

Las variaciones diarias de temperatura en Marte

1. Introducción & Pb

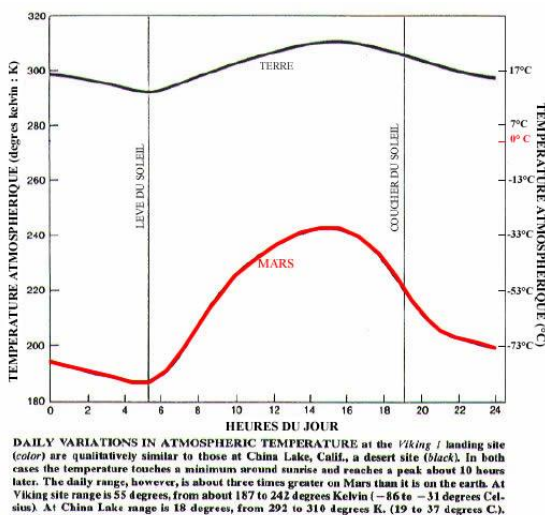
En Marte, se pueden encontrar en la superficie condiciones de verano: 20 °C, la brisa de los vientos alisios ... Pero la noche siguiente, la temperatura desciende decenas de grados y las condiciones de congelación, hasta -100 °C, reinarán hasta la mañana siguiente. De hecho, el suelo marciano, seco y granuloso, puede almacenar poco calor. Su inercia térmica es muy baja en comparación con la de la Tierra y sus océanos. Su atmósfera con poca masa sufre variaciones mucho más marcadas.

En la Tierra, las variaciones diarias son menos marcadas que en Marte.

Tabla de temperatura día-noche de los planetas telúricos:

Planeta	Día T (°C)	Noche T (°C)
Mercurio	430	-170
Venus	460	450
Tierra	15	5
Marte	-23	-93

Comparación entre los cambios diarios de la temperatura atmosférica en la localización del Viking 1 y en un sitio desértico terrestre (China Lake, California):



En ambos casos la temperatura es mínima al amanecer.

Las amplitudes térmicas diarias son 3 veces mayores en Marte que en la Tierra.

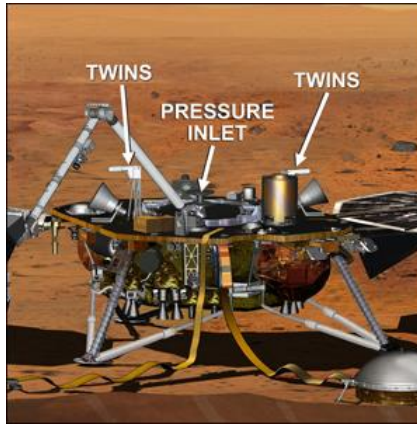
Fuente: Derechos reservados - © 1979
Según de Ryan y Henry, JGR

La nave espacial InSight está equipada con una estación meteorológica completa (APSS, Auxiliary Payload Sensor Suite).

Los diversos sensores de esta estación (temperatura, veleta, anemómetro, barómetro y magnetómetro) desempeñarán un papel crucial no solo en la interpretación de los datos proporcionados por el sismómetro SEIS, sino también en la mejora del conocimiento de la meteorología y del clima marciano actual. Este conocimiento nos ayudará también a comprender mejor las perturbaciones climáticas en el planeta Tierra.

La toma de aire del sensor de presión ultrasensible de la estación meteorológica APSS en la cubierta del lander InSight (© NASA/JPL-Caltech/IPGP/Philippe Labrot).

Este sensor de presión es ultrasensible, es decir, es capaz de reaccionar a las variaciones de presión de alrededor de diez microPascal (o 10^{-7} mbars). Está montado la cubierta del lander, bajo el escudo para el viento y térmico WTS.



NASA/JPL-Caltech -
http://photojournal.jpl.nasa.gov/figures/PIA17358_fig1.jpg

Los sensores TWINS (Temperature and Wind Sensors for InSight) son anemómetros térmicos. Hay dos de ellos en cubierta. Registran un máximo de 1 medida por segundo.

