

LA ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA DE MARTE

Antonio Molina Jurado,
Miguel Ángel de Pablo Hernández
Departamento de Geología. Edificio de Ciencias
Universidad de Alcalá
28871, Alcalá de Henares, Madrid
a.molinaj@uah.es
miguelangel.depablo@uah.es

Palabras clave: Atmósfera, Marte, reflexión, temperatura, base de datos.

Keywords: Atmosphere, Mars, reflex, temperature, database.

Resumen

El estudio comparado de las atmósferas de la Tierra y otros planetas, además de resultar atractivo al alumno de enseñanzas secundarias o de los primeros cursos de grado, le permite reflexionar sobre el funcionamiento y la estructura de la atmósfera. Para ello se propone una actividad basada en el uso de la Base de Datos Climática de Marte (disponible *on line*: www-mars.lmd.jussieu.fr) y una simple plantilla de *Excel*, desarrollada ex-profeso por los autores de este trabajo. Con estos elementos se plantea una actividad mediante la cual el alumno reflexione sobre la atmósfera de la Tierra y de Marte, a través de la observación y el debate.

Abstract

The comparative study between Earth's and Mars' atmospheres is an attractive alternative for midlevel students to learn about how it is atmospheres structure and processes. For this activity it is used the Mars Climate Database (available *on line*: www-mars.lmd.jussieu.fr) and a simple excel spreadsheet, which we have been developed. The activity we propose here using these elements, makes the student think through observation and discussion.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. JUSTIFICACIÓN

Los currículos de algunas asignaturas de Educación Secundaria, así como en niveles universitarios de estudios como Geografía, Geología o Física, contemplan el estudio de la atmósfera, su estratificación y composición, así como su relación con las características orbitales de la Tierra. Sin embargo, pocas veces se le ofrece al alumno la posibilidad de reflexionar sobre las consecuencias de una modificación en los principales parámetros de la misma: ¿qué pasaría si la densidad atmosférica fuera mucho menor?, ¿y si la órbita alrededor del Sol fuera mucho más excéntrica?, ¿cómo se estratificaría la atmosfera con diferentes

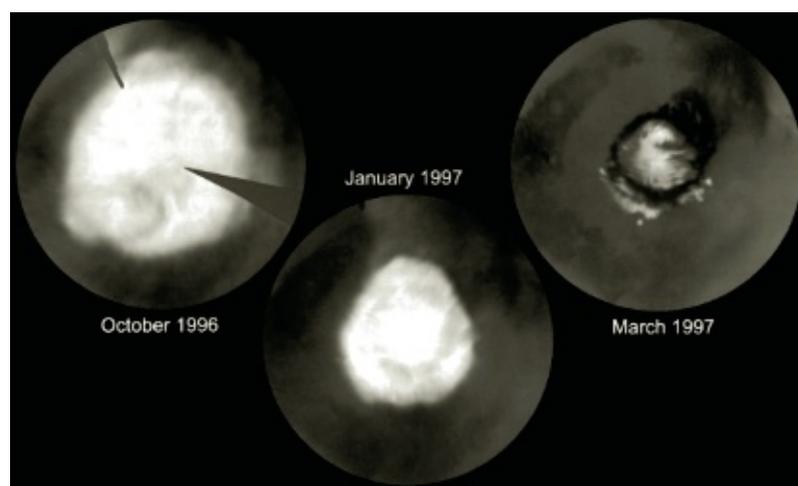
condiciones, y cómo afectaría eso a la vida y la dinámica de nuestro planeta? Los expertos aseguran que, pese a sus diferencias actuales, en sus inicios la Tierra y Marte no eran tan diferentes (ej., BARLOW, 2008), a pesar de las desigualdades tan evidentes que se encuentran en la actualidad. El objetivo de esta actividad es permitir profundizar en el conocimiento de la atmósfera, a través del estudio de las características de la atmósfera de Marte y su comparación con la atmósfera terrestre. Todo esto se lleva a cabo mediante el desarrollo de actividades sencillas basadas en conocimientos básicos de las Ciencias de la naturaleza.

