

# Tema I

## Características de los planetas rocosos

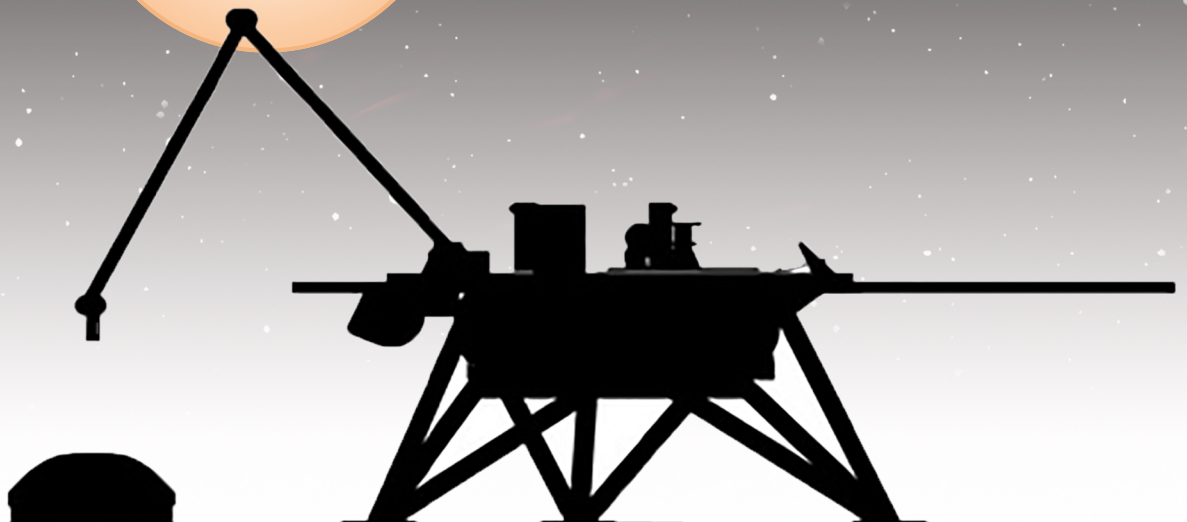
Medición del flujo de calor

Estudio de cómo se enfrían los planetas rocosos

Que tan grande es nuestro Sistema solar?

Medición del flujo de calor

Movimientos de convección en el manto



# Estudio de cómo se enfrían los planetas rocosos

## 1. Introducción y Problema

El calor interno de un planeta rocoso proviene primero de la energía acumulada durante la fase de acreción, luego de la formación del núcleo de hierro y finalmente de la radiactividad del uranio, el torio y el potasio presentes en el manto.

Cuando toda la energía de la fase de formación se ha convertido en calor, el planeta comienza a enfriarse.

**Pb:** ¿Cómo puede disiparse el calor de la fase de formación de un planeta rocoso?

## 2. Edad de los estudiantes 15-17

## 3. Objetivos

Mostrar cómo el planeta puede enfriarse disipando su calor interno hacia la superficie y a través de ella. Modelar experimentalmente y explotar matemáticamente los resultados.

## 4. Disciplinas principales

Matemáticas - Física - Ciencias de la Tierra.

## 5. Disciplinas Complementarias

Geografía - Informática

## 6. Tiempo requerido 2hrs

## 7. Palabras clave

Gradiente geotérmico - Flujo de calor - Disipación térmica.

## 8. Conocimientos previos

Uso de una hoja de cálculo de Excel – Python

## 9. Material

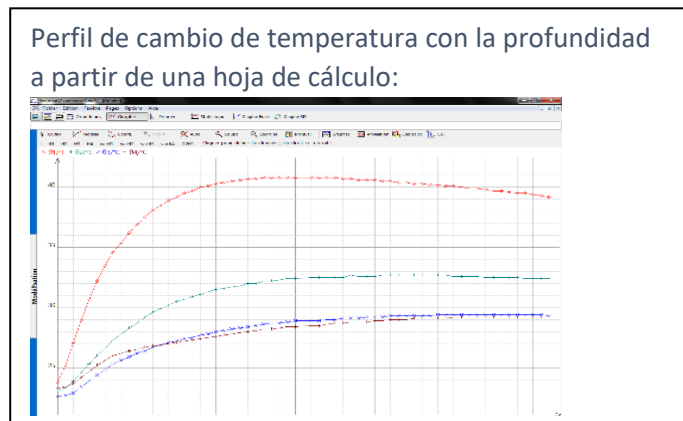
- Bola de petanca
- Recipiente con agua hirviendo
- Pelota de espuma vacía
- 4 sensores de temperatura
- Ordenador con software
- Excel

## 10. Procedimiento

### **- Modelado de la disipación interna de calor (flujo de calor):**

Una de las misiones de Insight es determinar la cantidad de calor que continúa escapando de la superficie (flujo térmico).

- Coloque 4 sondas de temperatura en la pelota de espuma y asegúrese de colocarlas a diferentes profundidades, es decir: 1 cm, 2 cm, 3 cm y 4 cm.
- Sumerja la bola de petanca en agua hirviendo y colóquela dentro de la pelota de espuma.
- Selle el globo de espuma firmemente (para limitar las pérdidas de calor).
- Registre las temperaturas que se muestran en la pantalla cada minuto durante una hora.



### **- Evaluación matemática de los datos medidos del flujo de calor**

Nos proponemos buscar si existe una relación una relación entre el tiempo  $t$  y la temperatura  $T$ :

Cuando la relación buscada es afín, es decir,  $T = a + bt$  se llama **regresión lineal**.

Pero incluso cuando se detecta este tipo de relación, los datos medidos generalmente no se ajustan exactamente a esa relación.

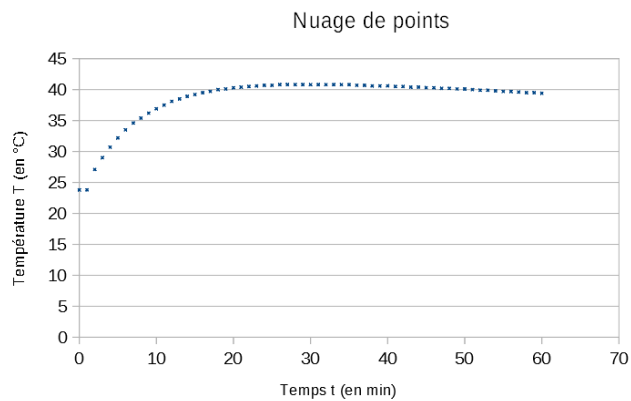
#### **Primer estudio: Uso de una hoja de cálculo para determinar una relación entre tiempo $t$ y temperatura $T$**

Trabajaremos con los datos de la sonda para una profundidad dada.

En este ejemplo la sonda térmica está a una profundidad de 5 cm.

1) Abra el archivo **Insight-Mars-Hp3.ods** o **Insight-Mars-Hp3.xlsx** que contiene los datos medidos.