Dos veces por segundo, registran la temperatura del aire, la velocidad y dirección del viento durante toda la duración de la misión, un año marciano o dos años terrestres.

Los datos que los científicos recopilan regularmente de esta estación nos permitirán comprender mejor los fenómenos relacionados con la meteorología de Marte.

Pb: ¿Cómo puede el análisis de datos meteorológicos ayudarnos a mejorar nuestro conocimiento de las perturbaciones climáticas en Marte y la Tierra?

2. Edad de los estudiantes de 15 a 17 años

3. Objetivos

Mostrar a partir de un procesamiento de datos con Python la información que se puede extraer de perturbaciones climáticas como el ciclo diario, el paso de un torbellino...

4. Disciplinas primarias

Matemáticas – Física – Programación Python

5. Disciplinas adicionales

Ciencias de la Tierra

6. Tiempo requerido: 3H

7. Términos clave.

Gradiente geotérmico, flujo de calor, disipación de calor.

8. Materiales

- Ordenador con software
- Excel – Python

9. Fundamento

La inercia térmica del suelo, el período de rotación y la atmósfera son los principales parámetros que controlan el contraste de temperatura entre el día y la noche de un planeta.

La **media móvil** es un tipo de promedio estadístico utilizado para analizar series ordenadas de datos, a menudo series temporales, mediante la eliminación de fluctuaciones transitorias para enfatizar tendencias a largo plazo. Se dice que este promedio es *móvil* porque se recalcula continuamente, utilizando en cada cálculo un subconjunto de elementos en el que un nuevo elemento reemplaza al anterior o se añade al subconjunto.

Este tipo de promedio se utiliza generalmente como un método de alisado de valores.

10. Procedimientos

- En la Tierra:

Tiene a su disposición en un formato "csv" los datos correspondientes al 9/7/2019 (ver tabla de datos csv) obtenidos en la estación meteorológica "WillyWeather" situada en China Lake Acres (entorno similar a un entorno marciano).

1. **Represente los gráficos de temperatura, presión y velocidad del viento que tiene disponibles utilizando el lenguaje Python.**

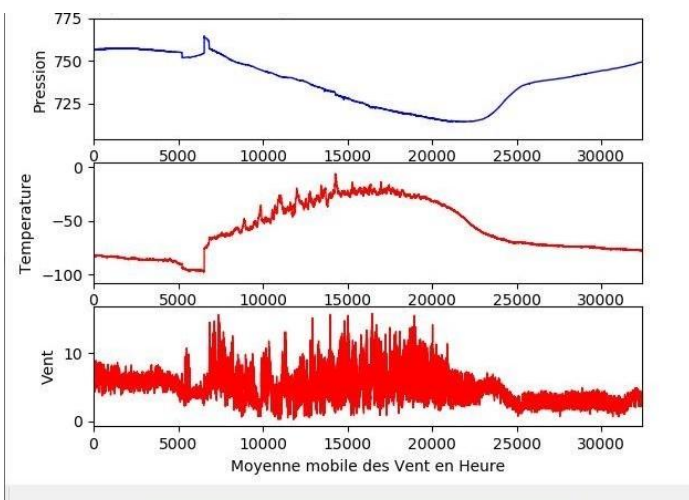
- En Marte:

Tiene a su disposición en un formato "csv" los datos meteorológicos relevantes para el día 15 de la misión Insight (ver tabla de datos csv).