1.2. LA ATMÓSFERA DE MARTE

Tanto las estaciones, como la existencia de casquetes helados en los polos, la capa de ozono, las nubes o los sistemas generales de corrientes, son consecuencia directa de la situación y el modo de desplazarse de la Tierra dentro del Sistema Solar (TARBUCK y LUTGENS, 1999). Es bastante intuitivo que un planeta tan cercano al Sol como Mercurio será mucho más cálido que el nuestro, y sus años serán más cortos. Venus, que tarda más en realizar una vuelta alrededor de sí mismo que alrededor del Sol, y que por tanto tiene un día más largo que su año, exhibe grandes diferencias de temperatura en su superficie. Sin embargo, Marte es un planeta con unas características mucho más similares a las del nuestro, aunque esas pequeñas diferencias marquen desigualdades más que evidentes entre ambos cuerpos planetarios (ej., CARR, 2006; BARLOW, 2008). Además, los expertos aseguran que en sus inicios ambos planetas no eran tan diferentes, y que hace varios millones de años, Marte fue muy similar a la Tierra (ej., FORGET *et al.*, 2006). Por tanto, la comparación entre ambos planetas obliga a razonar sobre aspectos básicos de la naturaleza de la Tierra, y a poner en juego una gran variedad de conocimientos.

La atmósfera de Marte tiene un grosor y densidad mucho menores que las de la Tierra. La presión superficial media en Marte es una centésima parte de la de la Tierra (unas 0,007 atm). Además, se producen importantes variaciones en la presión superficial, tanto estacionales como debidas al relieve, que en Marte es especialmente acusado. Las principales variaciones de presión se deben a la sublimación del hielo de los polos, que ponen en la atmósfera grandes cantidades de CO_2 y agua (FORGET *et al.*, 2006).

La atmósfera de Marte se compone esencialmente de CO_2 , pequeñas cantidades de nitrógeno y argón y otros elementos traza. También incluye una capa de ozono de escasa entidad, unas 1 000 veces menor que en la Tierra. Por ello no bloquea los rayos ultravioleta (UV) y es incapaz de retener grandes cantidades de radiación, como hace la Tierra.



Cambios estacionales en la capa de hielo del polo norte de Marte, debido a la sublimación que se produce de forma anual. Las imágenes se han realizado mediante mosaicos de imágenes tomadas por el telescopio espacial Hubble (Hubble Space Telescope, HST) entre octubre de 1996 y marzo de 1997 (Fuente: NASA Images).

Por otro lado, Marte es un planeta frío. La temperatura media superficial es de unos $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la Tierra se podría establecer un valor medio de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cabe destacar que de no producirse el sistema de corrientes, la temperatura media sería de unos $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que haría inviable la vida en nuestro planeta. En Marte se producen importantes diferencias de temperaturas estacionales y latitudinales, y a lo largo del día. Mientras que en los polos, durante el invierno, se alcanzan temperaturas de hasta $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante el día en latitudes medias se pueden alcanzar hasta los $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (KIEFFER *et al.*, 1977). Además, durante las tardes de verano del hemisferio sur se pueden encontrar temperaturas superficiales de alrededor de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero al caer la noche se pueden alcanzar los $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un mismo punto (FORGET *et al.*, 2006).

Como es de suponer, por las características anunciadas anteriormente, la estratificación de la atmósfera marciana es también diferente a la terrestre. La atmósfera de Marte puede dividirse en tres partes (superior, media e inferior). En la parte inferior la temperatura disminuye con la altura (al igual que en la troposfera terrestre). Esta capa alcanza los 45 km de altura. En la parte media de la atmósfera, la tendencia es similar, sin producirse la inversión térmica que se da en la estratosfera terrestre. Esto se debe a la baja cantidad de ozono enunciada anteriormente. Al igual que en la mesosfera terrestre, el gradiente negativo en esta zona se debe a la absorción de energía en el infrarrojo cercano y la emisión de radiación por parte del CO_2 . Ya en la parte superior, a partir de los 110 km de altura, el gradiente se invierte: aumenta la temperatura con la altitud, como en la termosfera de la Tierra. Esto se debe también a que el efecto de la absorción de la radiación UV aumenta con la altura (CARR, 2006).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. BASE DE DATOS CLIMÁTICA

