez en 1659 por Huygens que asignó a su rotación la duración de un día. En 1666, Giovanni Cassini la fijó en 24 h 40 min, valor muy aproximado al verdadero. Trescientos años de observaciones de Marte han dado por resultado establecer el valor de 24 h 37 min 22,7 s para el día sideral (el período de rotación de la Tierra es de 23 h 56 min 4,1 s).

De la duración del día sideral se deduce fácilmente que el día solar tiene en Marte una duración de 24 h 39 min 35,3 s.

El día solar medio o tiempo entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano del lugar, dura 24 h 41 min 18,6 s. Un día marciano vale, por consiguiente, 1,029 días terrestres. El día solar en Marte tiene, igual que el de la Tierra, una duración variable, lo cual se debe a que los planetas siguen órbitas elípticas alrededor del Sol que no se recorren con uniformidad. No obstante, en Marte la variación es mayor por su elevada excentricidad.

Para mayor comodidad en sus trabajos, los responsables de las misiones norteamericanas de exploración de Marte por sondas automáticas han decidido unilateralmente dar al día marciano el nombre de sol, sin preocuparse por el hecho de que esa palabra significa suelo en francés y designa en castellano la luz solar o, escrito con mayúscula, el astro central de nuestro sistema planetario.

* El año marciano dura 687 días terrestres o 668,6 soles. Un calendario marciano podría constar de dos años de 668 días por cada tres años de 669 días.

* Los polos de Marte están señalados por dos casquetes polares de color blanco deslumbrante, que han facilitado mucho la determinación del ángulo que forma el ecuador del planeta con el plano de su órbita, ángulo equivalente para Marte a la oblicuidad de la eclíptica en la Tierra. Las medidas hechas por Camichel sobre clisés obtenidos en el observatorio francés del Pic du Midi, han dado para este ángulo $24^{\circ} 48'$. Desde la exploración espacial se acepta un valor de $25,19^{\circ}$, un poco mayor que la oblicuidad de la eclíptica ($23^{\circ} 27'$), motivo por el cual, Marte tiene períodos estacionales similares a los de la Tierra, aunque sus estaciones son más largas, dado que un año marciano es casi dos veces más largo que un año terrestre.

Geología

La ciencia que estudia la superficie de Marte se llama areografía (de Ares, dios de la guerra entre los griegos).

Marte es un mundo mucho más pequeño que la Tierra. Sus principales características, en proporción con las del globo terrestre, son las siguientes: diámetro 53%, superficie 28%, masa 11%. Como los océanos cubren el 71% de la superficie terrestre y Marte carece de mares las tierras de ambos mundos tienen aproximadamente la misma superficie.

La superficie de Marte presenta características morfológicas tanto de la Tierra como de la Luna: cráteres de impacto, campos de lava, volcanes, cauces secos de ríos y dunas de arena. Su composición es fundamentalmente basalto volcánico con un alto contenido en óxidos de hierro que proporcionan el característico color rojo de la superficie. Por su naturaleza, se asemeja a la limonita, óxido de hierro muy hidratado. Así como en las cortezas de la Tierra y de la Luna predominan los silicatos y los aluminatos, en el suelo de Marte son preponderantes los ferrosilicatos. Sus tres constituyentes principales son, por orden de abundancia, el oxígeno, el silicio y el hierro. Contiene: 20,8% de sílice, 13,5% de hierro, 5% de aluminio, 3,8% de calcio, y también titanio y otros componentes menores.



Marte observado por el Telescopio espacial Hubble.

* Desde la Tierra, mediante telescopios, se observan unas manchas oscuras y brillantes que no se corresponden a accidentes topográficos sino que aparecen si el terreno está cubierto de polvo oscuro (manchas de albedo). Éstas pueden cambiar lentamente cuando el viento arrastra el polvo. La mancha oscura más característica es Syrtis Major, una pendiente menor del 1% y sin nada resaltable.

* La superficie de Marte presenta también unas regiones brillantes de color naranja rojizo, que reciben el nombre de desiertos, y que se extienden por las tres cuartas partes de la superficie del planeta, dándole esa coloración rojiza característica o, mejor dicho, el de un inmenso pedregal, ya que el suelo se halla cubierto de piedras, cantos y bloques.

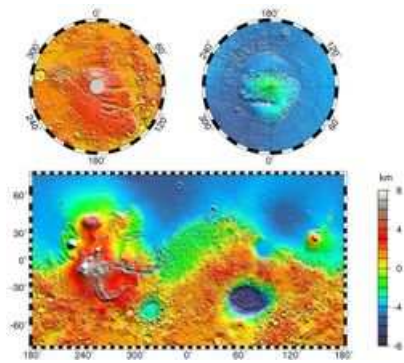
* Un enorme escalón, cercano al ecuador, divide a Marte en dos regiones claramente diferenciadas: un norte llano, joven y profundo y un sur alto, viejo y escarpado, con cráteres similares a las regiones altas de la Luna. En contraste, el hemisferio norte tiene llanuras mucho más jóvenes, y con una historia más compleja. Parece haber una brusca elevación de varios kilómetros en el límite. Las razones de esta dicotomía global son desconocidas.