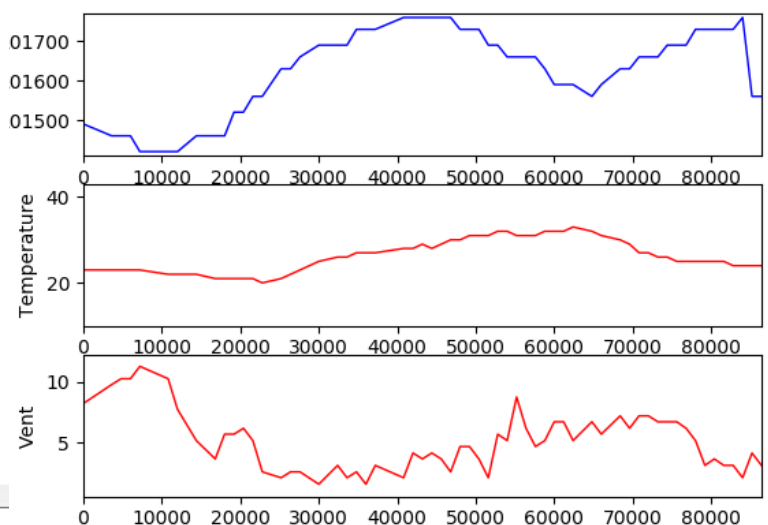
2. **Represente los gráficos de los parámetros que tiene disponibles utilizando el lenguaje Python.**

Resultados esperados:

En Marte



En la Tierra



Tiempo: segundos - **Temperatura:** K - **Velocidad del viento:** m/s - **Presión:** Pa

3. Compare los resultados obtenidos en la Tierra y Marte e intérpretelos.

Hay variaciones muy grandes en la temperatura en Marte, que van desde -83 grados Celsius (por la noche) a 13 grados Celsius (durante el día) que corresponden al ciclo diurno en Marte. Por otro lado, en la Tierra, las variaciones de temperatura son menos significativas entre el día y la noche (de 23 a 32 grados centígrados). Lo mismo ocurre con la presión.

Para llevar a cabo un estudio más detallado de estos datos, los científicos necesitan tener mediciones que no estén "contaminadas" por valores irregulares que refuercen estos fenómenos excepcionales como los torbellinos de polvo.

Por lo tanto, utilizaremos promedios estadísticos específicos para suavizar los valores con el fin de excluir los llamados *valores aberrantes* (distantes de otras observaciones realizadas sobre el mismo fenómeno). Estos promedios estadísticos son las "**medias móviles o deslizantes**".

Medias móviles simples en 3 valores, para una serie de 9 mediciones.

Mesures	2	3	5	8	8	7	8	5	2
Moyenne glissante	néant	$(2 + 3 + 5)/3$ 3,3333	$(3 + 5 + 8)/3$ 5,3333	$(5 + 8 + 8)/3$ 7	$(8 + 8 + 7)/3$ 7,6666	$(8 + 7 + 8)/3$ 7,6666	$(7 + 8 + 5)/3$ 6,6666	$(8 + 5 + 2)/3$ 5	néant

Fuente: https://fr.wikipedia.org/wiki/Moyenne_mobile

En nuestro caso, para los valores relacionados con el campo atmosférico, utilizaremos un "promedio deslizante durante 6 horas, 8 horas y 12 horas" de Temperaturas y Presiones, es decir, calcularemos los promedios de 0:00 a 8:00, de 1:00 a 9:00, de 2:00 a 10:00, etc..

Como nuestras lecturas tienen lugar durante 3 días, podremos medir el valor máximo y mínimo de la media deslizante para hacernos una idea de la amplitud térmica de un día marciano, etc. . . .

El interés de un promedio deslizante es suavizar cualquier desviación accidental (torbellino de polvo, ...).

Cómo representar los gráficos de promedios deslizantes:

- Listas y operaciones en las listas
- Visualización de las curvas

1) a) Escriba la **función promedio** (`List_of_numbers`) para calcular el promedio de una lista de números.

Bonus) Escriba la **función de media modificada** para calcular el promedio sin usar la función `Sum` de Python.

2) Escriba la **función List-extract** (`p, n, List-of-numbers`) que permite extraer una lista de tamaño determinada `n` comenzando en un rango dado `p`.