Para el desarrollo de esta actividad se cuenta con la *Mars Climate Database* (MCD; FORGET *et al.*, 1999), o Base de Datos Climática de Marte, que se encuentra disponible en Internet a través de una aplicación *on line* (www-mars.lmd.jussieu.fr). La MCD es un modelo ampliamente validado de la atmósfera de Marte, desarrollado por un equipo francés asociado a la Agencia Espacial Europea (*European Space Agency*, ESA). A partir de esta aplicación (*Figura 1*) se pueden obtener los principales parámetros atmosféricos (densidad, presión, temperatura), así como otros parámetros más complejos en todas sus componentes, para cualquier hora y mes. Esta información se puede obtener tanto en formato de tabla como de gráfica. En la aplicación (*Figura 1*) se dispone de un menú (a la izquierda de la pantalla) donde se muestran los distintos pasos que deberemos seguir para obtener el dato final. En primer lugar se elegirá la base de datos (*Dataset*), para lo que se elegirán un escenario medio de polvo y flujo solar (*Martian Year 24 dust and average solar flux scenario*), el mes que nos interese, la coordenada vertical y marcar que se desean obtener valores medios. A continuación, se debe seleccionar la variable que se desea estudiar. Una vez realizados los pasos anteriores, la página se muestra similar a la *Figura 1*, pudiendo seleccionar las componentes (*select view*), el tipo de salida (*select output*, entre imágenes, tablas, documentos de texto, etc.), la región del planeta o unas coordenadas concretas, y, por último, las horas y la altitud en el caso de parámetros atmosféricos. En el ejercicio aquí planteado se han obtenido datos para las coordenadas correspondientes a Nili Fossae ($25\text{ }^{\circ}\text{N}$; $75\text{ }^{\circ}\text{E}$), por tener una localización intermedia y un comportamiento conocido por los autores de este trabajo. Finalmente, se obtiene la salida solicitada en una nueva ventana (*output*). De tratarse de una imagen, los alumnos podrán guardarla o incluirla en documento correspondiente a la memoria de la práctica. Para introducir los datos en la hoja *Excel*, estos se pueden extraer en múltiples formatos. Lo más sencillo es obtenerlo como «inspección rápida» (*Quick inspection*) y copiar y pegar en la plantilla directamente, sin necesidad de abrir archivos ni realizar conversiones.

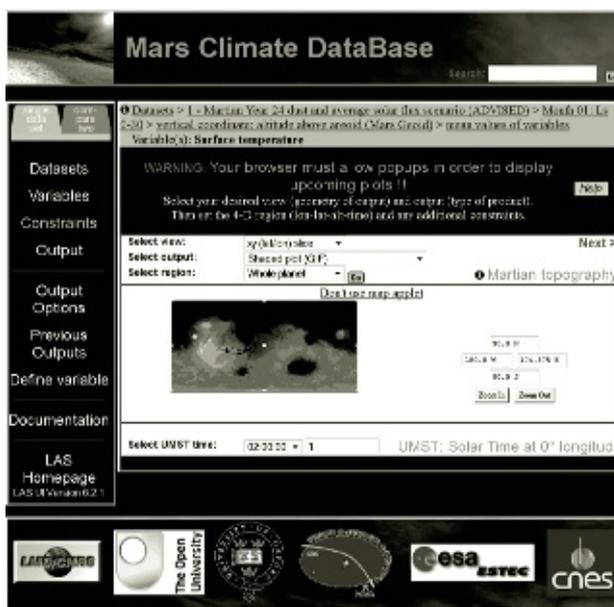


Figura 1. Captura de la página web de la Base de Datos Climática de Marte (www-mars.lmd.jussieu.fr), en la pantalla de elección de las condiciones de contorno (*constraints*).