* Hay cráteres de impacto distribuidos por todo Marte, pero en el hemisferio sur hay una vieja altiplanicie de lava basáltica semejante a los mares de la Luna, sembrada de cráteres de tipo lunar. Pero el aspecto general del paisaje marciano difiere al que presenta nuestro satélite como consecuencia de la existencia de atmósfera. En concreto, el viento cargado de partículas sólidas produce una ablación que, en el curso de los tiempos geológicos, ha arrasado muchos cráteres. Éstos son, por consiguiente, mucho menos numerosos que en la Luna y la mayor parte de ellos tienen las murallas más o menos desgastadas por la erosión. Por otra parte, los enormes volúmenes de polvo arrastrados por el viento cubren los cráteres menores, las anfractuosidades del terreno y otros accidentes poco importantes del relieve. Entre los cráteres de impacto destacados del hemisferio sur está la cuenca de impacto Hellas Planitia, la cual tiene 6 km de profundidad y 2.000 km de diámetro. Muchos de los cráteres de impacto más recientes tienen una morfología que sugiere que la superficie estaba húmeda o llena de barro cuando ocurrió el impacto.

* El campo magnético marciano es muy débil, unas 2 milésimas del terrestre y con una polaridad invertida respecto a la Tierra.

Geografía

La superficie de Marte conserva las huellas de grandes cataclismos que no tienen equivalente en la Tierra:



Mapa topográfico de Marte, cortesía NASA/JPL-Caltech. Accidentes notables: Volcanes de Tharsis al oeste (incluyendo Olympus Mons), Valles Marineris al este de Tharsis, y Hellas en el hemisferio sur.

Una característica que domina parte del hemisferio norte, es la existencia de un enorme abultamiento que contiene el complejo volcánico de Tharsis. En él se encuentra Olympus Mons, el mayor volcán del Sistema Solar. Tiene una altura de 25 km (más de dos veces y media la altura del Everest sobre un globo mucho más pequeño que el de la Tierra) y su base tiene una anchura de 600 km. Las coladas de lava han creado un zócalo cuyo borde forma un acantilado de 6 km

de altura. Hay que añadir la gran estructura colapsada de Alba Patera. Las áreas volcánicas ocupan el 10% de la superficie del planeta. Algunos cráteres muestran señales de reciente actividad y tienen lava petrificada en sus laderas. A pesar de estas evidencias, no fue hasta mayo de 2007 cuando el Spirit, descubrió, con un grado alto de certeza, el primer depósito volcánico signo de una antigua actividad volcánica en la zona denominada Home Plate, (una zona con lecho rocoso de unos dos metros de altura y fundamentalmente basáltica, que debió formarse debido a flujos de lava en contacto con el agua líquida), situada en la base interior del cráter Gusev. Una de las mejores pruebas es la que los investigadores llaman "bomb sag" (la marca de la bomba). Cuando se encuentran la lava y el agua, la explosión lanza trozos de roca por el aire. Uno de esos trozos que explotan en el aire vuelve a caer y se encaja en depósitos más blandos.

Cercano al Ecuador y con una longitud de 2.700 km, una anchura de hasta 500 km y una profundidad de entre 2 y 7 km, Valles Marineris es un cañón que deja pequeño al Cañón del Colorado. Se formó por el hundimiento del terreno a causa de la formación del abultamiento de Tharsis.

Hay una clara evidencia de erosión en varios lugares de Marte tanto por el viento como por el agua. Existen en la superficie largos valles sinuosos que recuerdan lechos de ríos (actualmente secos pues el agua líquida no puede existir en la superficie del planeta en las actuales condiciones atmosféricas). Esos inmensos valles pueden ser el resultado de fracturas a lo largo de las cuales han corrido raudales de lava y, más tarde, de agua.



Valle Marineris

La superficie del planeta conserva verdaderas redes hidrográficas, hoy secas, con sus valles sinuosos entallados por las aguas de los ríos, sus afluentes, sus brazos, separados por bancos de aluviones que han subsistido hasta nuestros días. Todos estos detalles de la superficie sugieren un pasado con otras condiciones ambientales en las que el agua causó estos lechos mediante inundaciones catastróficas. Algunos sugieren la existencia, en un pasado remoto, de lagos e incluso de un vasto océano en la región boreal del planeta. Todo parece indicar que fue hace unos 4.000 millones de años y por un breve período de tiempo, en la denominada era Noeica.

Al igual que la Luna y Mercurio, Marte no presenta tectónica de placas activa, como la Tierra. No hay evidencias de movimientos horizontales recientes en la superficie tales como las montañas por plegamiento tan comunes en la Tierra. No obstante la Mars Global Surveyor en órbita alrededor de Marte ha detectado en varias regiones del planeta extensos campos magnéticos de baja intensidad. Este hallazgo inesperado de un probable campo magnético global, activo en el pasado y hoy desaparecido, puede tener interesantes implicaciones para la estructura interior del planeta.

Recientemente, estudios realizados con ayuda de las sondas Mars Reconnaissance Orbiter y Mars Global Surveyor han mostrado que muy posiblemente el hemisferio norte de Marte es una enorme cuenca de impacto de forma elíptica conocida como Cuenca Borealis de 8500 kilómetros de diámetro que cubre un 40% de la superficie del planeta -la mayor del Sistema Solar, superando con mucho a la Cuenca Aitken de la Luna- que pudo haberse formado hace 3900 millones de años por el impacto de un objeto de 2000 kilómetros de diámetro. Posteriormente a la formación de dicha cuenca se formaron volcanes gigantes a lo largo de su borde, que han hecho difícil su identificación.