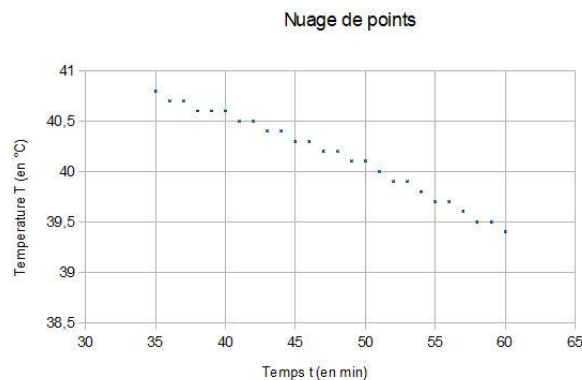
2) Copie los datos de tiempo  $t$  y temperatura  $T$  correspondientes en una hoja de cálculo, y representelos con una nube de puntos.



**La segunda parte de la curva en que observamos un enfriamiento (como es el (como en la Tierra y Marte) parece aproximarse a una línea recta. Estudiaremos cómo determinar esta línea recta y si nuestros datos se adaptan a ella.**

3) En este ejemplo, el estudio empieza en el momento  $t=35'$ . Represente los datos mediante la fórmula  $\{t_i, T_i, i = 35, \dots, 60\}$  de la hoja de cálculo.

	A	B	C
1	temps	Prof 5 cm	
2	En min	en °C	
3			
4	0	23,8	
5	1	23,8	
6	2	27,1	
7	3	29	
8	4	30,7	
9	5	32,2	
10	6	33,5	
11	7	34,6	
12	8	35,4	
13	9	36,2	
14	10	36,9	
15	11	37,5	
16	12	38,1	
17	13	38,5	
18	14	38,9	
19	15	39,2	
20	16	39,5	
21	17	39,7	
22	18	40	
23	19	40,1	
24	20	40,3	
25	21	40,4	
26	22	40,5	



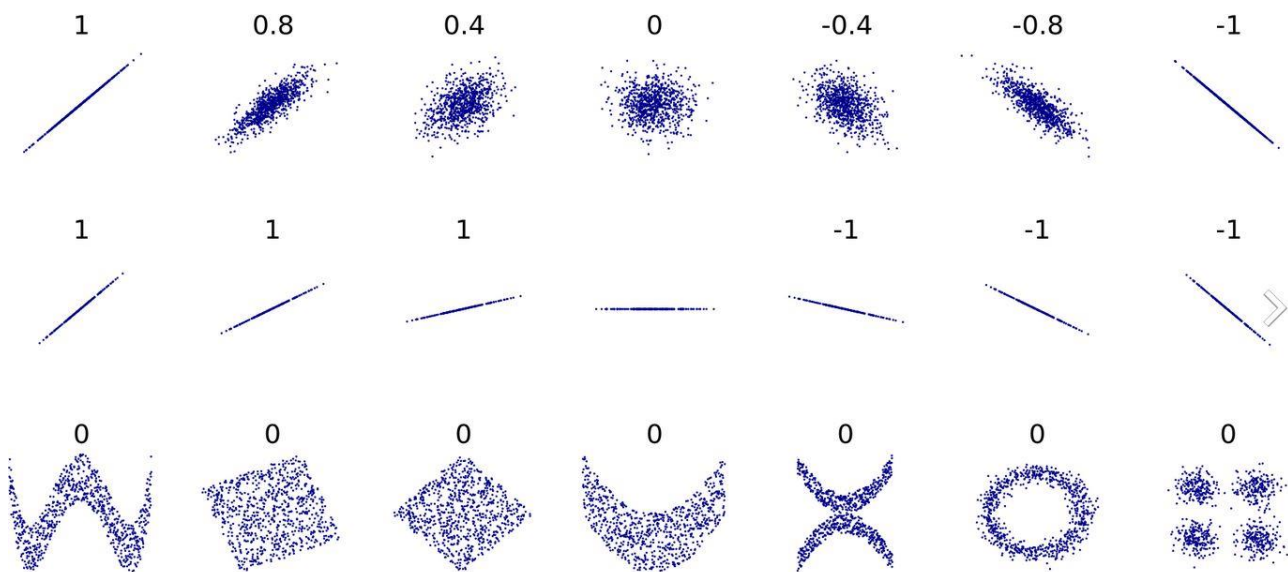
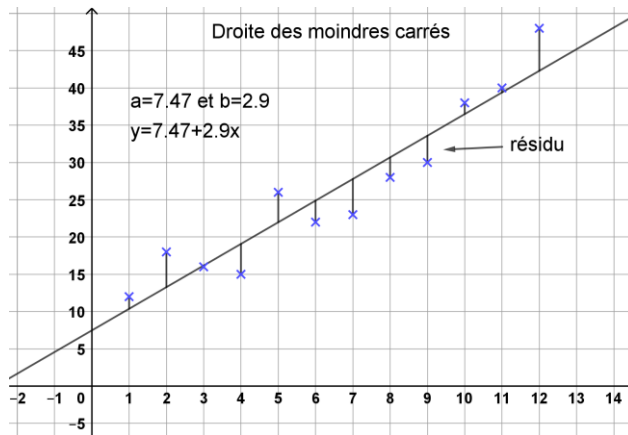
Buscar una relación refinada entre las variables  $t$  y  $T$  es como buscar la línea recta que se ajusta mejor a esta nube de puntos.

El método de mínimos cuadrados se usa para ajustar la nube de puntos a una recta de ecuación a  $y=a+bt$  con  $a$  y  $b$  que hagan que la suma de los cuadrados sea mínima:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (a + bt_i))^2$$

Esta recta, que suponemos única, se llama **recta de los cuadrados mínimos**.

La idea de este método es determinar una línea que minimice una medición total de las discrepancias entre los puntos de la nube y los puntos con la misma abscisa de la recta. Por lo tanto, cuanto más pequeña sea esta medida, más cercana estará la recta a todos los puntos de la nube, y mejor será el ajuste.



Fuente: [https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson\\_product-moment\\_correlation\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Pearson_product-moment_correlation_coefficient)

**El estudio de la minimización de esta discrepancia no es objeto de esta actividad.**

Se denomina coeficiente de correlación lineal al número real  $r$  definido como:  $r = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t \sigma_y}$

$$\text{con } \sigma_{t,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y}) \quad , \quad \sigma_t = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2\right)}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right)}$$

$\bar{t}$  e  $\bar{y}$  representan las medias de las  $t_i$  y las  $y_i$ ,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$  y  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$

Este coeficiente nos permitirá saber si el ajuste es relevante o no y dará información sobre la nube de puntos en función del valor de  $r$ :

Se usarán los siguientes criterios numéricos al utilizar  $r^2$ :

- si  $0,75 \leq r^2 \leq 1$  entonces existe una buena correlación lineal entre Y y t
- si  $0,25 \leq r^2 \leq 0,75$  entonces existe una correlación lineal débil entre Y y t
- si  $0 \leq r^2 \leq 0,25$  entonces existe una mala correlación lineal entre Y y t

4) Calcule el coeficiente r con los datos de temperatura a una profundidad de 5cm.

