



Tema II

Ambiente de los planetas rocosos

Ruido sísmico atmosférico

Instrumentos para medir la velocidad del viento marciano

Los aerosols primaries y su impacto climático en la Tierra

Las variaciones diarias de temperatura en Marte

Aerosol primario e impacto climático en Marte

SEIS y el ambiente



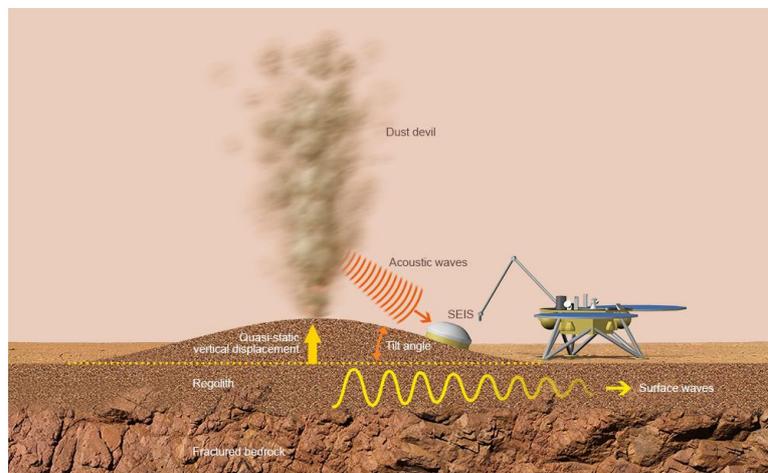
Ruido sísmico atmosférico

1. Introducción & Pb

La segunda fuente atmosférica de ruido microsísmico es local: el lugar de aterrizaje se ve afectado por las ráfagas de viento o la llegada de un vórtice de polvo cerca de la sonda. En ambos casos, el aire marciano ejerce fuerza sobre el suelo: hacia arriba en caso de depresión, hacia abajo en caso de sobrepresión.

Un remolino de polvo de 10 m de ancho reduce la presión en el suelo [en la misma cantidad que un coche pequeño retirado de la superficie (hay que comprobar esto: depende de la superficie de contacto)].

La deformación estática de la superficie afectará al sismómetro, especialmente a los péndulos que miden el movimiento horizontal y vertical. Aunque el suelo también se mueve hacia arriba y hacia abajo, el efecto del movimiento lateral es dominante, y los sensores del instrumento SEIS lo detectan.



Simulation of ground deformation around the InSight lander (© IPGP/David Ducros).

2. Edad de los estudiantes 15 - 17 años

3. Objetivos

Vamos a determinar si una simple caída de la presión puede causar un efecto de deformación del suelo detectable por acelerómetros, aunque este tipo de deformación no es visible a simple vista.

4. Disciplinas primarias

Ciencias de la Tierra- Física

5. Disciplinas adicionales

Arduino

6. Tiempo requerido 2 horas

7. Términos clave

Acelerómetro - Sismógrafo - Ondas de propagación - Movimientos atmosféricos.

8. Fundamento

El aire marciano, al moverse constantemente alrededor del globo marciano, es capaz de excitar el planeta, y hacerlo vibrar como una campana, a frecuencias muy específicas.

Los geofísicos llaman a este fenómeno el "zumbido" del planeta, una especie de zumbido persistente, que sólo los sismómetros sensibles a ondas de período largo como SEIS pueden oír.

A pesar del hecho de que este murmullo inquietante puede ser considerado como un ruido de fondo parásito, es de particular interés para los geofísicos. Gracias a él, será posible sondear las capas superficiales del suelo marciano, a profundidades que van desde varias decenas de metros a varios cientos de kilómetros (acceso al manto), incluso en ausencia de terremotos.

9. Materiales

Un globo tipo pilates globo con un perímetro de 250 cm

Un Arduino tipo UNO

Un acelerómetro MP U5060, un sensor de presión BME280, conectados a una UNO previamente programada

Un PC con el archivo PLX-DAQ-v2.11

Un secador de pelo de 1600W

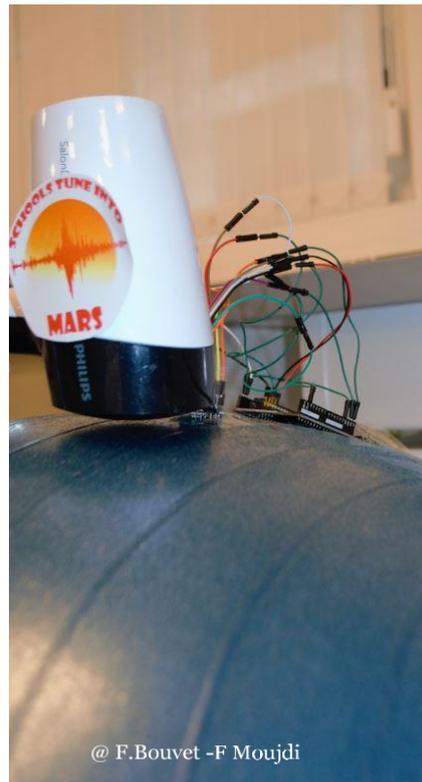
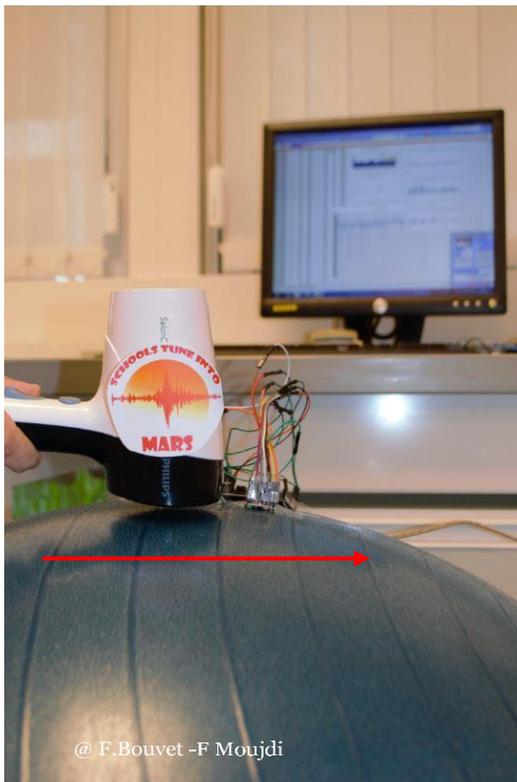
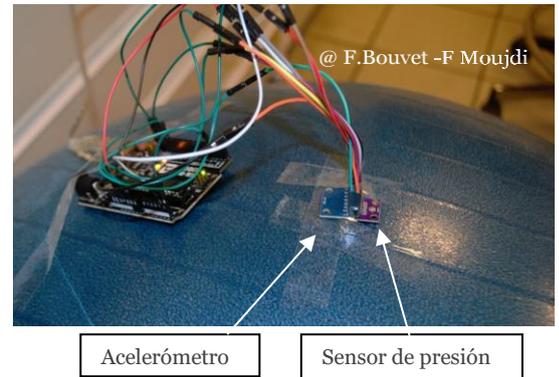
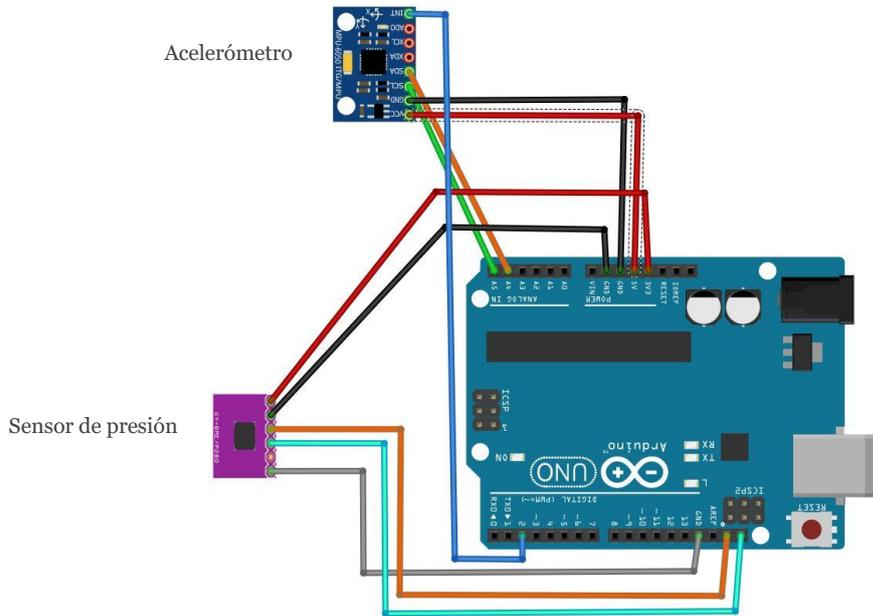
10. Procedimiento