3) a) Escriba la **función Cálculo-Media-Móvil** (`n, List`) para obtener una lista de medias móviles en un intervalo de `n` valores de una lista dada

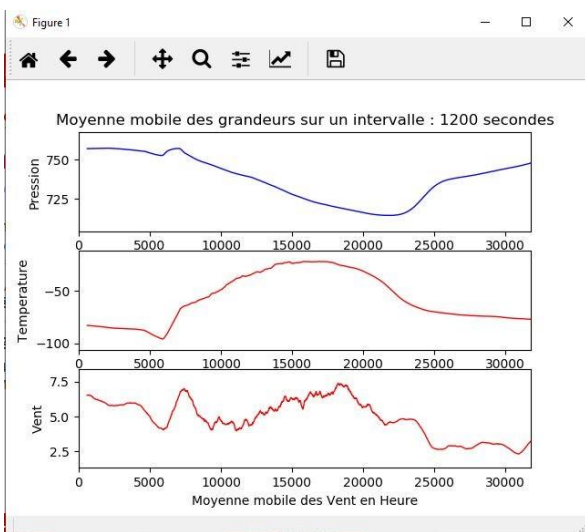
- b) Listar medias móviles en un rango de 8 valores en los datos registrados:
- i) tiempos
 - ii) temperaturas
 - iii) presiones
 - iv) vientos

4) a) Escriba la función **Media-Móvil (n, List1, List2, List3, List4)** para mostrar los valores medios de la temperatura, la presión y la velocidad del viento, basados en 8 valores de tiempo. (Se tendrán en cuenta la correspondencias: Lista1 = Tiempo Lista 2 = Temperatura Lista 3 = Presión Lista 4 = Viento)

b) Cambie el código de la función **least_square_regression (n)** para evaluar la posible correlación entre los valores medio de Temperatura y Presión.

No se pide el código de visualización del gráfico: se proporcionará en el archivo del alumno

Gráfico obtenido con un promedio deslizando de 20' de los datos de Marte:

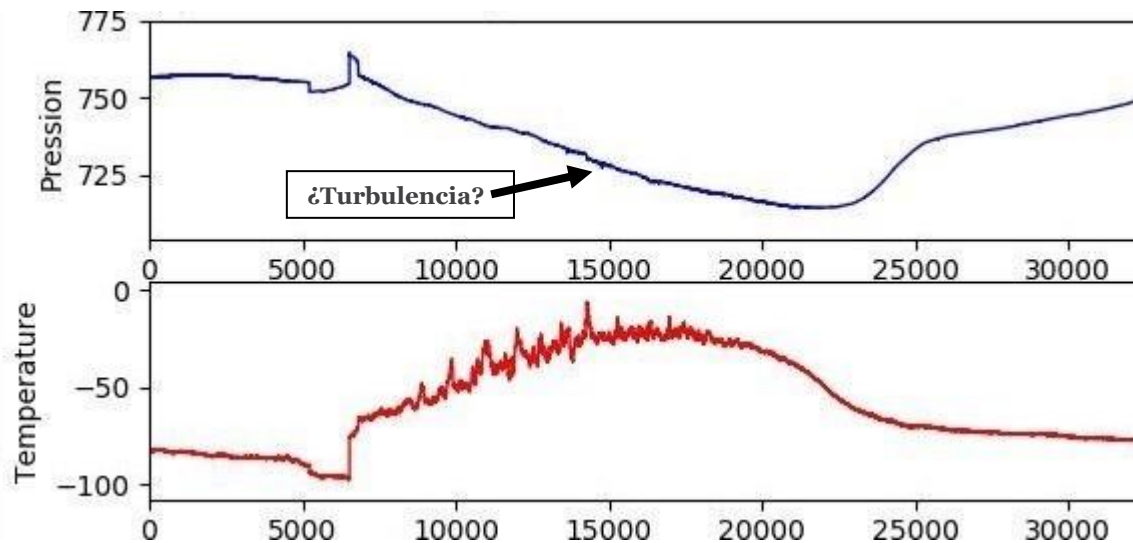


Vemos en el gráfico de presiones en Marte, ondas a gran escala llamadas "ondas de marea térmica".