**(Atención: las coordenadas Y corresponden a los valores de las temperaturas T)**

Vamos a determinar la existencia de tal recta durante el enfriamiento, que en nuestro caso tardó entre 35 y 60 minutos.

Complete su hoja de cálculo para obtener r y  $r^2$ .

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1			$t_j - \bar{t}$	$T_j - \bar{T}$	$(t_j - \bar{t})^2$	$(T_j - \bar{T})^2$	$(t_j - \bar{t})(T_j - \bar{T})$	$\sigma(t, T)$	$\sigma(t)$	$\sigma(T)$	Coefficient de corrélation r	Valeur de $r^2$
2	Calcul de la moyenne $\bar{t}$ des temps t											
3												
4												
5	Calcul de la moyenne $\bar{T}$ des températures T											
6												

Si el ajuste es relevante, continúe:

5) Si el ajuste es relevante, la línea de regresión lineal  $y = a + bt$  se puede obtener calculando los números a y b con las fórmulas:

$$b = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t^2} \qquad a = \bar{y} - b\bar{t}$$

Calcule los números a y b para obtener la ecuación de la línea de regresión lineal que se ajusta a esta nube de puntos.

La existencia de esta relación entre el tiempo t y la temperatura T observada en cada momento refleja la existencia de una conductividad térmica específica de un medio, en este caso, la espuma del globo.

### **Ampliación:**

Ponga en común los resultados obtenidos por cada grupo responsable del estudio en una profundidad. De esta manera, pondremos en evidencia una relación entre los tiempos y el intercambio de calor entre dos sondas.

## **Segundo estudio: Utilización de Python para determinar una relación entre los tiempos $t$ y las temperaturas registradas $T$ .**

Trabajaremos con los datos de la sonda térmica situada a una profundidad de 5cm.

Nos proponemos buscar la relación que pueda existir entre los tiempos  $t$  las temperaturas registradas  $T$  con el software Python y nos limitaremos al estudio de un ajuste lineal.

1) **Inicie** el software **Pyzo** y **copie** los dos archivos **Tiempo.csv** y **Temperature.csv** en el directorio donde se encuentra guardado el programa Python.

2) El siguiente código permite transformar archivos csv en una lista en formato Python:

```
1 import csv
2
3     # Les fichiers csv doivent être stockés dans le même repertoire que les fichiers python sauvegardés
4
5     # Code pour convertir le fichier Temps.csv en fichier utilisable par Python à fournir aux élèves
6
7 with open("Temps.csv") as f:
8     Temps = list(csv.reader(f))
9 var_list = []
10 list_tot = []
11 for i in range(0,len(Temps)):
12     var_list = Temps[i]
13     var_list = list(map(int,var_list))
14     list_tot = list_tot + var_list
15 Temps = list_tot
16
17     # Code pour convertir le fichier Temperature.csv en fichier utilisable par Python à fournir aux élèves
18
19 with open("Temperature.csv") as f:
20     Temperature = list(csv.reader(f))
21 var_list = []
22 list_tot = []
23 for i in range(0,len(Temperature)):
24     var_list = Temperature[i]
25     var_list = list(map(float, var_list))
26     list_tot = list_tot + var_list
27 Temperature = list_tot
28
29 from math import sqrt
```

El estudio de las funciones Map y Open del programa Python no son objeto de esta actividad.

Los datos de tiempo se almacenan en la lista “Temps” (**Tiempo**).

Los datos de temperatura se almacenan en la lista **Temperatura**.

Queremos editar un programa que dé:

- el coeficiente de correlación  $r$  en el intervalo de tiempo desde  $n$  min a 60 min ( $n$  es el momento a partir del cual se alcanzará un régimen estacionario);
- los coeficientes  $a$  y  $b$  de la línea de regresión buscada si el ajuste es pertinente

Para ello, tendremos que determinar todos los elementos necesarios para estos cálculos.

***(Las fórmulas de cálculo se encuentran en la última página)***

Después de copiar el código anterior en el programa, continúe así:

```
def equation_moindre_carre(n):
```

### 3) a) Complete este programa con el fin de obtener el promedio

- del tiempo medio  $\bar{t}$  denominado “moyenne\_t”
- de la temperatura media  $\bar{T}$  denominada “moyenne\_T”

b) Complete este programa para obtener una lista que dé los valores  $t_i - \bar{t}$  denominados ecart\_t

c) Complete este programa para obtener una lista que dé los valores  $T_i - \bar{T}$  denominados ecart\_T

d) Complete este programa para obtener una lista que dé los valores  $(t_i - \bar{t})^2$  señalados carre-ecart\_t

e) Complete este programa para obtener una lista que dé los valores  $(T_i - \bar{T})^2$  denominados carre-ecart\_T

f) Complete este programa para calcular  $\sigma_{t,T}$  denominado Sigmat\_t\_T

g) Complete este programa con el fin de calcular  $\sigma_t$  denominado Sigma\_t

h) Complete este programa con el fin de calcular el valor de r cuando n=41.

¿Es relevante el ajuste lineal?

### 4) Determinar la ecuación de la recta de regresión de los cuadrados mínimos.

- a) Complete este programa para calcular el valor de  $a$ .
- b) Complete este programa para calcular el valor de  $b$ .
- c) Complete su programa para que muestre la ecuación desde esta recta.

### Fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \sigma_t = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right)} \quad \sigma_y = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)}$$

$$\sigma_{t,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y}) \quad r = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t \sigma_y}$$

La ecuación de la recta de regresión es:  $y = a + bt$  con:  $b = \frac{\sigma_{t,y}}{\sigma_t^2}$  y  $a = \bar{y} - b\bar{t}$

Usaremos los siguientes criterios numéricos usando  $r^2$ :

- si  $0,75 \leq r^2 \leq 1$  entonces existe una buena correlación lineal entre Y y t
- si  $0,25 \leq r^2 \leq 0,75$  entonces existe una correlación lineal débil entre Y
- si  $0 \leq r^2 \leq 0,25$  entonces existe una mala correlación lineal entre Y y t



## 11. Discusión de los resultados y conclusión:

Acabamos de demostrar que los planetas rocosos disipan su calor interno hacia arriba y a través de la superficie, lo que conduce a su enfriamiento.

Los científicos han propuesto modelos que muestran cómo el calor interno de la Tierra puede disiparse por convección, conducción térmica, vulcanismo, tectónica de placas, etc. En Marte, la disipación de calor se debe en gran parte a un vulcanismo significativo y probablemente progresivamente por "convección".

Exploraremos estos procesos en las siguientes actividades (2, 3 y 4).

## Medición del flujo de calor

1. **Problema:** ¿Cuáles el mecanismo que controla la disipación del calor interno de Marte y la Tierra?

**Hipótesis:** Se supone que en un planeta sólido y rígido, la transferencia de calor a la superficie se lleva a cabo por conducción térmica.