Coloque el globo en las barras de espuma de poliestireno para evitar el contacto con el suelo

Fije con cinta adhesiva el acelerómetro y el sensor de presión sobre el globo

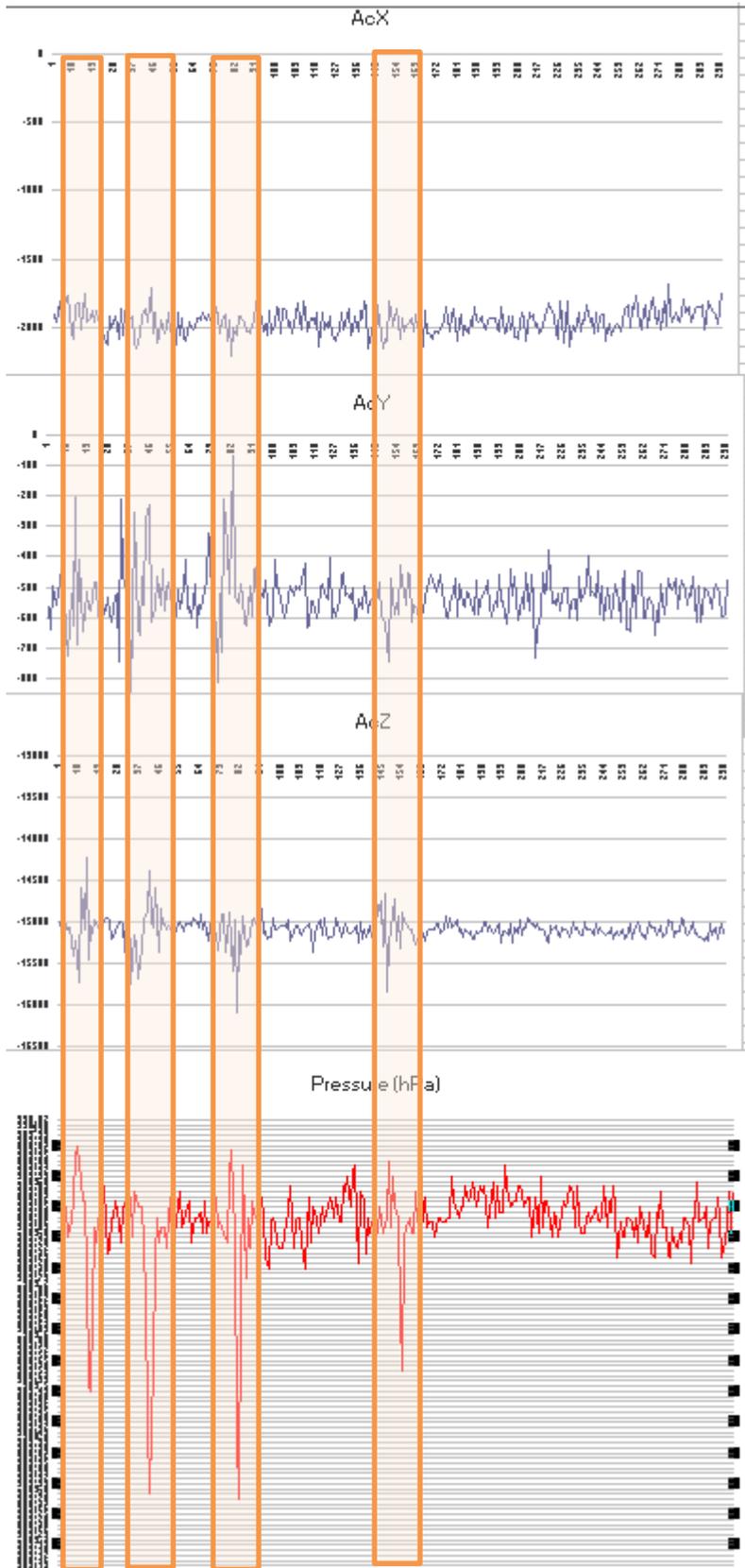
Mantenga el secador de pelo en la vertical del globo con el lado de salida hacia arriba y el de succión hacia muy cerca de él pero sin tocarlo.

Detalle del dispositivo



Mueva el secador de pelo sin tocar la pelota, pero cerca de ella manteniendo la distancia constante.

Resultados:



Enmarcados, los registros de sucesivos pases del secador sobre los sensores.

Se observa el movimiento de la superficie cada vez que pasa por encima la depresión.

Instrumentos para medir la velocidad del viento marciano

1. Introducción & Pb

En la Tierra, los sensores utilizados en la red Meteo-France para medir la fuerza y la dirección del viento son de dos tipos: sensores mecánicos con un anemómetro de copa y una paleta meteorológica, y sensores ultrasónicos.

Sensor mecánico Deolia 96



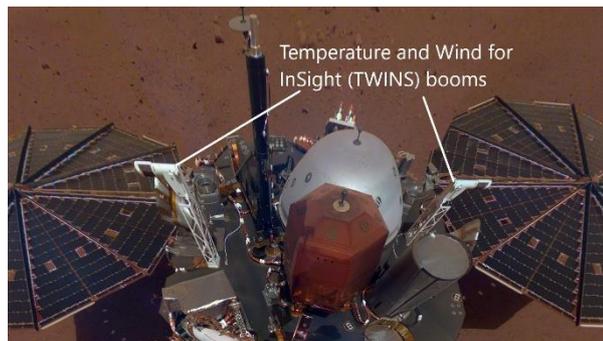
Sensor ultrasónico



Para la sonda InSight, los ingenieros eligieron los sensores TWINS (Temperature and Wind Sensors for InSight), muy similares a los sensores REMS (Rover Environmental Monitoring Station) utilizados en el Curiosity rover, que ha estado moviéndose dentro del cráter de impacto Gale desde 2012.



Sensores TWINS en la estación meteorológica InSight
(© NASA)



NASA/JPL-Caltech

Los dos sensores están montados en el puente. Dos veces por segundo, registrarán la temperatura del aire, así como la velocidad y la dirección del viento durante toda la duración de la misión, un año marciano o dos años terrestres.

Pb: ¿Cómo podemos determinar la velocidad del viento marciano a pesar del ambiente hostil?

2. Edad de los estudiantes 13 - 15 años

3. Objetivos

El objetivo es determinar cómo funcionan los sensores T-wins de la sonda Insight y por qué los científicos necesitan saber con precisión tanto la dirección del viento como la temperatura de forma continua.

4. Disciplinas principales

Ciencias de la Tierra - Física - Informática

6. Tiempo requerido 2 horas

7. Palabras clave

Anemómetro - Meteorología

8. Materiales

- Sensor anemómetro de alambre caliente



La salida analógica externa del sensor OUT da un valor de la tensión que está relacionado con la velocidad del viento de la siguiente manera:

$$V_{ent_{ms}} = 0,44704 \times \left(\frac{(V_{OUT} - V_{sansVent})}{(3,038517 \times (temp_C)^{0,115157})} \right)^{3,009364} \times 0,0087288$$

En el caso de una temperatura ambiente de 25 °C, el web ofrece un valor de $V_{no\ wind} = 1.3692\ V$, valor que se puede comparar con el de nuestro montaje

La salida TEMP del sensor permite medir la temperatura ambiente.

$$T_{mp} = \frac{(V_{TEMP} - 0.400)}{0.0195}$$

V_{OUT} es la tensión en voltios medida en la salida OUT del sensor

V_{no} es el voltaje medido en voltios por el sensor cuando está protegido del viento (por ejemplo, por una campana).