El Monte Olimpo visto desde la órbita de Marte.

Características atmosféricas

La atmósfera de Marte es muy tenue con una presión superficial de sólo 7 a 9 hPa frente a los 1033 hPa de la atmósfera terrestre. Esto representa una centésima parte de la terrestre. La presión atmosférica varía considerablemente con la altitud, desde casi 9 hPa en las depresiones más profundas, hasta 1 hPa en la cima del Monte Olimpo. Su composición es fundamentalmente: dióxido de carbono (95,3%) con un 2,7% de nitrógeno, 1,6% de argón y trazas de oxígeno molecular (0,15%) monóxido de carbono (0,07%) y vapor de agua (0,03%). La proporción de otros elementos es ínfima y escapa su dosificación a la sensibilidad de los instrumentos hasta ahora empleados. El contenido de ozono es 1000 veces menor que en la Tierra, por lo que esta capa, que se encuentra a 40 km de altura, es incapaz de bloquear la radiación ultravioleta.

La atmósfera es lo bastante densa como para albergar vientos muy fuertes y grandes tormentas de polvo que, en ocasiones, pueden abarcar el planeta entero durante meses. Este viento es el responsable de la existencia de dunas de arena en los desiertos marcianos. Las nubes pueden presentarse en tres colores: blancas, amarillas y azules. Las nubes blancas son de vapor de agua condensada o de dióxido de carbono en latitudes polares. Las amarillas, de naturaleza pilosa, son el resultado de las tormentas de polvo y están compuestas por partículas de tamaño en torno a 1 micra. La bóveda celeste marciana es de un suave color rosa salmón debido a la dispersión de la luz por los granos de polvo muy finos procedentes del suelo ferruginoso.

En invierno, en las latitudes medias, el vapor de agua se condensa en la atmósfera y forma nubes ligeras de finísimos cristales de hielo. En las latitudes extremas, la condensación del anhídrido carbónico forma otras nubes que constan de cristales de nieve carbónica.

La débil atmósfera marciana produce un efecto invernadero que aumenta la temperatura superficial unos 5 grados; mucho menos que lo observado en Venus y en la Tierra.

La atmósfera marciana ha sufrido un proceso de evolución considerable por lo que es una atmósfera de segunda generación. La atmósfera primigenia, formada poco después que el planeta, ha dado paso a otra, cuyos elementos provienen de la actividad geológica del planeta. Así, el vulcanismo vierte a la atmósfera determinados gases, entre los cuales predominan el gas carbónico y el vapor de agua. El primero queda en la atmósfera, en tanto que el segundo tiende a congelarse en el suelo frío. El nitrógeno y el oxígeno no son producidos en Marte más que en ínfimas proporciones. Por el contrario, el argón es relativamente abundante en la atmósfera marciana. Esto no es de extrañar: los elementos ligeros de la atmósfera (hidrógeno, helio, etc.) son los que más fácilmente se escapan en el espacio interplanetario dado que sus átomos y moléculas alcanzan la velocidad de escape; los gases más pesados acaban por combinarse con los elementos del suelo; el argón, aunque ligero, es lo bastante pesado como para que su escape hidrodinámico hacia el espacio interplanetario sea difícil y, por otra parte, al ser un gas neutro o inerte, no se combina con los otros elementos por lo que va acumulándose con el tiempo.

En los inicios de su historia, Marte pudo haber sido muy parecido a la Tierra. Al igual que en nuestro planeta la mayoría de su dióxido de carbono se utilizó para formar carbonatos en las rocas. Pero al carecer de una tectónica de placas es incapaz de reciclar hacia la atmósfera nada de este dióxido de carbono y así no puede mantener un efecto invernadero significativo.

No hay cinturón de radiación, aunque sí hay una débil ionosfera que tiene su máxima densidad electrónica a 130 km de altura.

Aunque no hay evidencia de actividad volcánica actual, recientemente la nave europea Mars Express y medidas terrestres obtenidas por el telescopio Keck desde la Tierra han encontrado trazas de metano en una proporción de 10 partes por 1000 millones. Este gas sólo puede tener un origen volcánico o biológico. El metano no puede permanecer mucho tiempo en la atmósfera. Se estima en 400 años el tiempo en desaparecer de la atmósfera de Marte, ello supone que hay una fuente que lo produce. Lo más probable es que la actividad volcánica del Olympus Mons no terminase de golpe hace 100 millones de años. Es necesario recalcar que la pequeña proporción de metano detectada, muy poco por encima del límite de sensibilidad instrumental, impide por el momento dar una explicación clara de su origen.