2. **Edad de los estudiantes:** 15-17 años.

### 3. **Objetivos:**

Comprender el fenómeno de la conducción térmica.

### 4. **Disciplinas principales:**

Matemáticas – Física – Ciencias de la Tierra.

### 5. **Disciplinas Complementarias:**

Informática (Arduino).

6. **Tiempo requerido:** 2 horas.

### 7. **Palabras clave:**

Gradiente geotérmico - Flujo de calor - Disipación de calor - Conductividad.

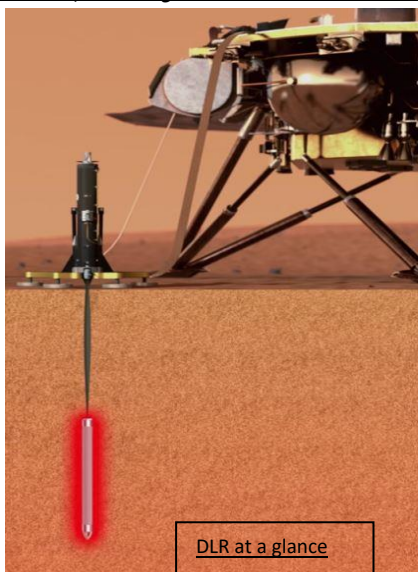
### 8. **Conocimientos previos:**

En la Tierra, el gradiente de temperatura se obtiene midiendo directamente la temperatura a diferentes profundidades en sondeos o pozos de mina. Eso es lo que la misión InSight en Marte hará con el instrumento HP3.

Una vez conocido este gradiente y determinada la conductividad térmica de las rocas subyacentes, los científicos pueden deducir el flujo de calor en un punto de la superficie.

Para conocer la conductividad térmica de las rocas, se recogen muestras en pozos y se determina en el laboratorio.

### **En Marte, el flujo de calor será medido con el instrumento HP3:**



Cada 50 centímetros, la sonda emite un pulso de calor y sus sensores monitorizan la evolución del pulso térmico a lo largo del tiempo. Si el material de la corteza es un buen conductor de calor, como el metal, el pulso se desintegrará rápidamente. Si es un mal conductor, como el vidrio, el pulso disminuirá lentamente. Esto indica a los científicos lo rápido que la temperatura aumenta con la profundidad y cómo circula el calor dentro de Marte.

La onda de calor que emana del tubo calefactor de la perforadora lunar se extenderá al suelo marciano, por lo que los científicos podrán determinar la conductividad térmica de la regolita. Las mediciones se llevarán a cabo con precisión, incluso si la conductividad del suelo es muy baja. La atenuación diaria de la onda de temperatura diaria proporcionará a HP3 otra forma de caracterizar la conductividad térmica del suelo.

## 9. Material:

<u>Modelo de la conductividad térmica de una roca:</u>	<u>Modelo mediante sensores de temperatura similares a HP3:</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestra de basalto</li> <li>- Pieza de parafina</li> <li>- Calentador plano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 barras de roca diferentes (basalto - granito)</li> <li>- Vela calentadora de té</li> <li>- Sensores de T</li> <li>- Arduino y PC.</li> </ul>

## 10. Procedimiento:

### Modelo de la conductividad térmica de una roca:

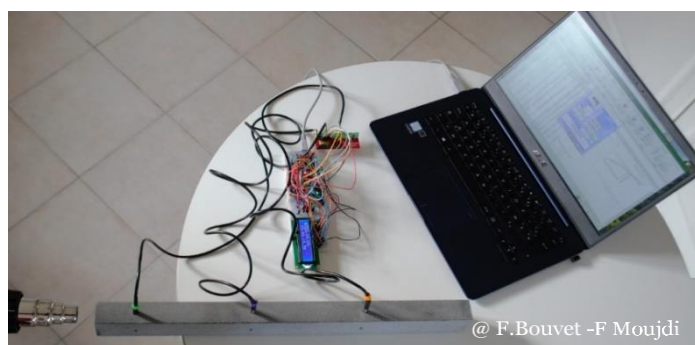


- Fijar una roca (basalto, granito...) con la pinza.
- Colocar pellets de parafina (3 a 5 dependiendo de la longitud de la muestra de roca) sobre la roca, a distancias de unos 1,5 cm.
- Encender la vela y ajustar la altura de manera que el extremo libre de la roca quede sobre la llama.
- Observar.

### Resultado:

La pastilla situada justo encima de la vela se derrite primero y luego las otras pastillas se derriten sucesivamente.

### Modelo con sensores similares al instrumento HP3:

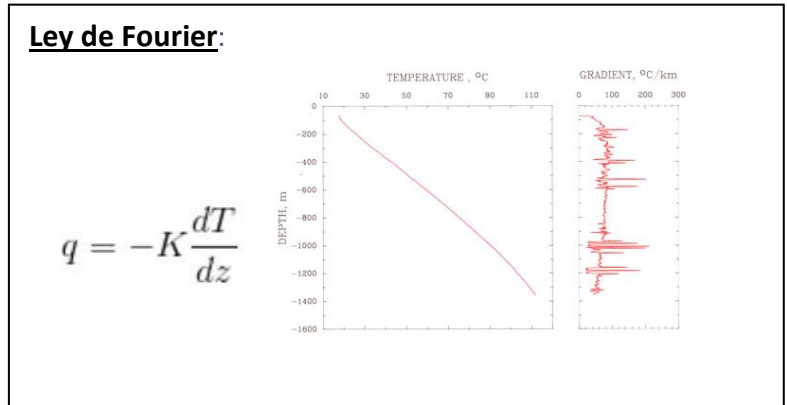


Este modelo nos muestra que el calor puede viajar gradualmente a través de la roca (como en el caso del basalto o el granito). Su progreso se puede monitorizar a través de las mediciones tomadas, que es cómo funciona HP3.

Observamos la propagación de calor de un lado a otro sin ningún desplazamiento de material. Esta transferencia de calor depende de la conductividad térmica del material que atraviesa.

También podemos observar que la velocidad de propagación de las ondas cambia a medida que aumenta la temperatura del basalto. Los estudiantes pueden calcular esta velocidad.