$Temp_C$ es la temperatura de la habitación en °C

$V_{wind_{ms}}$ es el valor del viento en m/s

V_{TEMP} es el voltaje medido en la salida TEMP del sensor

9. Conocimientos necesarios

Montaje de un sensor y programación Arduino simple.

10. Procedimiento

La sonda Insight está equipada con anemómetros sin partes mecánicas para evitar, entre otras cosas, problemas de desgaste (debidos, entre otros factores, a las diferencias de temperatura).

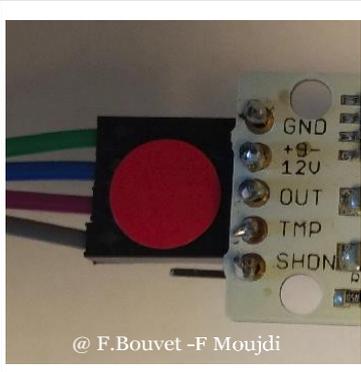
Usaremos sensores similares para medir el viento y la temperatura.

Dispondremos de un anemómetro de cable caliente: una resistencia es calentada por una fuente de alimentación de 12V; cuanto mayor sea la temperatura del cable, mayor será su resistencia eléctrica. El viento enfriará la resistencia y es esta caída de temperatura la que permite conocer la velocidad del viento. Para seguir la evolución diaria de la velocidad y temperatura del viento conectaremos el sensor a un arduino.

1. Configuración del primer sensor:

El cableado es el siguiente: en la foto se muestra un solo sensor montado



 <p>@ F.Bouvet -F Moujdi</p>	Sensor	Color del hilo en el ejemplo	Arduino	
	GND		GND	
	+ 12 V		V _{in}	
	OUT		A0	
	TEMP		A1	

Este es el programa que permite la visualización de la velocidad del viento y la temperatura en el monitor serie.

```
TP1
const int OutPin = A0; // La sortie OUT du capteur sur la sortie analogique A0
const int TempPin = A1; // La sortie TEMP du capteur sur la sortie analogique A1
const int VSV = 284; // Valeur de la tension OUT en absence de vent
int OUT1;
int TMP1;
int ventms1; // valeur du vent en m/s
int temp1; // valeur de la température en °C

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin);
  TMP1 = analogRead(TempPin);

  //Utilisation des formules pour donner les mesures en m/s et °C
  ventms1 = int(pow((((float)OUT1 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704); //conversion de la valeur du capteur en m/s
  temp1 = int (((float)analogRead(TMP1) * 5.0) / 1024.0 - 0.400) / .0195);

  //affichage dans le moniteur des valeurs
  Serial.print(" Le vent est de ");
  Serial.print(ventms1);
  Serial.print(" m/s et la température est de ");
  Serial.print(temp1);
  Serial.println(" °C");
}
```

Se obtiene:

```
19:18:29.042 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.108 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.174 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.241 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.307 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
19:18:29.374 -> Le vent est de 0 m/s et la température est de 25 °C
```

2. Configuración del segundo sensor:

La instalación del segundo sensor se realiza de la misma manera. Para recibir información del segundo sensor es necesario crear 2 nuevas variables OUT2 y TMP2 que se integrarán de la misma manera en el programa anterior.

La pantalla del monitor es similar al programa anterior:

```
//affichage dans le moniteur série des valeurs
Serial.print(" Vent mesuré par capteur 1 : ");
Serial.print(ventms1);
Serial.print(" m/s et Vent mesuré par capteur 2 : ");
Serial.print(ventms2);
Serial.println(" m/s");
delay(1000); //pause d'une seconde
Serial.print(" température du capteur 1 : ");
Serial.print(temp1);
Serial.print(" ° c et celle du capteur 2 : ");
Serial.print(temp2);
Serial.println(" °C");
delay(1000); //pause d'une seconde
```

En ausencia de viento se obtiene en los monitores:

```
18:09:19.514 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:20.507 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
18:09:21.534 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:22.527 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
18:09:23.554 -> température du capteur 1 : 24 ° c et celle du capteur 2 : 24 °C
18:09:24.548 -> Vent mesuré par capteur 1 : 0 m/s et Vent mesuré par capteur 2 : 0 m/s
```

3. Determinación de la dirección del viento

Ahora que ambos sensores están en su lugar, es interesante comparar las velocidades del viento y su dirección.

Para este experimento consideraremos que el sensor 1 se encuentra a la izquierda de la estación y el sensor 2 a su derecha.

Haremos una comparación simple entre la salida del sensor 1 y la del sensor 2

Aquí está la parte del programa que hace esta comparación y muestra la velocidad dominante.

```
// comparaison des sorties OUT des 2 capteurs]
if (OUT2 > OUT1) {
  Serial.print("Le vent vient de la droite et il vaut : ");
  ventms2 = int(pow(((float)OUT2 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704; //conversion de la valeur du capteur en m/s
  Serial.print(ventms2);
  Serial.println(" m/s");
} else {
  Serial.print("Le vent vient de la gauche et il vaut : ");
  ventms1 = int(pow(((float)OUT2 - VSV) / 85.6814), 3.36814) / 0.44704; //conversion de la valeur du capteur en m/s
  Serial.print(ventms1);
  Serial.println(" m/s");
}
delay(1000); //pause d'une seconde
```

Ahora clasificaremos el viento medido en tres categorías:

- viento fuerte,
- viento medio
- y viento débil.

Para ello mediremos el viento máximo que se puede generar con nuestros equipos. Este valor se almacenará como una variable en windMax y permitirá realizar una comparación.

- Si el viento medido es inferior al 33% del viento máximo, entonces mostraremos "el *viento es débil*"
- Si el viento medido es inferior al 66% del viento máximo, entonces mostraremos "el *viento es promedio*"
- Si el viento medido es superior al 66% del viento máximo, entonces mostraremos "el *viento es fuerte*"

He aquí un ejemplo:

```
void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin1);
  OUT2 = analogRead(OutPin2);

  // comparaison des sorties OUT des 2 capteurs pour déterminer le vent dominant
  if (OUT2 > OUT1) {
    VentDom = OUT2;
    Serial.print("Le vent vient de la droite.");
  } else {
    VentDom = OUT1;
    Serial.print("Le vent vient de la gauche.");
  }

  // comparaison du vent dominant avec ventMax
  if (VentDom < 0.33 * ventMax) {
    Serial.print("Le vent est faible");
  } else if (VentDom < 0.66 * ventMax) {
    Serial.print("Le vent est moyen");
  } else {
    Serial.print("Le vent est fort");
  }
  delay(1000); //pause d'une seconde
}
```

11. Discusión de los resultados y conclusión

La determinación de la velocidad del viento en la Tierra, así como en Marte es un factor determinante en meteorología. Esta medición se puede realizar utilizando diferentes instrumentos dependiendo de la precisión de la medida, el medio ambiente...

Los sismólogos en tierra no necesitan equipar las estaciones sísmicas con una estación meteorológica porque los sismómetros se depositan en cuevas o sótanos libres de perturbaciones atmosféricas.

En cambio, la interacción de la atmósfera marciana con el suelo deja su huella en las grabaciones sísmicas.

Es por eso que los ingenieros diseñaron y colocaron una estación meteorológica en el lander Insight y colocaron el sismómetro SEIS bajo un escudo de protección contra el viento, el WTS, que bloquea eficazmente la mayoría de los efectos del viento, pero no puede eliminarlos por completo. Así que podremos grabar estas ráfagas de viento y combinar los datos de la estación WTS y las grabaciones SEIS para aprender más sobre el entorno marciano.