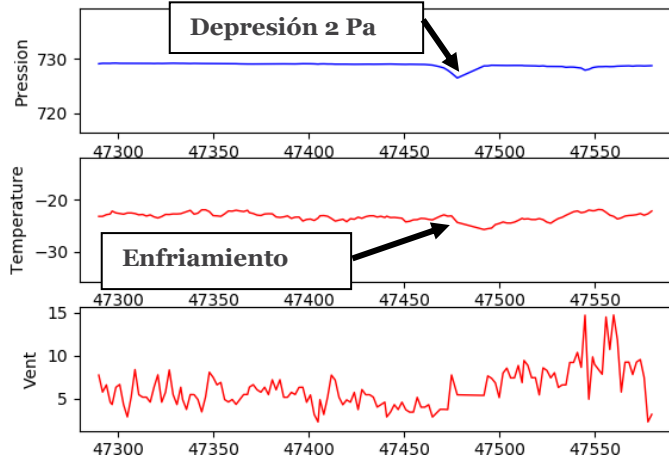
En efecto, las ondas de marea térmica son ondas a escala planetaria generadas por variaciones en la insolación del suelo debido al ciclo día-noche. Estas ondas aparecen en el campo de las componentes del viento y evolucionan con el tiempo solar local.

Se observa un ciclo diurno muy marcado y fuertes vientos hasta el amanecer debido a la disminución de temperatura cerca del suelo durante la noche.

El gráfico de datos de Marte (ver más abajo) tiene dos perturbaciones que podrían ser vórtices de diablo de polvo local, pero haría falta un muestreo más preciso para poder asegurarlo:



Muestreo de 250 segundos basado en los datos de Marte sobre polvo observado en gráficos anteriores:

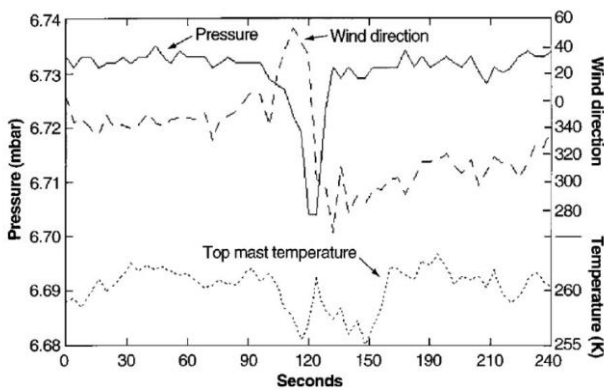


Las ondas de marea térmica en la atmósfera de Marte tienen una amplitud mucho mayor que en la Tierra porque el forzamiento térmico en Marte es muy fuerte debido a la absorción en el infrarrojo cercano del CO₂ atmosférico, a la absorción de la radiación infrarroja emitida por la superficie y al hecho de que la atmósfera de Marte es más tenue.

Por lo tanto, el efecto de las mareas atmosféricas sobre la circulación zonal y meridiana media es muy importante en la atmósfera marciana.

Comparación de los resultados obtenidos en el sitio web de Pathfinder que caracterizan el polvo en Marte:

Mediciones de presión (hPa), viento (m/s) y temperatura (K) en el lugar del Pathfinder:



El muestreo temporal de los datos es de cada 4 s. El paso de un torbellino de polvo durante un equilibrio ciclostrófico sobre la sonda produce una depresión de 2.5 Pa y un enfriamiento de alrededor de 5 K. La rotación característica del viento también fue capturada por los anemómetros del Pathfinder, pero los problemas de calibración de estos sensores no permitieron medir la fluctuación de la amplitud del viento con suficiente precisión. Imagen de Schofield et al. [1997].