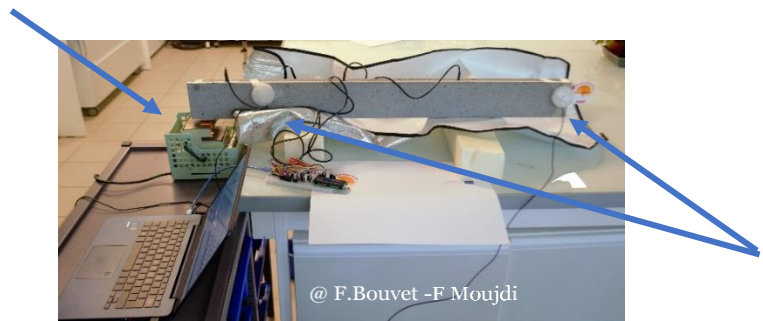
Tipo de material	Conductividad térmica (W/m/K)
Basalto	2.5
Granito	2.7
Peridotita	4.2 a 5.8
Caliza	1.7 a 3.3
Plata	420
Agua	6



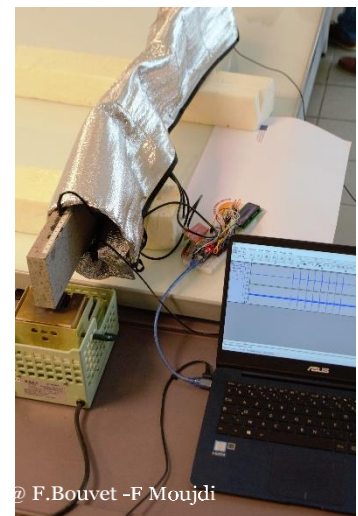
Conocemos la conductividad de las rocas estudiadas en el laboratorio. Una vez que se conoce el gradiente térmico medido en Marte, los geofísicos podrán deducir el flujo de calor, es decir, la cantidad de energía (térmica) que pasa a través de una unidad de superficie por unidad de tiempo (unidad = J/s/m<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup>). La ley de Fourier explica que el flujo de calor es inverso al producto de la conductividad térmica de las rocas por el gradiente de temperatura.

**Modelo con sensores de temperatura y 2 células piezoeléctricas.**

Placa calefactora

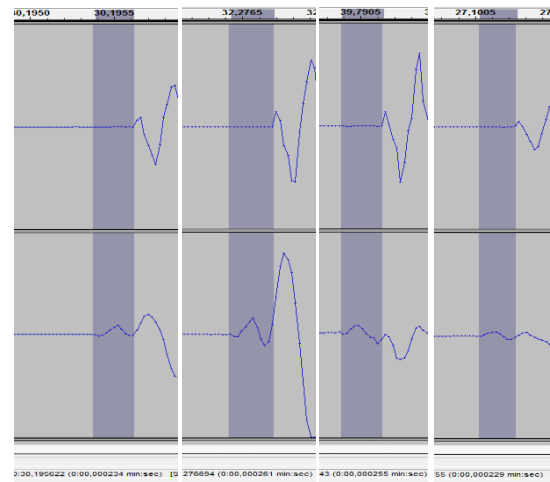
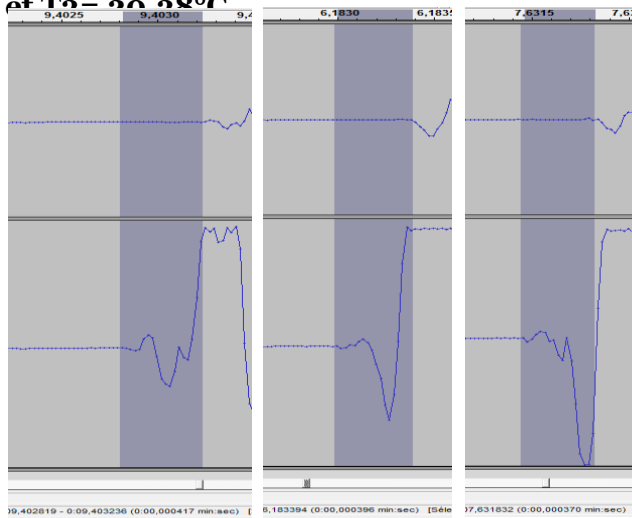


2 Células piezoeléctricas



Temperatura ambiente en la roca: 18.5°C  
 et T<sub>2</sub> = 22.81°C

T<sub>1</sub> = 63,13 °C, T<sub>2</sub> = 22.81°C,



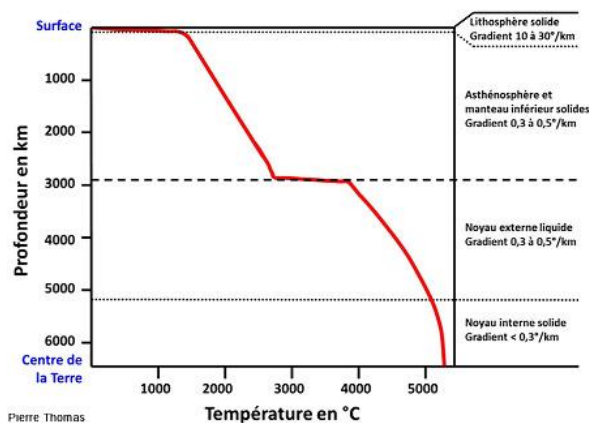
La velocidad de propagación de las ondas sísmicas se puede calcular en función de la temperatura mostrada; se puede determinar la influencia de la temperatura en la propagación de ondas y se pueden determinar las características de la roca atravesada.

## 11. Discusión de resultados y conclusiones

En la Tierra, el calor interno se libera por conducción cerca de la superficie. Pero en profundidad, otro proceso, la convección, explica la transferencia de calor.

Utilizando datos sísmicos, combinados con las contribuciones de estudios de laboratorio sobre las características físicas de los minerales terrestres sometidos a altas presiones y temperaturas (estudios de células de yunque de diamante), los científicos han modelado la evolución de la temperatura en relación con la profundidad.

### Evolución de la temperatura interna de la Tierra según la profundidad:



Derechos reservados - © 2014 Pierre Thomas

Eso es lo que los científicos de InSight están tratando de hacer.

## 13. Actividades de ampliación

Evalúe los datos de temperatura del instrumento HP3 y, a continuación, compárelos con los datos terrestres para determinar el tipo de roca que compone las profundidades de Marte.

## 14. Más información (Recursos adicionales para profesores)

- [https://www.seis-insight.eu/fr/?option=com\\_content&view=article&id=175:les-autres-instruments&catid=54:la-mission-insight&lang=fr-FR](https://www.seis-insight.eu/fr/?option=com_content&view=article&id=175:les-autres-instruments&catid=54:la-mission-insight&lang=fr-FR)

- <http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/chaleur-Terre-geothermie.xml>

- La planète Mars « Histoire d'un autre monde » Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

## Campo magnético

1. **Problema:** ¿Cuáles son los mecanismos que causan la rápida disipación de calor interna de Marte y la Tierra?

**Hipótesis:** la desaparición del campo magnético de Marte podría explicar su rápida pérdida de calor en comparación con el planeta Tierra, que está perdiendo su calor más lentamente.

2. **Edad de los estudiantes:** 15 -17 años

3. **Objetivos:**

Mostrar cómo un campo eléctrico puede crear un campo magnético y alimentarlo, así como mostrar el papel del campo magnético de un planeta rocoso (escudo terrestre).

4. **Disciplinas primarias:**

Matemáticas – Física – Ciencias de la Tierra.

5. **Disciplinas adicionales:**

Informática: Procesamiento de imágenes de satélite con el software gratuito QGis

6. **Tiempo requerido:** 2h

7. **Términos clave:**

Campo magnético – Campo eléctrico.