El agua en Marte

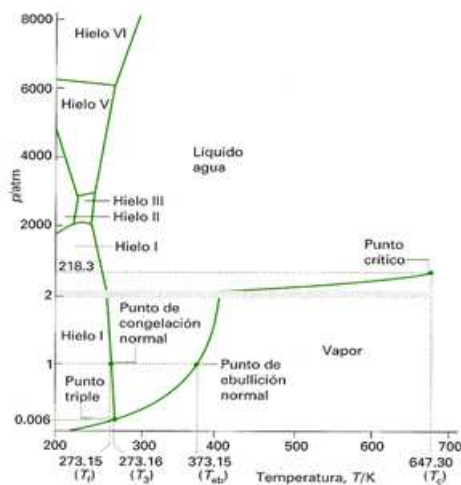


Diagrama de fases del agua

El punto de ebullición depende de la presión y si ésta es excesivamente baja, el agua no puede existir en estado líquido. Eso es lo que ocurre en Marte: si ese planeta tuvo abundantes cursos de agua fue porque contaba también con una atmósfera mucho más densa que proporcionaba también temperaturas más elevadas. Al disiparse la mayor parte de esa atmósfera en el espacio, y disminuir así la presión y bajar la temperatura, el agua desapareció de la superficie de Marte. Ahora bien, subsiste en la atmósfera, en estado de vapor, aunque en escasas proporciones, así como en los casquetes polares, constituidos por grandes masas de hielos perpetuos.

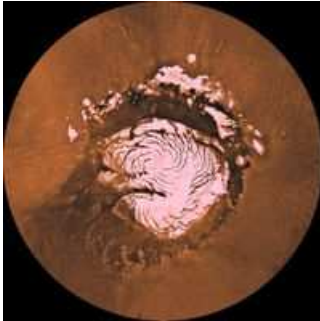
Todo permite suponer que entre los granos del suelo existe agua congelada, fenómeno que, por lo demás, es común en las regiones muy frías de la Tierra. En torno de ciertos cráteres marcianos se observan unas formaciones en forma de lóbulos cuya formación solamente puede ser explicada admitiendo que el suelo de Marte está congelado. También se dispone de fotografías de otro tipo de accidente del relieve perfectamente explicado por la existencia de un gelisuelo. Se trata de un hundimiento del suelo de cuya depresión parte un cauce seco con la huella de sus brazos separados por bancos de aluviones.

Se encuentra también en paredes de cráteres o en valles profundos donde no incide nunca la luz solar, accidentes que parecen barrancos formados por torrentes de agua y los depósitos de tierra y rocas transportados por ellos. Sólo aparecen en latitudes altas del hemisferio Sur.

La comparación con la geología terrestre sugiere que se trata de los restos de un suministro superficial de agua similar a un acuífero.

También subsiste agua marciana en la atmósfera del planeta, aunque en proporción tan ínfima (0,01%) que, de condensarse totalmente sobre la superficie de Marte, formaría sobre ella una película líquida cuyo espesor sería aproximadamente de la centésima parte de un milímetro. A pesar de su escasez, ese vapor de agua participa de un ciclo anual. En Marte, la presión atmosférica es tan baja que el vapor de agua se solidifica en el suelo, en forma de hielo, a la temperatura de -80°C . Cuando la temperatura se eleva de nuevo por encima de ese límite el hielo se sublima, convirtiéndose en vapor sin pasar por el estado líquido.

Casquetes polares



Polo norte de Marte

La superficie del planeta presenta diversos tipos de formaciones permanentes, entre las cuales las más fáciles de observar son dos grandes manchas blancas situadas en las regiones polares, una especie de casquetes polares del planeta. Cuando llega la estación fría, el depósito de hielo perpetuo empieza por cubrirse con una capa de escarcha debida a la condensación del vapor de agua atmosférico. Luego, al seguir bajando la temperatura desaparece el agua congelada bajo un manto de nieve carbónica que extiende al casquete polar hasta rebasar a veces el paralelo de los 60° . Ello es así porque se congela parte de la atmósfera de CO_2 . Recíprocamente en el hemisferio opuesto, la primavera hace que la temperatura suba por encima de -120°C , lo cual provoca la sublimación de la nieve carbónica y el retroceso del casquete polar; luego, cuando el termómetro se eleva a más de -80°C , se sublima, a su vez, la escarcha; sólo subsisten entonces los hielos permanentes, pero ya el frío vuelve y éstos no sufrirán una ablación importante.

La masa de hielo perpetuo tiene un tamaño de unos 100 km de diámetro y unos 10 m de espesor. Así pues los casquetes polares están formados por una capa muy delgada de hielo de CO_2 ("hielo seco") y quizá debajo del casquete Sur haya hielo de agua. En cien años de observación el casquete polar Sur ha desaparecido dos veces por completo, mientras el Norte no lo ha hecho nunca.

Los casquetes polares muestran una estructura estratificada con capas alternantes de hielo y distintas cantidades de polvo oscuro.

La masa total de hielo del casquete polar Norte equivale a la mitad del hielo que existe en Groenlandia. Además el hielo del polo Norte de Marte se asienta sobre una gran depresión del terreno estando cubierto por "hielo seco".

El 19 de junio de 2008 la NASA afirmó que la sonda Phoenix debió haber encontrado hielo al realizar una excavación cerca del Polo Norte de Marte. Unos trozos de material sublimaron después de ser descubiertos el 15 de junio por un brazo de robot.

El 31 de julio de 2008 la NASA confirma que una de las muestras de suelo marciano introducidas en uno de los hornos del TEGA (Thermal and Evolved-Gas Analyzer), un instrumento que forma parte de la sonda, contenía hielo de agua.