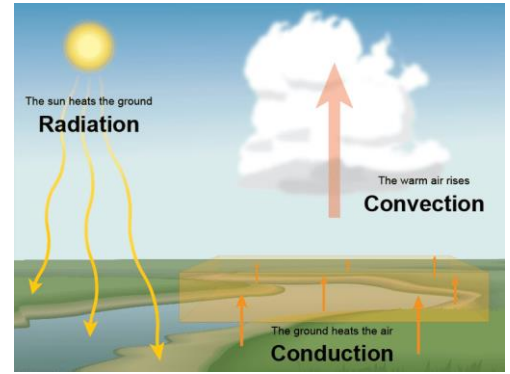
Fuente: Tesis del Dr. Aymeric Spiga «Dynamique méso-échelle de l'atmosphère martienne : développement d'un modèle météorologique et analyse des observations OMEG/Mars Express»

Modelización de los fenómenos físicos que conducen a la formación de un torbellino local:

En una región árida, el aire se calienta de manera diferente cerca de la superficie del suelo. Este calor se transmitirá verticalmente por radiación a una capa más fría de aire seco y, por lo tanto, sufrirá un empuje de Arquímedes hacia arriba y entrará en convección.

La llegada de un viento horizontal provocará una rotación del aire que capturará el polvo presente.

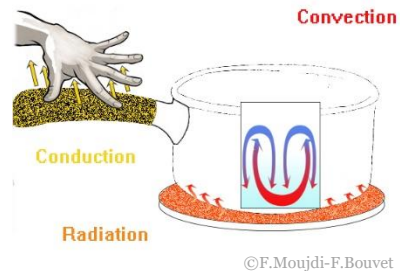
La altura y el diámetro del vórtice dependen de la inestabilidad y de la sequedad del aire.



Fuente: <https://www.thoughtco.com/what-is-convection-4041318>

Diseñe tres experimentos simples con el fin de modelar los tres modos de transferencia de calor: Convección - Conducción - Radiación. Solo se puede utilizar el material proporcionado.

<p>convection</p> <p>the movement caused within a fluid by the tendency of hotter and therefore less dense material to rise, and colder, denser material to sink under the influence of gravity, which consequently results in transfer of heat.</p>	<p>Conduction</p> <p>the process by which heat or electricity is directly transmitted through a substance when there is a difference of temperature or of electrical potential between adjoining regions, without movement of the material.</p>	<p>Radiation</p> <p>the emission of energy as electromagnetic waves or as moving subatomic particles, especially high-energy particles that cause ionization.</p>
---	--	--



11. Discusión de los resultados y conclusiones

La meteorología marciana es similar a la de la Tierra en muchos sentidos. En efecto, son frecuentes las tormentas, los tornados, el polvo...

Y sin embargo Marte difiere del planeta Tierra. En efecto, la atmósfera marciana es más delgada, el fenómeno de la oscilación diaria del viento, que no es muy importante en la Tierra, se ve reforzado por los grandes contrastes de temperatura entre el día y la noche.

El análisis de los datos meteorológicos nos ha permitido descubrir señales lentas a gran escala espacial (mareas térmicas) y señales rápidas a escala local (vórtices y turbulencia convectiva).

En efecto, las oscilaciones diurnas de la temperatura y el viento en superficie excitan indirectamente todas las demás capas de la atmósfera. Esto provoca la vibración de la capa atmosférica marciana o, más exactamente, propaga las ondas de frecuencia diaria (una oscilación por día) llamadas "ondas de marea

térmica". Estas oscilaciones diurnas interactuarán con otros vientos e influirán en la circulación atmosférica que será registrada inevitablemente por el sismómetro SEIS.

Una vez que los datos son recopilados continuamente, los meteorólogos responsables de esta misión tendrán que separar las mareas térmicas de los datos proporcionados por el sismómetro SEIS de InSight.

12. Explorar más (recursos adicionales para profesores)

- “La planète Mars” : Edition Belin – François Forget, François Costard – Philippe Lognonné
- Thèse de M. Aymeric Spiga « Dynamique méso-échelle de l’atmosphère martienne : développement d’un modèle météorologique et analyse des observations OMEG/Mars Express