8. **Fundamento:**

En un planeta telúrico, el campo magnético es creado por los movimientos que agitan su núcleo de hierro, fluido y buen conductor de electricidad. Los científicos asumen que los movimientos de convección dentro del núcleo líquido generan una corriente eléctrica que, a su vez, produce un campo magnético: este es el efecto "dinamo".

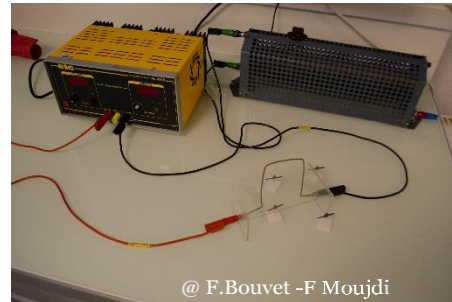
9. **Material:**

<b><u>Modelado del campo magnético:</u></b>	<b><u>Modelado del campo magnético remanente:</u></b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Una fuente de alimentación</li><li>- Alambre de cobre;</li><li>- un trozo de plexiglás (alrededor de 10 cm x 10 cm);</li><li>- 4 brújulas pequeñas</li><li>- Limaduras de hierro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Muestra de basalto</li><li>- Brújula</li><li>- 1 brújula pequeña</li></ul>

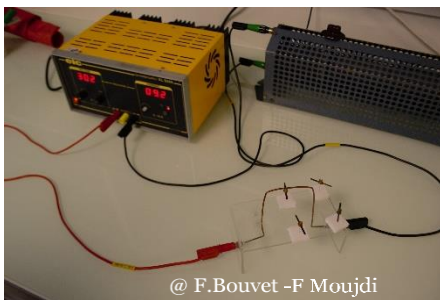
## 10. Procedimientos:

### Modelado del campo magnético :

No hay corriente eléctrica, las agujas de las brújulas están en la dirección del campo magnético de la Tierra.



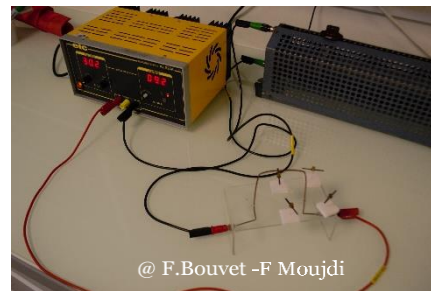
@ F.Bouvet -F Moujdi



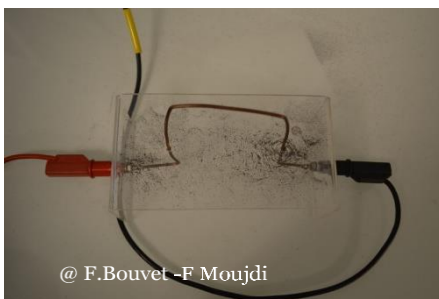
@ F.Bouvet -F Moujdi

La corriente eléctrica crea un campo magnético alrededor del cable.

Cuando se invierte la dirección de la corriente, el campo magnético cambia de dirección.



@ F.Bouvet -F Moujdi



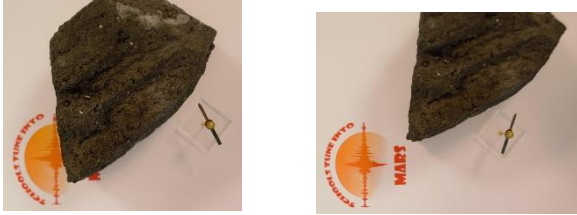
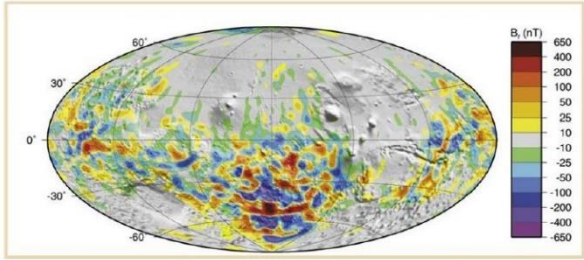
@ F.Bouvet -F Moujdi

Cuando la operación se repite con las limaduras de hierro, éstas dibujan círculos concéntricos alrededor del alambre.

En Marte, justo después de la acreción (4,45 mil millones de años), el planeta tenía un núcleo líquido lo suficientemente caliente como para que los movimientos de convección generasen un campo magnético como en la Tierra.

El Mars Global Surveyor ha detectado los restos de un antiguo campo magnético. De hecho, Marte, como la Tierra, tiene una corteza magnética que produce fuertes anomalías magnéticas.



<b>Tierra</b>	<b>Marte</b>
<p>La intensidad del campo magnético varía de 20 <math>\mu\text{T}</math> en el ecuador magnético a 70 <math>\mu\text{T}</math> en los polos magnéticos (Langlais et al.[2010]). Este campo magnético está presente desde hace 4,5 Ma. Es variable con el tiempo y se sabe que ha sufrido inversiones de polaridad.</p> <div data-bbox="140 483 719 696">  </div> <p>En la Tierra, se han descubierto imanes de lava en la dirección opuesta al campo magnético actual, lo que indica que el campo magnético de la Tierra ya ha sufrido varias inversiones de polaridad en el pasado</p>	<p>La nave espacial MGS identificó rastros de magnetización remanente en la superficie y hasta 400 km por encima, un campo de superficie ecuatorial que oscilaba entre 20 y 65 nT (Langlais et al.[2010]) y produjo el primer mapa completo del campo magnético de la corteza global de Marte.</p> <div data-bbox="815 472 1401 730">  </div> <p>Estos rastros de magnetización indican la presencia de un campo magnético. Además, la orientación de estos imanes muestra que el campo magnético ha durado lo suficiente como para haber sufrido una inversión de los polos magnéticos. Las regiones más magnetizadas se concentran en las antiguas tierras altas del sur, lo que indica que el campo magnético estuvo presente durante unos 500 millones de años (Stevenson[2001]).</p>

## 11. Discusión de los resultados y conclusiones

Estos resultados nos permiten comprender la génesis de un campo magnético de un planeta telúrico. Los científicos asumen que los movimientos de convección dentro del núcleo líquido (el hierro caliente desde el centro del núcleo sube hasta el límite con el manto, se enfría en contacto con él, cae de nuevo hacia el centro, se calienta...) genera una corriente eléctrica que a su vez produce un campo magnético: este es el efecto dinamo.

Los microcampos magnéticos creados accidentalmente en el medio ambiente producen la corriente eléctrica que, a su vez, produce un campo magnético global...

## 13. Actividades de ampliación

La misión Insight ha transportado un magnetómetro InSight Fluxgate (IFG); este magnetómetro será el primero en registrar datos magnéticos directamente desde la superficie de Marte. Su sensibilidad es de 0,1 nano Tesla. Una vez recibidos los datos, podremos observar los restos de un antiguo campo magnético en Marte y compararlos con datos de otras misiones.