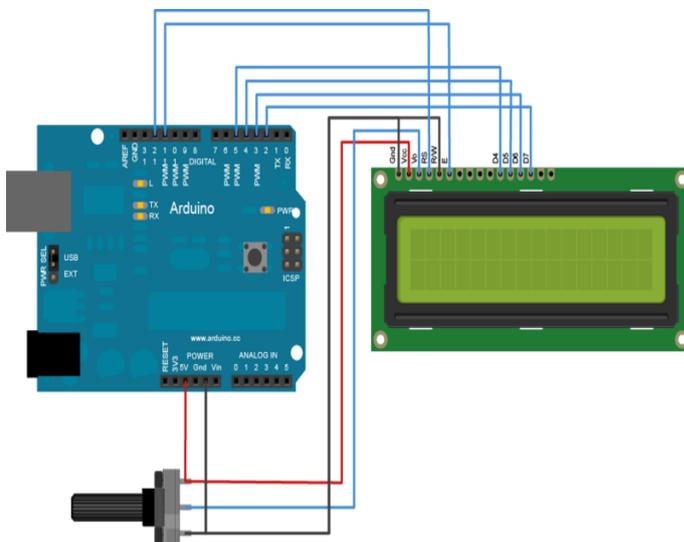
12. Ampliación

Uso de una pantalla LCD

Con el fin de liberar un ordenador para visualizar la velocidad del viento, se pueden mostrar los mensajes en una pantalla LCD en lugar de utilizar el monitor de serie del Arduino.

Esto se hace simplemente como se muestra en el ejemplo proporcionado por Arduino Development Environment. El ejemplo está disponible abriendo el programa propuesto en los ejemplos Fichier> exemples> LiquidCrystal>Display.

El montaje asociado a la pantalla LCD es el siguiente:



Después de visualizar el ejemplo "HelloWorld" podremos usar esta pantalla en nuestro ordenador. La diferencia radica en la pantalla, en lugar de Serial.print (usaremos lcd.print)

```
void loop() {
  // lecture des variables issues du capteur
  OUT1 = analogRead(OutPin1);
  OUT2 = analogRead(OutPin2);
  //On va d'abord effacer tout les caractères sur l'écran:
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0); //ici, on se positionne en haut à gauche de l'écran

  // comparaison des sorties OUT des 2 capteurs pour déterminer le vent dominant
  if (OUT2 > OUT1) {
    VentDom = OUT2;
    lcd.print("Vent de droite");
  } else {
    VentDom = OUT1;
    lcd.print("Vent de gauche");
  }

  lcd.setCursor(0, 1); //On se place sur la deuxième ligne
  // comparaison du vent dominant avec ventMax
  if (VentDom < 0.33 * ventMax) {
    lcd.print("vent faible");
  } else if (VentDom < 0.66 * ventMax) {
    lcd.print("vent moyen");
  } else {
    lcd.print("vent fort");
  }
  delay(1000); //pause d'une seconde
}
```

13. Recursos adicionales para profesores

- Météo France : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-stations-au-sol>
- Météo à l'école : <https://www.infoclimat.fr/pedagogie/>
- Web Arduino

Los aerosoles primarios y su impacto climático en la Tierra

1. Introducción & Pb



Una esquiadora en Sochi, Rusia.

<https://www.parismatch.com/Actu/Environnement/Pourquoi-il-est-tombe-de-la-neige-orange-en-Russie-1486670>

En marzo de 2018 llegó un extraño fenómeno a Rusia y a toda Europa del Este: la nieve naranja que cubre las pistas de esquí.

En invierno, en los Alpes franceses se encuentran con frecuencia capas coloreadas de nieve, y las llamadas lluvias de barro hacen las delicias de los lavacoches.



En Marsella, el pavimento, los coches y los autobuses están cubiertos de arena -Maxppp

<https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/la-provence-touchee-par-des-pluies-de-sable-1459761392>

Vamos a tratar de explicar este fenómeno.

2. Edad de los estudiantes 15 – 17 años

3. Objetivos

A partir de un hecho concreto y el estudio de una muestra descubriremos lo que es un aerosol primario y estudiar su impacto en el clima tanto cuando entra en suspensión en la atmósfera como cuando vuelve a caer al suelo.

En primer lugar, trataremos de determinar con un fotómetro el tamaño de las partículas presentes en la muestra tomada con el fin de determinar su naturaleza y, por lo tanto, su influencia en el clima.

Entonces veremos si precipitaciones intensas pueden tener fuertes impactos en el clima.

4. Disciplinas primarias

Física – Ciencias de la Tierra – Tecnología

5. Temas adicionales

programación Arduino

6. Tiempo requerido 2h

7. Términos clave

Aerosoles, albedo, absorbancia.

8. Materiales

- Paso 1

- Una muestra del polvo húmedo; en este ejemplo, partículas recogidas de la nieve naranja del sur de los Alpes.
- Un Calitoo
- Dos recipientes transparentes
- Una lámpara de 12V en un soporte
- Un PC equipado con el software Calitoo

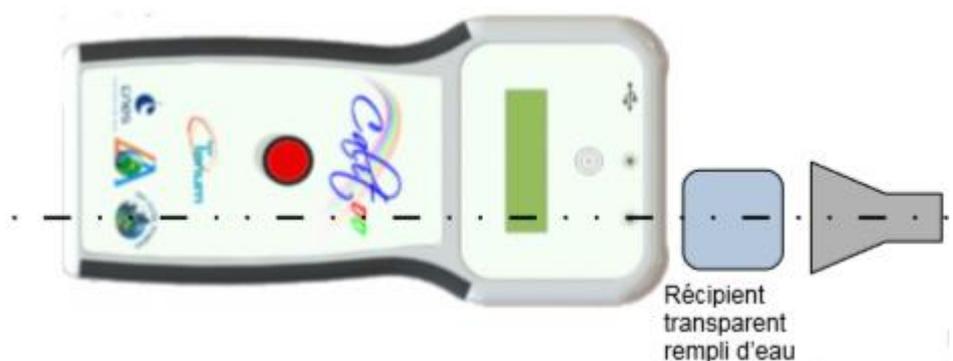
- Paso 2

- Una muestra del polvo húmedo; en este ejemplo, partículas recogidas de la nieve naranja del sur de los Alpes.
- Un luxómetro
- Dos recipientes transparentes
- Una lámpara de 12V en un soporte

9. Fundamentos

10. Procedimientos

- Realización del montaje con el Calitoo:





- Puesta en marcha de las medidas

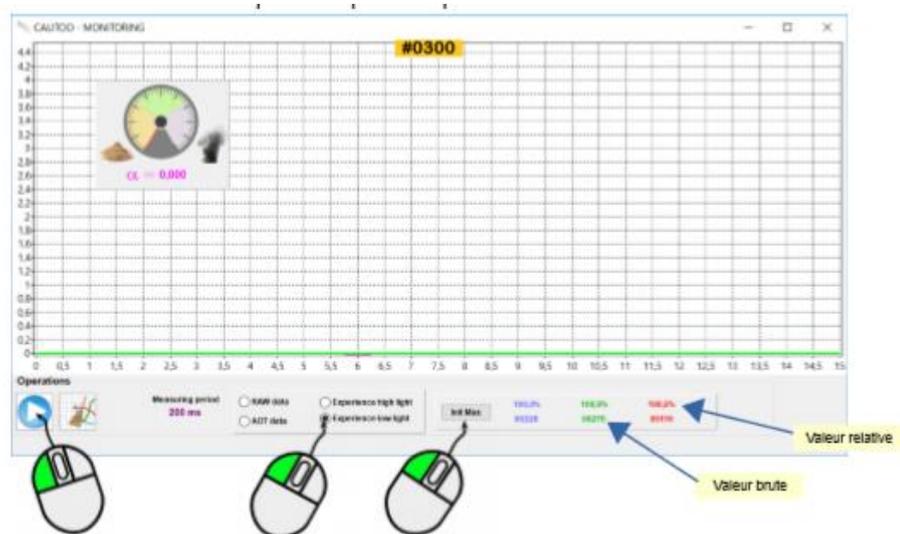
El primer paso de la simulación es medir el nivel de referencia. Es decir, el equivalente de una atmósfera sin aerosol y, por lo tanto, necesitamos medir el flujo de luz a través de un recipiente lleno de agua pura.