Climatología

No se dispone todavía de datos suficientes sobre la evolución térmica marciana. Por hallarse Marte mucho más lejos del Sol que la Tierra, sus climas son más fríos, y tanto más por cuanto la atmósfera, al ser tan tenue, retiene poco calor: de ahí que la diferencia entre las temperaturas diurnas y nocturnas sea más pronunciada que en nuestro planeta. A ello contribuye también la baja conductividad térmica del suelo marciano.

La temperatura en la superficie depende de la latitud y presenta variaciones estacionales. La temperatura media superficial es de unos 218 K (-55°C). La variación diurna de las temperaturas es muy elevada como corresponde a una atmósfera tan tenue. Las máximas diurnas, en el ecuador y en verano, pueden alcanzar los 20 °C o más, mientras las máximas nocturnas pueden alcanzar fácilmente -80°C. En los casquetes polares, en invierno las temperaturas pueden bajar hasta -130°C.

Enormes tormentas de polvo, que persisten durante semanas e incluso meses, oscureciendo todo el planeta pueden surgir de repente. Están causadas por vientos de más de 150 km/h. Dichas tormentas pueden alcanzar dimensiones planetarias.

Durante un año marciano. parte del CO₂ de la atmósfera se condensa en el hemisferio donde es invierno, o se sublima del polo a la atmósfera cuando es verano. En consecuencia la presión atmosférica tiene una variación anual.

Clima marciano en el pasado



Marte en el presente.

Hay un gran debate respecto a la historia pasada de Marte. Para unos Marte albergó en un pasado grandes cantidades de agua y tuvo un pasado cálido, con una atmósfera mucho más densa, el agua fluyendo por la superficie y excavando los grandes canales que surcan su superficie.

La orografía de Marte presenta un hemisferio norte que es una gran depresión y donde los partidarios de Marte húmedo sitúan al Oceanus Borealis, un mar cuyo tamaño sería similar al Mar Mediterráneo.

El agua de la atmósfera marciana posee deuterio cinco veces más que en la Tierra. Esta anomalía, también registrada en Venus, se interpreta como que los dos planetas tenían mucha agua en el pasado pero que acabaron perdiéndola.

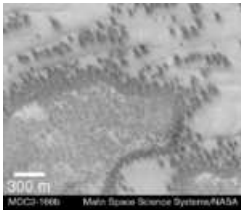
Los recientes descubrimientos del robot de la NASA Opportunity, avalan la hipótesis de un pasado húmedo.

A finales de 2005 surgió la polémica sobre las interpretaciones dadas a determinadas formaciones de rocas que exigían la presencia de agua, proponiéndose una explicación alternativa que rebajaba la necesidad de agua a cantidades mucho menores y reducía el gran mar o lago ecuatorial a una simple charca donde nunca había existido más de un palmo de agua salada. Algunos científicos han criticado el hecho de que la NASA sólo investiga en una dirección buscando evidencias de un Marte húmedo y descartando las demás hipótesis.

Así pues tendríamos en Marte tres eras. Durante los primeros 1000 millones de años un Marte calentado por una atmósfera que contenía gases de efecto invernadero suficientes para que el agua fluyese por la superficie y se formaran arcillas, la era Noeica que sería el anciano reducto de un Marte húmedo y capaz de albergar vida. La segunda era duró de los 3800 a los 3500 millones de años y en ella ocurrió el cambio climático, y la era más reciente y larga que dura casi toda la historia del planeta y que se extiende de los 3500 millones de años a la actualidad con un Marte tal como lo conocemos en la actualidad frío y seco.

En resumen el paradigma de un Marte húmedo que explicaría los accidentes orográficos de Marte está dejando paso al paradigma de un Marte seco y frío donde el agua ha tenido una importancia mucho más limitada.

Vida



Manchas oscuras en las dunas de Marte.



Estructuras minerales microscópicas en el interior del meteorito marciano ALH84001.

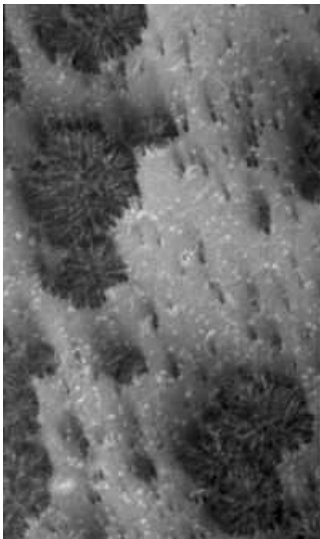


Imagen de alta resolución de las manchas oscuras obtenida por el Mars Global Surveyor.

Las actuales teorías que predicen las condiciones en las que se puede encontrar vida, requieren la disponibilidad de agua en estado líquido. Es por ello tan importante su búsqueda, todavía no hallada en este planeta. Tan solo se ha podido encontrar agua en estado sólido (hielo) y se especula que bajo tierra pueden darse las condiciones ambientales para que el agua se mantenga en estado líquido.