## 14. Explorar más (recursos adicionales para profesores)

- « Terre à cœur ouvert » Pour la Science N°67 Avril – Juin 2010

- La planète Mars “Histoire d’un autre monde » Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

## Movimientos de convección en el manto

1. **Problema** ¿Cuáles son los mecanismos que causan la disipación de calor interna de Marte y la Tierra?

**Hipótesis:** Suponemos que el transporte y la evacuación de calor se lleva a cabo por movimientos de convección.

2. **Edad de los estudiantes** 14 -17 años

3. **Objetivos**

Explicar los diferentes modos de convección que harían que el calor de un planeta rocoso se disipe.

4. **Disciplinas primarias**

Matemáticas – Física – Ciencias de la Tierra.

5. **Disciplinas adicionales:**

Informática: código Arduino

6. **Tiempo requerido** 2h

7. **Términos clave**

Convección

8. **Fundamento**

Si un cuerpo se enfría desde abajo y se calienta desde arriba, las áreas densas estarán en la parte inferior y las más ligeras en la parte superior. Es una situación estable, que no generará ningún movimiento. Si, en cambio, un cuerpo se calienta desde abajo y se enfría desde arriba, las áreas densas estarán en la parte superior, y las áreas ligeras en la parte inferior. Entonces, el material superior frío tenderá a bajar y el material inferior cálido, algo menos denso tenderá a subir. Es la convección térmica.

9. **Material**

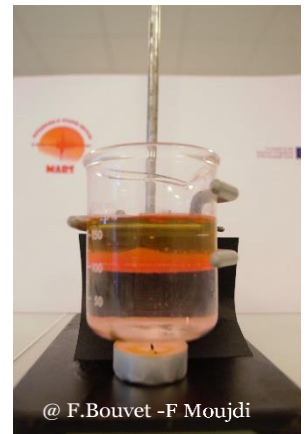
<b>Modelado de convección de una sola capa</b>	<b>Modelado de convección de dos capas</b>
- Vaso de precipitados - Aceite - Tiza - Agente colorante	- Vaso de precipitados - Aceite - Agua coloreada

## 10. Procedimientos

Modelado de convección de una sola capa	Modelado de convección de dos capas
<p>La parte inferior del recipiente calentado es más caliente que el aceite. Le da calor, y este material se calienta gradualmente.</p> <p>Tan pronto es un poco más caliente y menos denso que el anterior, sube a la parte superior. A medida que sube, ya no recibe calor, por lo que su temperatura permanece casi constante. Cuando llega a la cima, pierde parte de su calor, y vuelve a bajar sin enfriarse ya que ya no pierde más durante su descenso.</p>	<p>Si dos fluidos inmiscibles se colocan en un recipiente (agua en el fondo y aceite por encima), y se calientan desde abajo, el agua entra en convección, calienta el aceite desde abajo, que a su vez entra en la convección.</p> <p>Esto se conoce como "convección de dos etapas".</p>



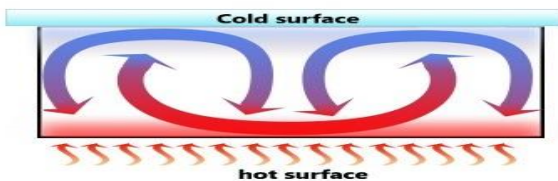
**Figura a:**



**Figura b:**

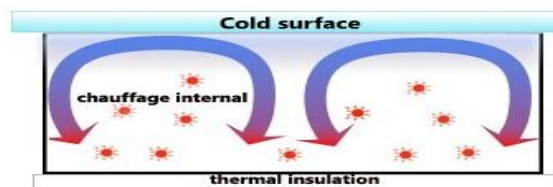
## 11. Discusión de los resultados y conclusiones

La convección puede tener lugar en tres casos posibles:

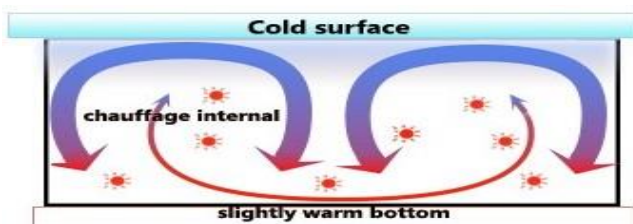


Se producen puntos calientes rojos en la masa del manto. Solo se hunde la capa fría porque es más densa.

La parte superior densa y fría se hunde mientras la capa calentada se eleva. Entre las dos capas en movimiento, el material se desplaza poco y mantiene su temperatura constante



Este caso simula el manto cuando se calienta ligeramente la superficie. El núcleo libera poco calor en comparación con la radiactividad del manto, que libera más calor.



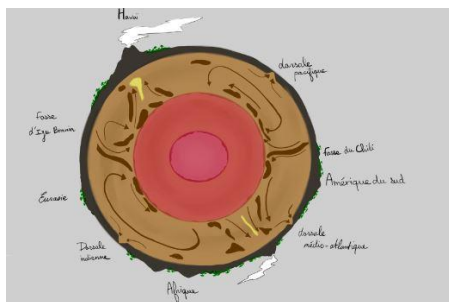
Durante los primeros 2 mil millones de años, la convección del manto marciano fue muy vigorosa, como lo demuestran sus volcanes gigantes.

Pero poco a poco, los elementos más radiactivos desaparecieron del manto, ya sea por desintegración o porque ascendieron hasta la corteza con la lava.

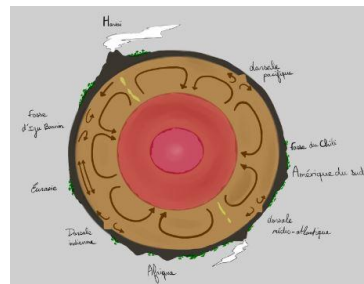
Pero la convección no cesó completamente. La corteza que atrapa los elementos radiactivos actúa como una manta calefactora para el manto. Al rodearse de una corteza cada vez más gruesa, el planeta Marte ha confinado su manto bajo una capa de materiales rígidos y aislantes: la litosfera. Marte probablemente todavía tiene una capa muy caliente y un núcleo líquido. La misión Insight nos proporcionará más información sobre la estructura de Marte.

En la Tierra, casi el 40% de la producción de calor se ha concentrado en la corteza continental. Los científicos están divididos entre dos modelos de convección:

### 1 capa de convección:



### 2 capas de convección:



Convection in the mantle (Silver, Carlson, Nicolas) La planète Terre Ophrys

## 12. Explorar más (recursos adicionales para los profesores)

- « Terre à cœur ouvert » Pour la Science N°67 Avril – Juin 2010

- La planète Mars “Histoire d’un autre monde » Belin – François Forget, François Costard, Philippe Lognonné

# Que tan grande es nuestro Sistema solar?

## 1. Introducción y Pb

Las distancias entre los diferentes planetas de nuestro Sistema Solar son tan enormes que para muchos estudiantes es muy difícil compararlas con las distancias de la vida diaria a las que están acostumbrados. Esta actividad tiene como objetivo mejorar la conciencia de los estudiantes sobre las relaciones espaciales entre los diferentes planetas del Sistema Solar, centrándose especialmente en Marte y la Tierra. Los estudiantes usarán objetos de la vida diaria; esto les permite hacer cálculos de proporciones. Antes de comenzar la actividad, podría ser útil si los estudiantes ya han hecho la actividad "Tomar un auto con Marte". Así, pueden usar los planetas que ellos mismos han creado de acuerdo a una escala fija.