En el módulo de monitoreo, seleccione

- Experimento con poca luz y luego, para iniciar las mediciones, haga clic en el botón redondo azul a la izquierda.

Coloque el recipiente de agua pura y encienda la luz.

Haga clic en el botón [Init Max] para empezar y obtener el nivel de referencia.



- Experimente con nuestra muestra de partículas extraídas de la nieve
Sustituya el recipiente lleno de agua pura por un recipiente que contenga las partículas suspendidas.

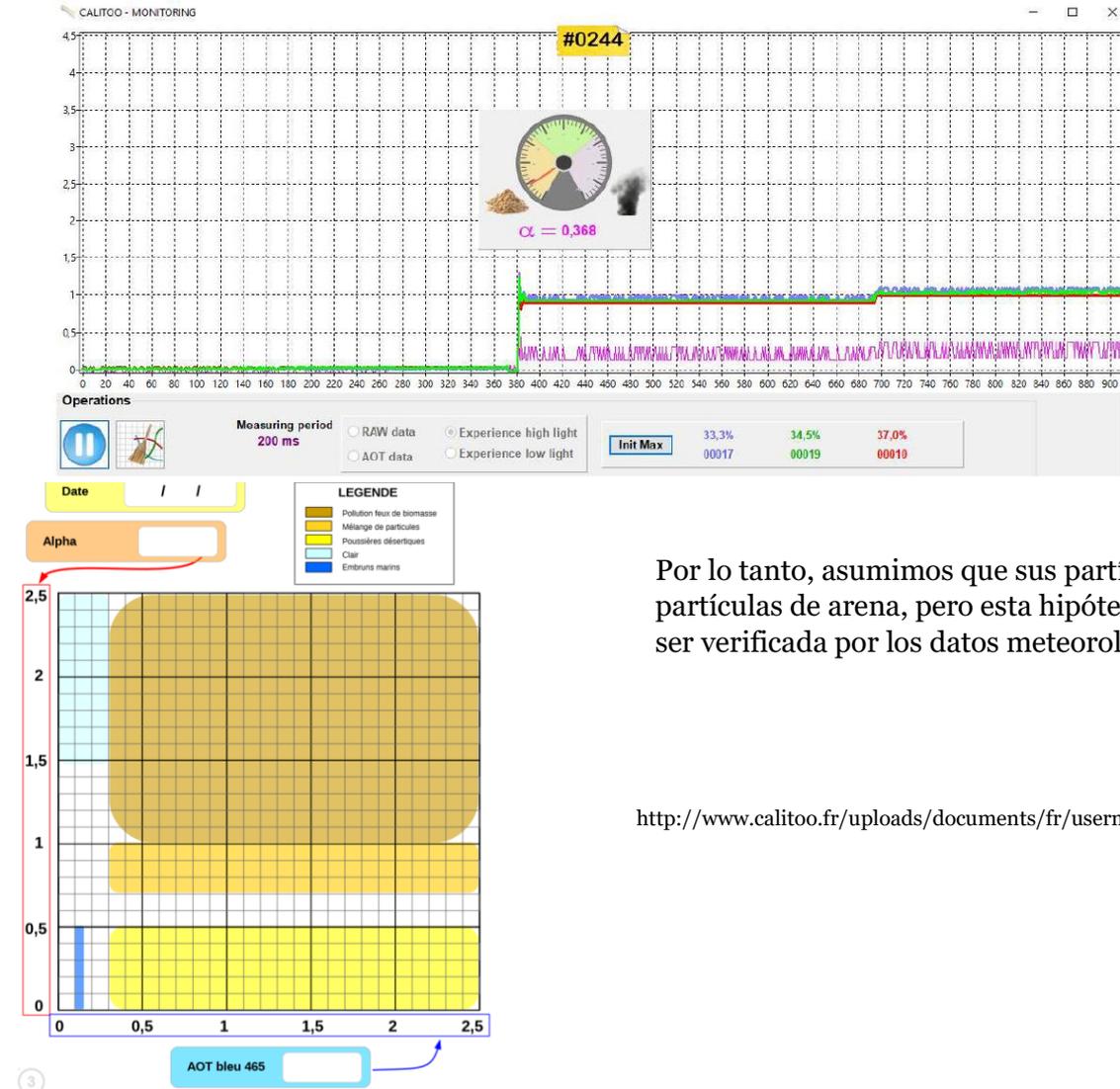
Resultados:

Visualmente, las curvas azul, verde y roja están muy cercanas.

- La aguja del medidor de partículas apunta hacia la pila de arena, lo que indica la detección de partículas grandes.

- El coeficiente de Angstrom (Alpha) es bajo, lo cual es señal de la presencia mayoritaria de partículas grandes.





Por lo tanto, asumimos que sus partículas son partículas de arena, pero esta hipótesis debe ser verificada por los datos meteorológicos.

http://www.calitoo.fr/uploads/documents/fr/usermanual_fr.pdf

Un estudio de los mapas meteorológicos, así como de las imágenes de satélite de 26 y 27/08/2018 correspondientes a las nevadas de Sochi confirman esta hipótesis.