En 1989-1990, el sistema orbital Mars Global Surveyor de la NASA detectó manchas oscuras debajo de la capa de hielo de las dunas del polo sur de Marte. La peculiaridad de estas manchas, es que el 70% de ellas recurre anualmente en el mismo lugar del año anterior, por lo que un equipo de científicos de Budapest, han propuesto que estas manchas podrían ser de origen biológico y de carácter extremófilo. La agencia espacial ESA también está analizando el fenómeno de estas manchas mediante el Mars Express. En 2007, se calculó que la hipotética existencia de vida en Marte estaría limitada a la profundidad de 7,5 metros mínimo, debido a la acción detrimental de la radiación cósmica en las moléculas de ADN.

Trazas de gas metano fueron detectadas en la atmósfera de Marte en 2003, lo cual es considerado un misterio, ya que bajo las condiciones atmosféricas de Marte y la radiación solar, el metano es inestable y desaparece después de varios años, lo que indica que debe existir en Marte una fuente productora de metano que mantiene esa concentración en su atmósfera, y que produce un mínimo de 150 toneladas de metano cada año. Se planea que la futura sonda Mars Science Laboratory, incluya un espectrómetro de masas capaz de medir la diferencia entre ^{14}C y ^{12}C para determinar si el metano es de origen biológico o geológico.

No obstante, en el pasado existió agua líquida en abundancia y una atmósfera más densa y protectora; éstas son las condiciones que se creen más favorables que hubo de desarrollarse la vida en Marte. El meteorito ALH84001 que se considera originario de Marte, fue encontrado en la Antártica en diciembre de 1984 por un grupo de investigadores del proyecto ANSMET y algunos investigadores consideran que las formas regulares podrían ser microorganismos fosilizados. [



Tierra y Luna vistas desde Marte. Imagen del Mars Global Surveyor de Mayo 8, 2003 13:00 UTC. Sudamérica es visible.



Puesta de Sol en Marte. Imagen del Mars Pathfinder.

TEORÍA DE MILANKOVITCH

Mucho se habla en nuestros días sobre los grandes cambios climáticos que ha sufrido nuestro planeta. Bien es cierto, que la presencia del hombre sobre la Tierra, ha acelerado estos procesos por contaminación, tala indiscriminada, depredación.

Poco, en cambio, se ha disertado sobre el efecto de las fuerzas orbitales dentro de todo este contexto. Para poder comenzar a hablar de fuerzas orbitales debemos comenzar por explicar la teoría de Milankovitch.

Milutin Milankovitch fue un astrofísico serbio que nació en 1879 y murió en 1958. Fue uno de los primeros visionarios en desarrollar teorías relativas al movimiento de la tierra y sus influencias a largo plazo en los cambios climáticos. Nació en la aldea rural de Dalj y estudió en el Instituto de Tecnología de Viena, graduándose en 1904 con un doctorado en Ciencias Técnicas. Trabajó en la universidad de Belgrado en matemáticas aplicadas desde 1909. Dedicó su carrera a desarrollar teorías matemáticas del clima basadas en la variación de estaciones y latitud dependiendo de la radiación solar recibida por la tierra.

Milutin Milankovitch no fue el primero en relacionar los ciclos orbitales con los cambios climáticos, se conoce que ADHEMAR 1842 y CROLL 1875 fueron quienes primero detectaron esta relación.

La teoría de Milankovitch es una teoría astronómica para explicar los cambios climáticos. Estos están directamente relacionados a los cambios de la órbita de la tierra alrededor del sol.

La teoría de Milankovitch se basa en que la tierra gira alrededor del sol variando en, a saber:

*Excentricidad de la órbita alrededor del sol, es una medida de la elipse. Si la órbita es mas elíptica la excentricidad es mayor. Los cambios en la excentricidad influyen en la variación de la distancia que separa la tierra del sol.

*Cambios en la obliquidad, esto es en el ángulo del eje de la tierra estando en órbita alrededor del sol. Tiene su máximo efecto en los polos.

*Precesión, es el cambio de dirección del eje de rotación de la tierra, también conocido como el eje "spin". Tiene dos componentes esta perturbación, la precesión axial y la precesión elíptica. La primera ocurre debido al torque del sol y los planetas en el área ecuatorial causando la rotación del eje. La precesión elíptica es la que se produce cuando la orbita eliptica rota alrededor del sol. La combinación de los dos componentes es la que da lugar a la precesión equinoccial.

El calculó estos lentos cambios en la orbita de la tierra con cuidadosas medidas de la posición de las estrellas y a través de ecuaciones utilizando la fuerza gravitacional de otros planetas y estrellas.

Milankovitch determinó que la tierra se desliza en su orbita cerca de 22 a 25 grados en un ciclo de 41.000 años. La tierra se inclina, ello causa las estaciones y la intensidad que ellas tengan. Los cambios en la inclinación de la tierra sobre su propio eje tienen influencia sobre las estaciones, las pueden hacer mas o menos severas, pueden existir, por ejemplo, veranos menos o más cálidos o inviernos menos o más fríos.