2.2. PARTES DE LA ACTIVIDAD

Previa explicación de los principales rasgos de Marte y de ofrecer un guión con la información básica de la actividad, se pondrán a disposición del alumno unas plantillas de *Excel*, que deberán ser completadas por cada alumno o en grupos con la información extraída de la Base de Datos Climática de Marte. Estos documentos de *Excel* se encuentran especialmente diseñados para que su uso resulte lo más sencillo posible (ya que lo que se busca con esta actividad es el razonamiento científico del alumno, no la capacitación técnica). La plantilla, así como otra información adicional, puede descargarse desde la siguiente dirección:

www2.uah.es/planetlab/divulgacion/Atm_Marte.zip

encontrándose en este fichero comprimido, tanto la hoja de cálculo como instrucciones adicionales, que podrán ser actualizadas periódicamente. En cualquier caso, tanto a través de la página web de la Base de Datos Climática como gracias a estas hojas de cálculo, se obtendrán perfiles altitudinales, diagramas temporales y mapas de isolíneas, que reflejen los cambios espaciales y temporales de los principales parámetros atmosféricos en Marte. Mediante los mismos, se incitará al grupo a discutir sobre la dinámica de la atmósfera de Marte y la naturaleza de sus principales parámetros, así como a compararla con los datos medios dados para la atmósfera de la Tierra. Queda a criterio del profesor recortar la actividad, restringiéndola al estudio de algunos, u ofreciendo al alumno algunos de los datos y que así solo tenga que rellenar parcialmente las tablas. La actividad, por tanto, podría dividirse en una serie de pasos, a criterio del profesor, proponiendo aquí los siguientes:

2.2.1. ACERCAMIENTO

Se invita al alumno a realizar un primer encuentro con la página, obteniendo parámetros medios de temperatura, presión y humedad; valores singulares que sean representativos de todo el planeta. Se realiza entonces la primera comparativa de datos con la Tierra. Los resultados de los siguientes apartados se irán resumiendo la primera hoja de cálculo del fichero *Excel* facilitado, pudiéndose discutir de forma posterior. También se pedirán dos salidas gráficas, un par de diagramas Latitud-Longitud (es decir, mapas

de isolíneas) para la cubierta de hielo de CO₂, que comprendan diferentes estaciones (Figura 2). Entonces, se hablará sobre la estacionalidad de los polos (Apartado 1.2.).

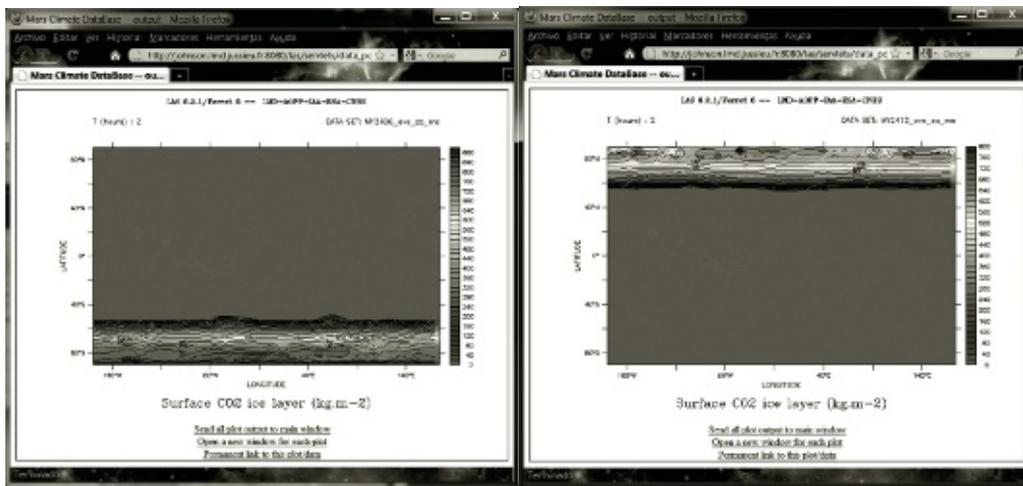


Figura 2. Dos capturas obtenidas de la web de la Base de Datos Climática de Marte (www-mars.lmd.jussieu.fr), con los valores de cobertura de hielo de CO₂, en los meses 6 (izda.) y 12 (dcha.).