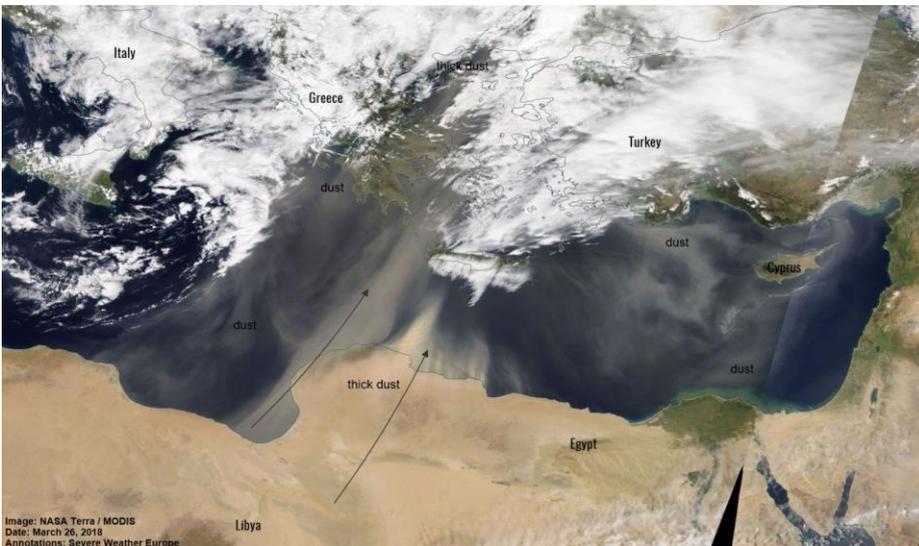


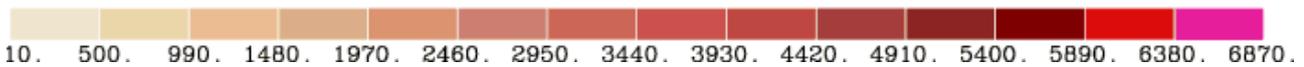
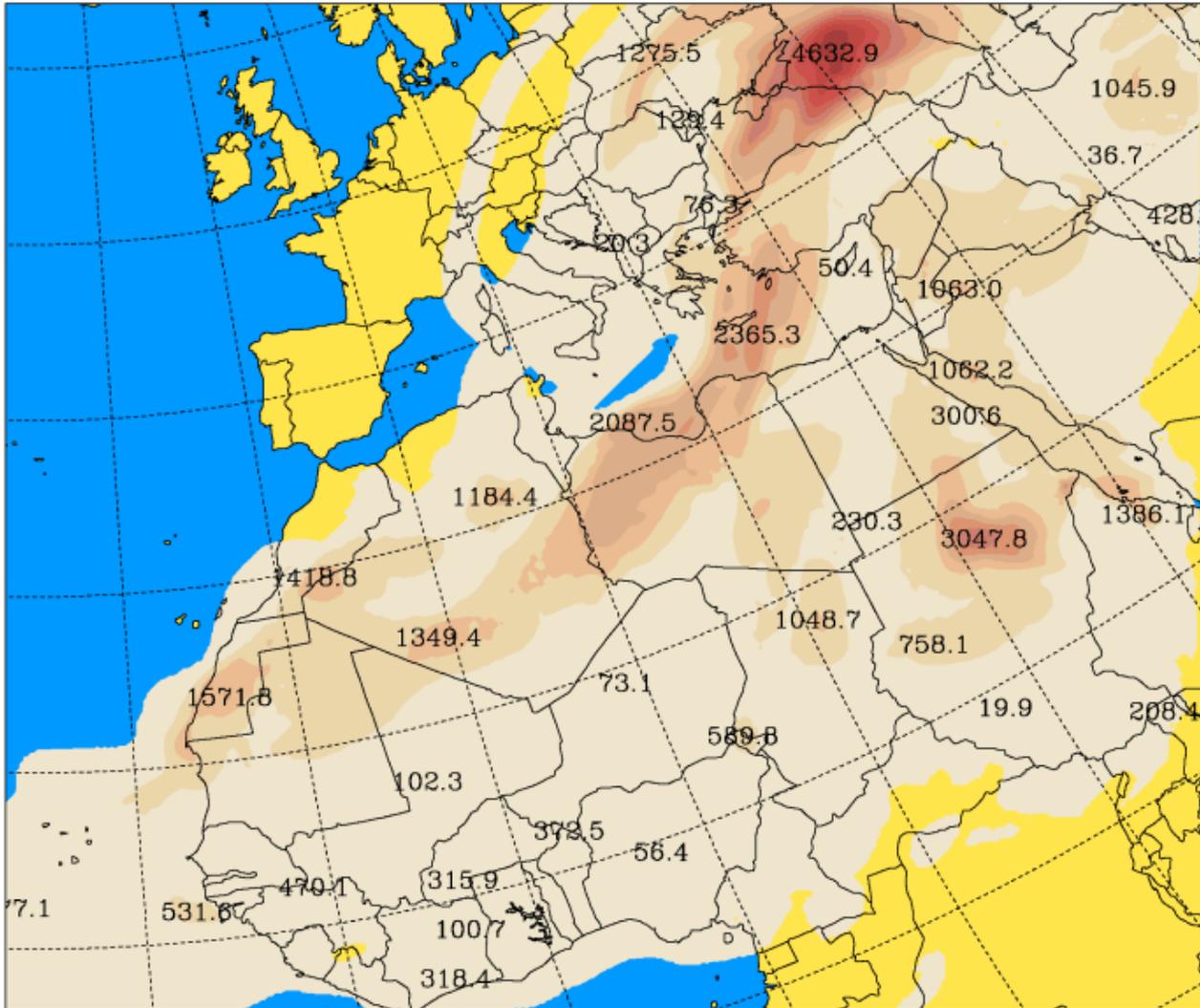
Imagen de satélite Terra / MODIS del Mediterráneo, 26 de marzo. Crédito: Severe-weather.eu.

University of Athens (AM&WFG)

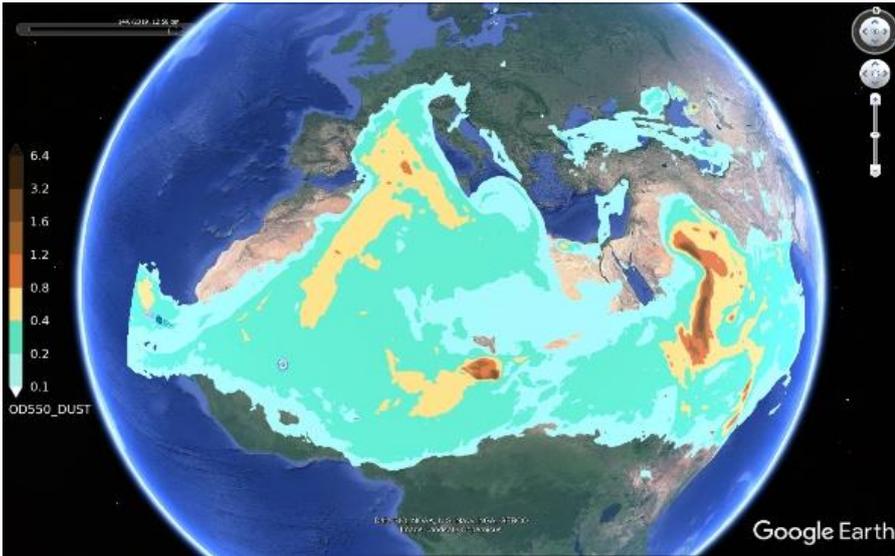
SKIRON Forecast

Total Dust Load (mgr/m^2)

Tue 27.03.18 at 00 UTC



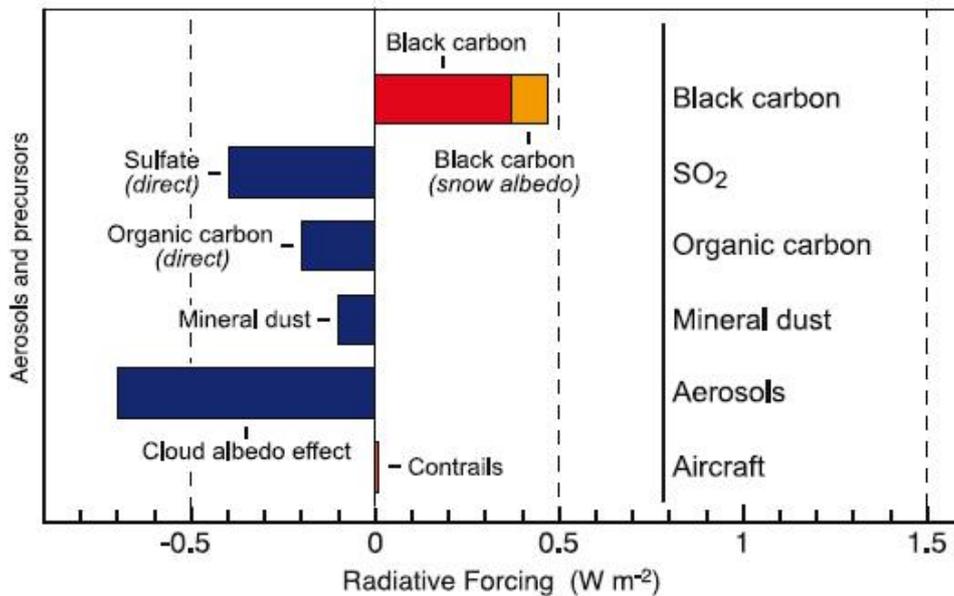
Previsión del modelo SKIRON de la Universidad de Atenas para el 27 de marzo



También se puede observar que al sur de Francia a menudo llega polvo del desierto
<https://dust.aemet.es/forecast>

- ¿Cuáles son los efectos de estas partículas minerales sobre el clima?
Cuando están en forma de aerosol