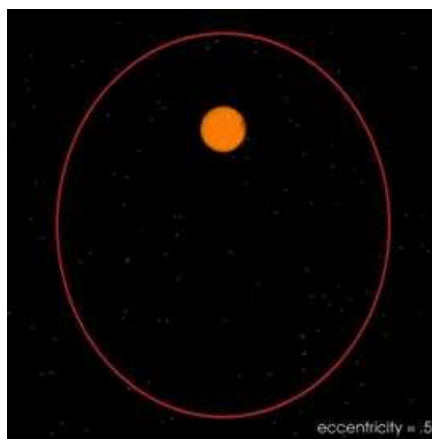
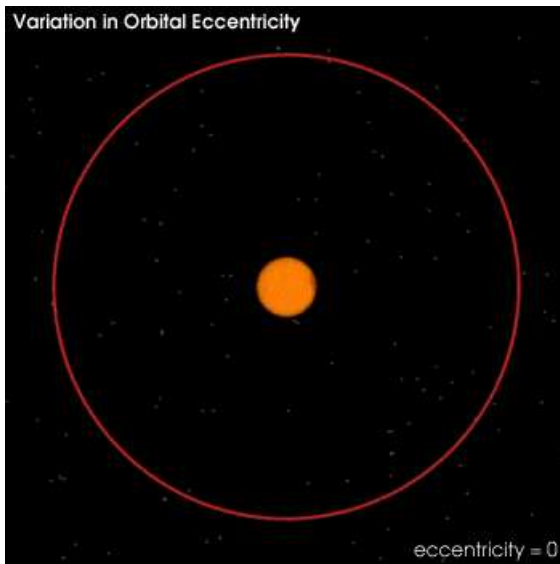
La posición de los solsticios en la orbita anual se pueden acentuar o modificar por la excentricidad de la orbita que tiene la tierra alrededor del sol y el efecto de precesión.

La orbita de la tierra alrededor del sol no es circular, lo que significa, que en el tiempo la tierra puede estar mas cerca o mas distante del sol. Las variaciones orbitales son los cambios en la excentricidad de la órbita que afecta la distancia entre la tierra y el sol. Normalmente la diferencia es de 3 por ciento, 5 millones de kilómetros en el lugar más próximo llamado perihelio el cual ocurre cerca del 3 de Enero y la parte mas alejada que se produce aproximadamente el 4 de Julio y es denominada afelio. El movimiento del perihelio es conocido como la precesión de los equinoccios y ocurre en un período de 22.000 años. Por ejemplo, hace 11.000 años el perihelio ocurrió en Julio e hizo que las estaciones fuesen mas severas que hoy en día. La llamada redondez o excentricidad de la órbita de la tierra varía en ciclos de 100.000 a 400.000 años y su efecto se ve reflejado directamente en las estaciones.

Esta diferencia en la cantidad de distancia hace que se produzca cerca de un 6 por ciento de incremento en la radiación solar (insolación) de Julio a Enero. La forma de la órbita cambia de ser elíptica, alta excentricidad a estar muy cercana a la forma circular, baja excentricidad en un ciclo que toma entre 90.000 a 100.000 años. Cuando la órbita es altamente elíptica la cantidad de insolación recibida en el perihelio puede llegar a ser en el orden de 20 a 30 por ciento mayor que durante el afelio. Esto hace que ocurran cambios sustanciales que lleven a marcados cambios climáticos.

Colocados en conjunto estos movimientos orbitales llevan el nombre de ciclos de Milankovitch.

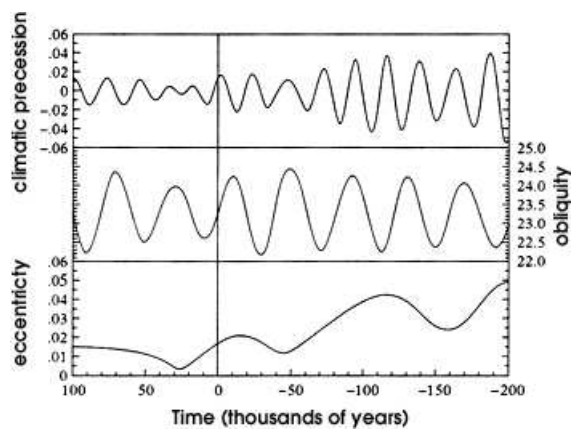
En las gráficas se puede ver como la excentricidad varía entre ser muy cercana a la forma circular y luego desplazarse a la forma elíptica.



Utilizando tres variaciones orbitales, Milankovitch formuló un modelo matemático que calcula diferencias latitudinales en la insolación y el correspondiente cambio de temperatura superficial para 600.000 años. Correlacionó estos cambios con la retirada de los hielos.

Luego de esto asumió que los cambios de radiación en algunas latitudes y estaciones son mas importantes para el crecimiento y decaimiento de la cantidad de hielo.

La combinación de 41.000 años del ciclo de inclinación sobre su propio eje y 22.000 años del ciclo de precesión hace que los inviernos y los veranos sean mas o menos severos e influyen directamente sobre las capas de hielo (las incrementa o las derrite).



Este gráfico calcula los valores para 300.000 años de variación orbital. La línea cero representa hoy en día, el valor -200 indica 200.000 años en el pasado, el valor 100 indica 100.000 años desde este momento. Milankovitch denotó que estos ciclos de mecanismos orbitales corresponden a muchos indicadores de cambios climáticos en el pasado, tales como las edades de hielo.

Por mas de 50 años, la teoría de Milankovitch fue ignorada. Un estudio que data de 1976 en la revista Science examinó sedimentos de aguas profundas y encontró que aplicando esta teoría se podía reflejar los cambios climáticos ocurridos. En este trabajo los autores estuvieron en capacidad de extraer el registro de cambios de temperaturas hasta 450.000 años, encontrando las mayores variaciones de clima asociadas con cambios en la geometría (excentricidad, obliquidad y precesión) de la órbita de la tierra.