2.2.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL

La primera parte de la actividad se centra en el estudio de un parámetro sencillo, como la temperatura superficial. Se estudia cómo varía a lo largo del día (Temperatura-Horas, en punto dado, Figura 3) y del año (Temperatura-Mes), haciendo hincapié en el rango de los valores, y a su relación con las características

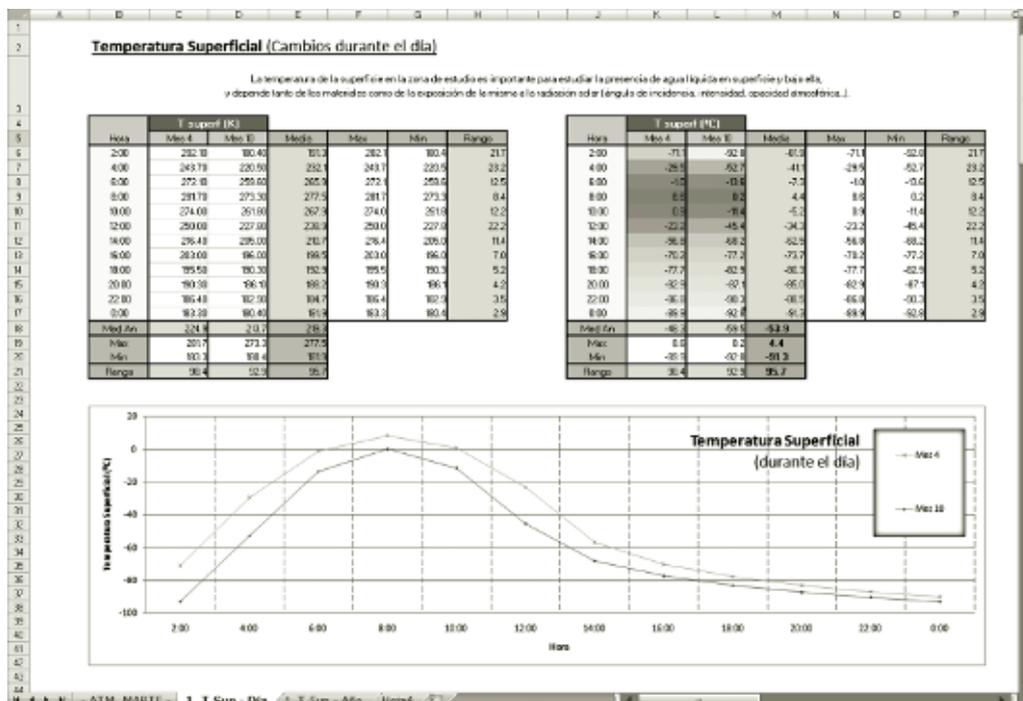


Figura 3. Hoja del formulario Excel desarrollado para esta actividad, correspondiente a los cambios en la temperatura superficial durante el día. Solo se permite la introducción de datos en ciertas casillas, y una vez hecho, estos se transforman a otras unidades y se realizan cálculos estadísticos, así como una gráfica que permite su visualización y análisis.

orbitales de Marte. La hoja de cálculo se encuentra diseñada para que solo se puedan modificar ciertas celdas, y que cuando esto se produzca se calculen estadísticas y se dibuje la representación gráfica de los datos. Además de estos diagramas Temperatura-Tiempo, se pedirán gráficas (Latitud-Longitud) para visualizar la distribución espacial de la temperatura y la influencia de la topografía. El relieve general del planeta se puede consultar en la propia página web, pulsando en «Martian topography» (Figura 1).

2.2.3. TEMPERATURA ATMOSFÉRICA

A continuación, se seguirá el mismo procedimiento anterior, pero para la temperatura atmosférica. Al obtenerla, se tomará la menor altura que permite el modelo (5,53 m). Se compararán estos valores con los anteriores y se discutirá el efecto atenuador de la atmósfera, a pesar de su escasa entidad.

2.2.4. PRESIÓN ATMOSFÉRICA

En este caso se hará algo semejante a lo anterior pero respecto a la presión atmosférica. Se relaciona las variaciones de presión con los cambios de temperatura y se retoma la estacionalidad de los polos, para introducirlos en el debate. Se recomienda dar especial importancia la relación densidad-presión-temperatura de la atmósfera.

2.2.5. PERFIL DE TEMPERATURA ATMOSFÉRICA

Por último se pedirá realizar un perfil de variación de temperatura con la altura, que se generará en una hoja Excel que ya contiene un perfil tipo de la Tierra. Una vez obtenido, se discuten y comparan las diferentes zonas, sus implicaciones, y tratar de nuevo la importancia de la capa de ozono.