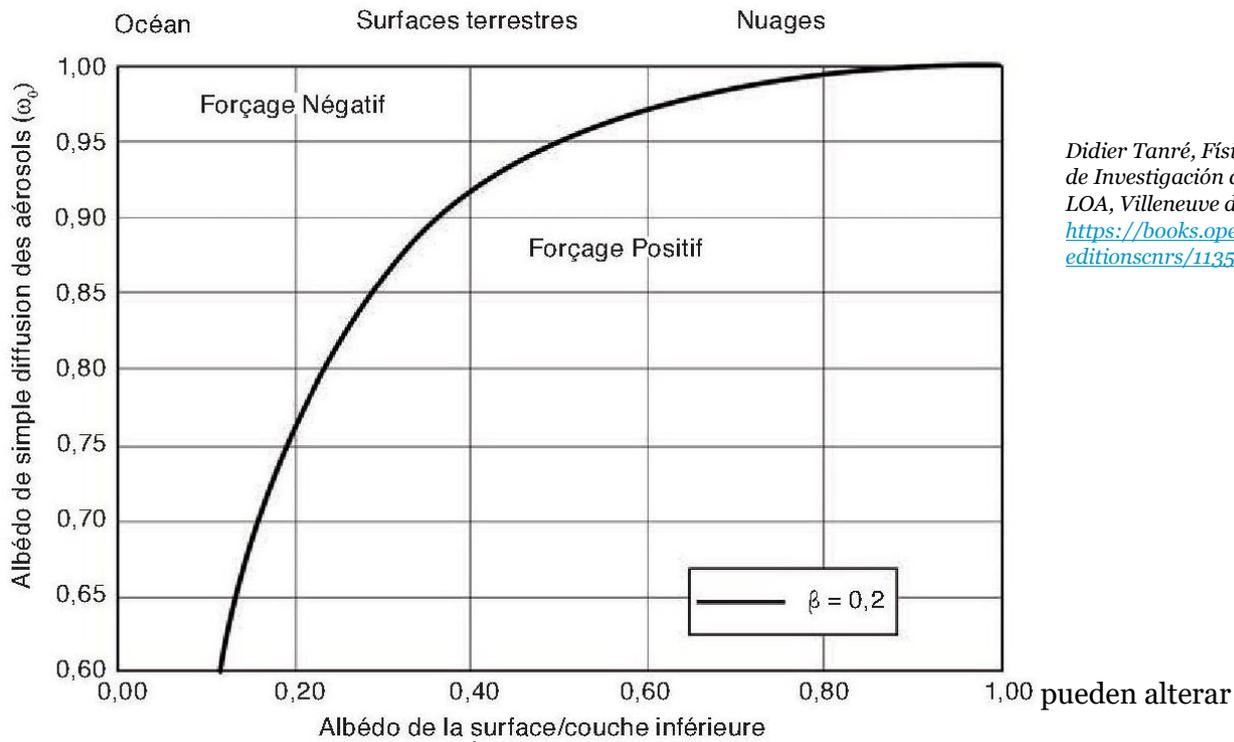
Evaluar el impacto general de los aerosoles es más fácil y da valores más fiables que cuando se consideran los aerosoles individualmente. Sin embargo, los investigadores están tratando de cuantificar el forzamiento radiativo de diferentes tipos de aerosoles. Por ejemplo, tenemos las siguientes estimaciones para el forzamiento radiativo promedio de diferentes aerosoles:



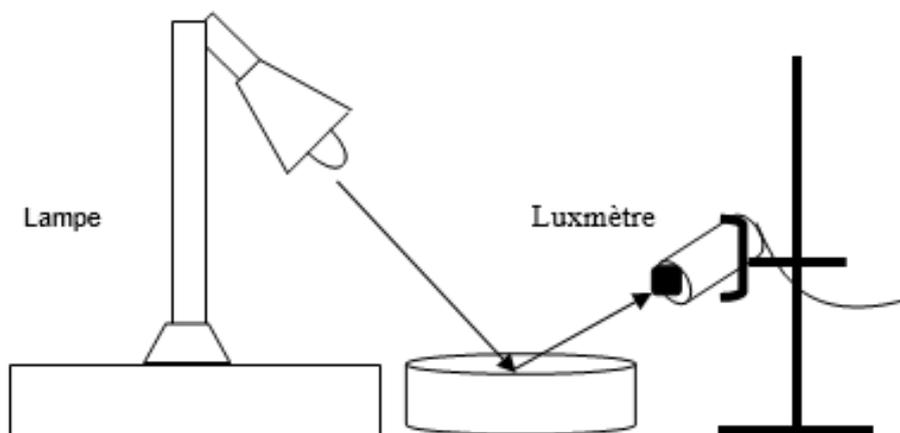
Forzamiento radiativo de diferentes aerosoles (fuente: *IPCC, 4o informe, chp. 2, 2007*).

De hecho, es muy difícil establecer un impacto radiativo del polvo mineral porque se ha demostrado que intervienen muchos factores como la cubierta de nubes y la altitud a la que está, la altura de la capa de polvo, el tamaño de las partículas de polvo y su profundidad óptica.

Además, el impacto radiativo de un aerosol dependerá de la naturaleza de la superficie subyacente, por ejemplo "sobre superficies oscuras como el océano, el aerosol, aunque sea absorbente, causará siempre un aumento en el albedo y por lo tanto un forzamiento negativo (enfriamiento). Para superficies más reflectantes, como las desérticas ($\rho_s = 0,5$), el efecto del aerosol será muy sensible a su capacidad de absorción: un albedo ω_0 por debajo de 0,95 será suficiente para causar un calentamiento del clima.»



El albedo tierra-atmósfera es la fracción de energía solar que se refleja de nuevo al espacio. Por lo tanto, mediremos con un luxómetro la intensidad luminosa reflejada por una superficie blanca y luego la intensidad luminosa reflejada por una superficie blanca cubierta de partículas de arena.





Resultados obtenidos:

Atención: ¡Como el luxómetro que hemos utilizado aquí es una fotorresistencia montada en una placa Arduino, el valor medido no tiene unidad! Este es un valor puramente indicativo.

Sin partículas de arena: 10:51:13 .092 -> Valor de la luminosidad = 916

Con partículas de arena: 10:52:41.037 -> Valor de la luminosidad = 897

La cantidad de luz reflejada disminuye con el polvo del desierto

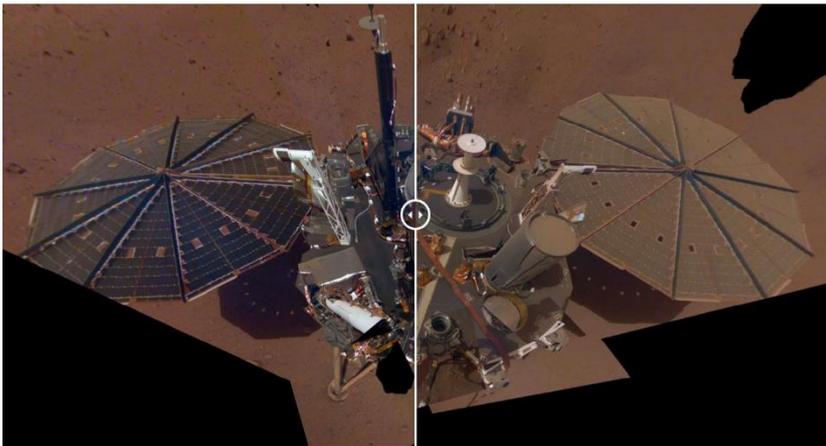
La coloración de la nieve, por lo tanto, disminuye su albedo, favorece el aumento de la temperatura del suelo y, por tanto, provoca su derretimiento

Aerosol primario e impacto climático en Marte

1. Introducción & Pb

Sabemos que incluso los aerosoles naturales pueden tener un impacto en el clima.

Tanto en Marte como en la Tierra, las partículas minerales están suspendidas en el aire como se muestra en los selfies de insight.



Selfie de insight Dic 6, 2018

Selfie de Insight May 6, 2019

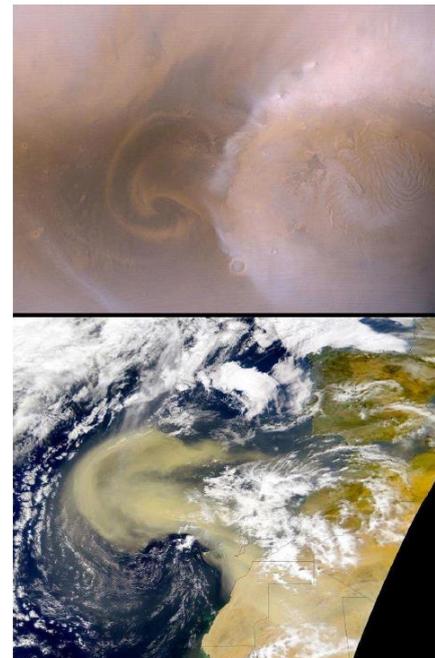
NASA/JPL-Caltech

Podemos ver en esta fotografía que el polvo mineral se ha asentado en el Lander. Este polvo también se puede poner en marcha de nuevo por las turbulencias atmosféricas como el "dust devil", como lo demuestran las variaciones repentinas en la eficiencia de los paneles solares.