Los cambios orbitales ocurren en miles de años y el sistema climático puede tomar miles de años en responder a las fuerzas orbitales. La teoría sugiere que el conductor de la edad de hielo es la radiación total recibida en las zonas de latitud norte donde las mayores capas de hielo han sido formadas en el pasado, cerca de 65 grados norte. La pasada edad de hielo correlaciona muy bien con 65N de verano de insolación según IMBRIE, 1982. Los cálculos astronómicos muestran que 65N de insolación norte podría incrementar gradualmente en los próximos 25.000 años y si 65N de insolación de verano declina en una cantidad suficiente podría causar una edad de hielo dentro de 100.000 años, HOLLAN, 2000.

Actualmente las teorías de las glaciaciones se basan en los ciclos de Milankovitch. Hace medio millón de años, fue un período en donde el hielo cubrió la mayor parte de Canadá, el norte de Europa y el norte de Asia. Este período estuvo separado por otros en donde la capa de hielo estuvo confinada a las altas latitudes, tal como lo tenemos hoy en día. Estas masivas cubiertas de hielo se desplazaron kilómetros, arrastrando con ellas grandes cantidades de terrenos, rocas a una gran distancia de su posición original. La evidencia se fundamenta en los registros geológicos y afloramientos encontrados al norte en latitudes medias. El problema para los científicos que estudian éstos fenómenos es el encontrar la razón que los causa y la teoría de Milankovitch explica perfectamente lo que se ha denominado teoría astronómica de la glaciación. Esta teoría fue sugerida por primera vez por el matemático Francés Joseph Adhemar en el año 1842. El propuso que existen perturbaciones en la tierra, que son cíclicas y que están causadas por la posición de la tierra con respecto al sol, que está directamente asociada a glaciaciones y de-glaciaciones. En el momento, esta propuesta no tuvo acogida, pero posteriormente el geólogo escocés James Croll retomó la idea, pero quien le dio todo el impulso e hizo de ella una teoría fue Milutin Milankovitch.

No fue sino hasta el año 1976, cuando esta teoría fue aceptada ampliamente y se demostró que las fluctuaciones en el volumen de las grandes masas de hielo de la tierra están directamente relacionadas con la frecuencia de las perturbaciones orbitales.

Todos estos cambios en temperatura y las fluctuaciones de las grandes masas de hielo quedan evidenciados en el registro geológico y es este punto en el que basa la reconstrucción geológica. Se ha demostrado que existe una correlación entre los ciclos glaciares y de cambios de temperaturas y las teorías expuestas por Milankovitch, sobre todo en frecuencia, tiempo. Los modelos paleoclimáticos intentan explicar las relaciones entre las fuerzas astronómicas calculadas y los cambios paleoclimáticos.

Para Van Vugt et. al, los ciclos de Milankovitch y la manera como afectan el clima se ven expresados en el registro sedimentario como ciclos litológicos que pueden tener uno o mas de cuatro períodos típicos relacionados con la precesión (21.000 años), la obliquidad (41.000 años) y la excentricidad (100.000 a 400.000 años). En numerosas sucesiones continentales del Mediterráneo que han sido estudiadas se presentan diferencias en las expresiones de precesión y excentricidad. Los autores presentaron los resultados del estudio de una sección lacustre del Plioceno tardío en Lupoia al sureste de Rumania. Cuando se compara la expresión cíclica del lignito y los detritos en la cuenca con el equivalente en tiempo de lignito y carbonatos de la cuenca de Ptolemais al norte de Grecia, la cuenca de detritos y lignitos del Pleistoceno de la cuenca de Megalópolis al sur de Grecia y la cuenca de carbonatos y arcillas de Orera al norte de España, se encuentra:

*En las cuencas con carbonatos domina la precesión.

*En las cuencas detríticas domina la expresión de excentricidad en sus ciclos litológicos.

Esto podría ser explicado por una respuesta mas lineal a las fuerzas de insolación en los carbonatos que en los detritos. Otra explicación podría ser la baja amplitud de 100.000 años de excentricidad en el tiempo en que las secciones carbonáticas fueron depositadas

Actualmente, para muchos científicos, los mecanismos con los cuales la excentricidad de la órbita de la tierra puede afectar el clima de una manera directa e importante, no esta bien entendido. Evidencia reciente, publicada en el año 2000 indica que el dióxido de carbono atmosférico podría jugar un papel principal en amplificar los efectos orbitales. Muchos investigadores aún tienen dudas en la asociación entre el ciclo de clima de 100.000 años y las variaciones orbitales.

Como la Tierra, Marte sufre los ciclos de Milankovitch que causan el cambio en la inclinación del eje(oblicuidad) y la excentricidad de la órbita en largos períodos de tiempo. Esto tiene un impacto a largo plazo en su clima. La variación de la inclinación del eje es mucho más largo en Marte que en la Tierra, debido a la ausencia en Marte del efecto estabilizador de la Luna. Marte tiene un ciclo de oblicuidad de 124000 años, comparado con 41000 años para la Tierra.