## 2. Edad de los estudiantes:

12 - 16 años

## 3. Objetivos

Los estudiantes pueden:

- calcular las distancias relativas entre los planetas del Sistema Solar
- entender lo grandes que son estas distancias
- calcular distancias en relación con la escala de los planetas
- desarrollar habilidades de comunicación
- (optativo) utilizar las TIC para producir un método semiautomático para calcular las distancias entre el modelo de los planetas

## 4. Disciplinas primarias

Ciencias de la Tierra

Matemáticas

## 5. Disciplinas secundarias

Física

## 6. Temas adicionales

"45 minutos + 15 minutos preparando los modelos"

## 7. Términos Clave.

Tierra, Marte, Júpiter, distancias de planetas, medidas de escala

## 8. Materiales

- Cinta métrica (40 - 200m aprox.)
- Ordenador con el software Google Earth™ o similar que permite medir distancias
- Cartones o (alternativamente) globos

- Tijeras, regla, lápiz
- (opcional): ordenador con un programa informático de hoja de cálculo

## 9. Fundamento

El uso de modelos es una buena estrategia para mejorar la capacidad de los estudiantes de ser conscientes de las distancias absolutas y relativas entre los planetas. Relacionar modelos hechos de materiales cotidianos (globos) con el mundo real (los planetas) es una actividad que sirve de puente.

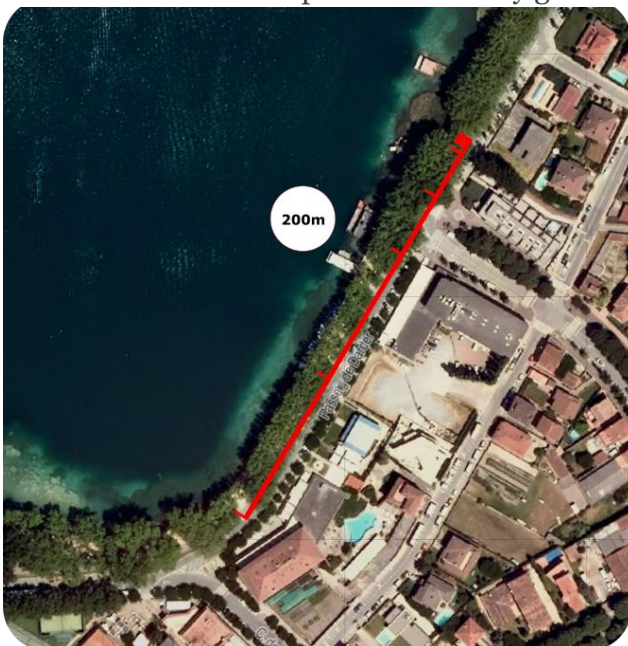
La siguiente tabla muestra las medidas a escala que los estudiantes pueden necesitar para completar la actividad:

	Distancia media de la orbita (km)	Circunferencia ecuatorial (km)
Mercurio	57909227	15329
Venus	108209475	38024
Tierra	149598262	40030,2
Marte	227943824	21296,9
Júpiter	778340821	439263,8
Saturno	1426666422	365882,4
Urano	2870658186	159354,1
Neptuno	4498396441	154704,6
Sol		4370005,6

Data de <https://solarsystem.nasa.gov/>

## 10. Procedimiento

NOTA: Las distancias entre planetas son muy grandes, téngalo en cuenta para hacer un modelo a escala



real.



OPCIÓN A (una combinación con Take a selfie con Mars::


Si los estudiantes tienen pares de planetas en escala real que han hecho con globos. Que calculen la distancia real entre el par de planetas que han hecho durante la actividad. Si las distancias y los espacios en la escuela te permiten hacer planetas hechos anteriormente en la distancia real, hazlo.

Es fácil trabajar con planetas internos. Esto es así porque las distancias entre ellos son más cortas que para los planetas externos. Por ejemplo: si los estudiantes toman 9cm de circunferencia como planeta Tierra y 5cm de circunferencia como Marte, la distancia real entre ellos es de 170m. Por otro lado, si utilizan planetas externos de tamaño similar, la distancia entre ellos tendría que ser mucho mayor. Por ejemplo: con una circunferencia de 7 cm como Urano, y una circunferencia de 6,8 cm como Neptuno, tendrían que colocarlos a 700 m de distancia uno del otro.

#### OPCIÓN B:

Usando un corredor escolar del cual se conoce su longitud (por ejemplo 40m) los tamaños de los planetas serían extremadamente pequeños. En este caso, no se puede utilizar el modelo de globos debido a su tamaño extremadamente pequeño, se deben utilizar tarjetas con un diseño del planeta a escala, los estudiantes deben calcularlo a mano o utilizando una tabla de Excel. Los estudiantes podrían hacer tarjetas con el planeta escala y alguna información sobre él. Después de este proceso, las tarjetas se pueden fijar en las paredes del pasillo.

Los estudiantes pueden trabajar en grupos para hacer las tarjetas planetarias y explicar las características de su planeta a otros estudiantes.

<b>Mercury</b>	
<b>Perfil del planeta</b>	<b>Datos del planeta</b>
Diámetro: 4,879 km Masa: $3.29 \times 10^{23}$ kg (0.06 Tierra) Lunas: Ninguna Distancia orbita: 57,909,227 km (0.39 AU) Periodo orbita: 88 días T° superficie: -173 to 427°C Primeros datos: 14th century BC	Mercurio no tiene lunas ni anillos. Mercurio es el planeta más pequeño. Mercurio es el planeta más cercano al Sol. Su peso en Mercurio sería el 38% de su peso en la Tierra. Un día en la superficie de Mercurio dura 176 días terrestres. Un año en Mercurio toma 88 días terrestres. No se sabe quién descubrió Mercurio.
	Tamaño del planeta en escala real de este sistema solar:  Diámetro de escala: X,XXmm
<p><b>Source:</b> NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington</p>	

## 11. Discusión de los resultados y conclusiones

Los estudiantes entienden las distancias relativas de los planetas en el sistema solar. Esto les da una mejor comprensión del sistema solar en su conjunto.

También se fomenta la cooperación y el trabajo en equipo.

## 13. Actividades de ampliación

Si quieres probar la opción A de los procedimientos, debes hacer la actividad "Tomar un auto con Marte" antes. Sin embargo, estas actividades de remolque son independientes entre sí.

## 14. Explorar más (recursos adicionales para profesores)

<https://solarsystem.nasa.gov/planets/overview/>

<https://space-facts.com/planets/>