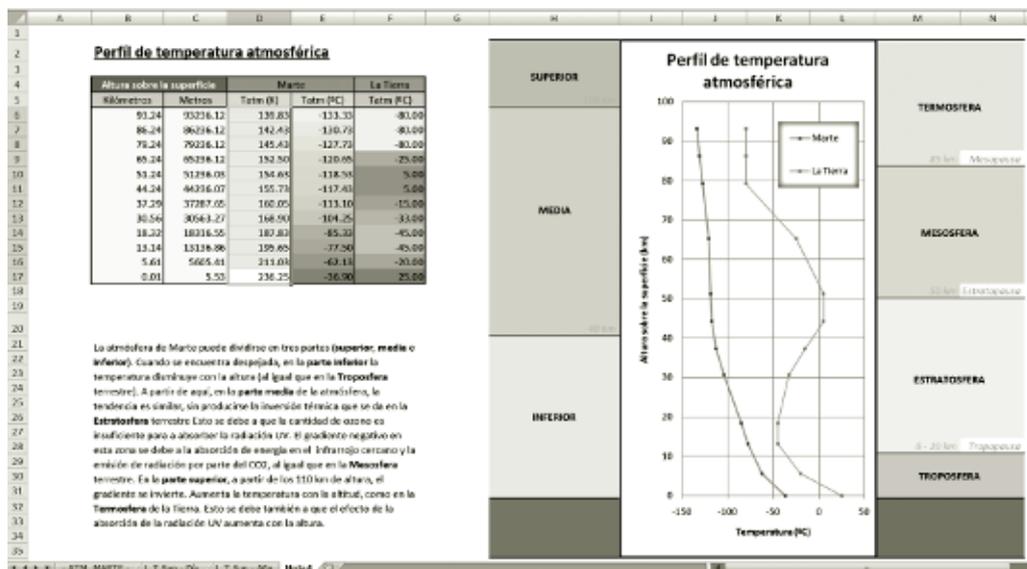


Figura 4. Hoja del formulario Excel desarrollado para esta actividad, correspondiente a la estructura de la temperatura con la altura. Los valores para la Tierra vienen integrados, y permite que se puedan comparar ambos valores fácilmente, estando la teoría integrada en la propia hoja.

3. CONCLUSIÓN

Mediante el manejo del alumno de una herramienta sencilla y de libre acceso, como es la Base de Datos Climática de Marte, que se ha obtenido a partir de los últimos conocimientos científicos, se pretende que el alumno obtenga unos datos unos datos muy semejantes a los reales y aprenda a interpretarlos, razonando y

asentando conocimientos sobre física, meteorología y clima. El hecho de tratar con la atmósfera de otro planeta sirve de excusa, que genera una motivación extra y permite captar en mayor grado el interés de los alumnos de cualquier edad. De esta forma puede transmitirse a los alumnos algunos conocimientos básicos sobre una atmósfera de otro planeta, como es la de Marte, y a su vez asentar y ampliar los conocimientos que se tengan sobre la propia atmósfera de la Tierra, sensibilizándoles sobre la importancia de esta capa gaseosa y la influencia de su estructura y naturaleza en que la Tierra sea un planeta habitable.

BIBLIOGRAFÍA

- BARLOW, N. (2008). Mars, an introduction to its interior, surface and atmosphere. *Nueva York, Cambridge University Press*.
- CARR, M. H. (2006). The Surface of Mars. Cambridge. *Nueva York, University Press*.
- FORGET, F. et al., (1999). Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80 km. *Journal of Geophysical Research*, 104 (24) 155-176.
- FORGET, F., COSTARD, F. y LOGNONNÉ, P. (2006). Planet Mars, Story of another world. *Berlín, Springer-Praxis*.
- KIEFFER, H. H., MARTIN, T. Z, PETERFREUND, A. R. y JAKOSKY, B. M. (1977). Thermal and albedo mapping of Mars during the Viking primary mission. *Journal of Geophysical Research*, 82, p. 4249-4291.
- TARBUCK, E. J. y LUTGENS, F. K. (1999). Ciencias de la Tierra. *Madrid, Prentice Hall*.