Del mismo modo, las imágenes de satélite confirman que en marzo hay fenómenos a gran escala relacionados con la suspensión de partículas minerales en la atmósfera.

En esta foto, comparamos una reciente tormenta de polvo en Marte con una tormenta que ocurrió a principios de este año en la Tierra.

La imagen superior muestra una tormenta de polvo del Marciano Polo Norte observado el 29 de agosto de 2000. La tormenta se mueve como un frente, hacia afuera se puede observar un "chorro" central, y "remolinos" marginales. Esta imagen, se extiende a unos 900 km de la capa de hielo estacional del Polo Norte. El área de el lado derecho de la imagen de Marte incluye el Polo Norte. La imagen inferior muestra una tormenta de polvo del 26 de febrero, 2000. Esta tormenta se extiende a unos 1800 km (1100 millas) de la costa noroeste de África, cerca del ecuador de la Tierra. Ambas imágenes se muestran a la misma escala; 4 km (2.5 mi) por píxel.



<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA02807>

2. Edad de los estudiantes

15-17 years

3. Objetivos

Determinar si el transporte de polvo mineral marciano influye en el clima

4. Sujetos primarios

Física y Ciencias de la Tierra

5. Temas adicionales

6. Tiempo requerido

2 horas

7. Términos clave.

Aerosoles, albedo

8. Materiales

Mesurim

Medidor digital de luz (luxómetro)

Dos contenedores de poliestireno transparente

Una lámpara de 12 V colocada en una manga

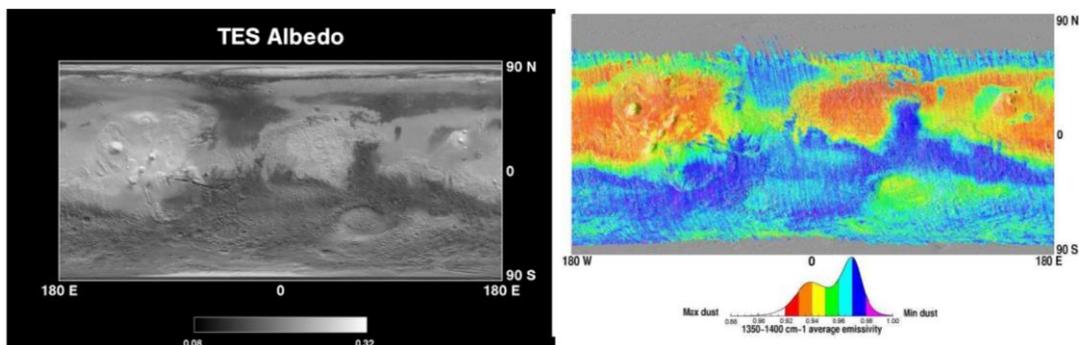
9. Fundamento

Aerosoles primarios e impacto climático en la Tierra. El impacto radiativo de un aerosol dependerá de la naturaleza de la superficie subyacente.

10. Procedimiento

- Primero trataremos de averiguar si las variaciones de albedo pueden ser explicadas por una diferencia en la composición del suelo marciano.

Compararemos un mapa del albedo global de marzo y la distribución de la arena. Para ello utilizaremos mesurim y la función overlay.

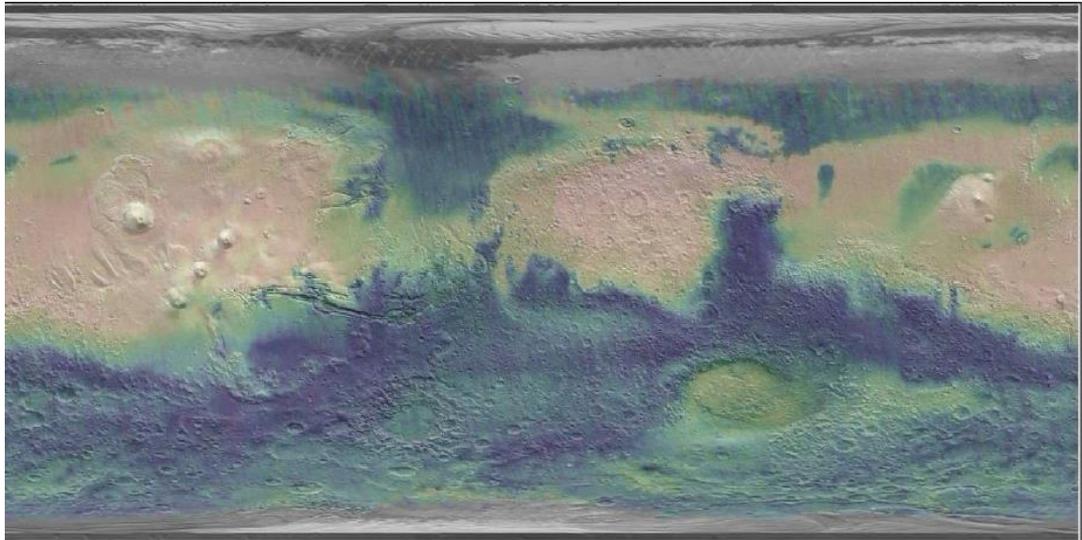




Abrir "albedo.jpeg" y "dust.jpeg" a mesurim.

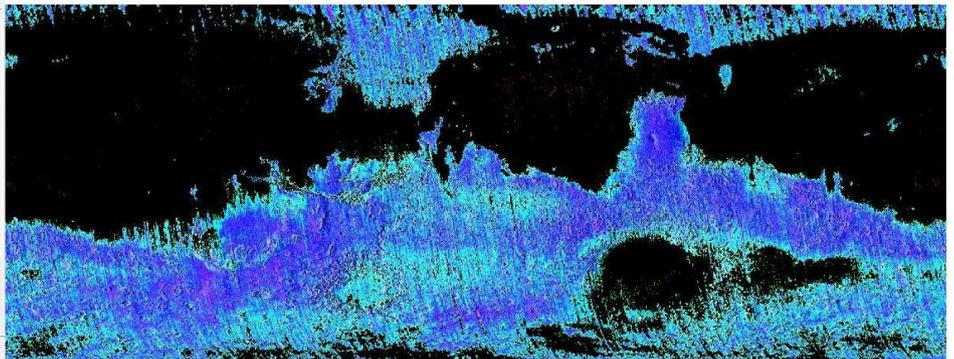
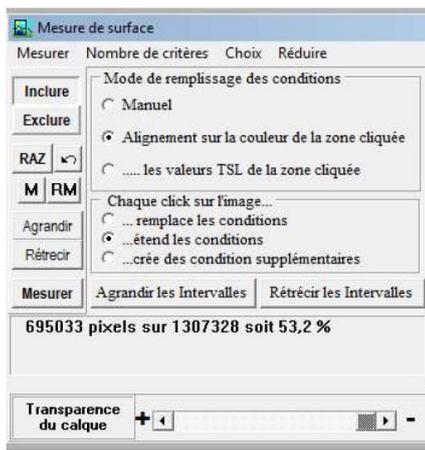
A continuación a Imagen seleccionar "to overlay image" tal y como se muestra en la imagen de la izquierda. Ajustar la opacidad para facilitar la visión.

Resultado:



Inmediatamente observamos una correlación entre el albedo y la presencia de arena.

Si avaluamos, con Mesurim, la superficie de base cubierta de arena a Planisferium de Martian podemos ver que ocupa un 50% del total de superficie de la cual tenemos información.

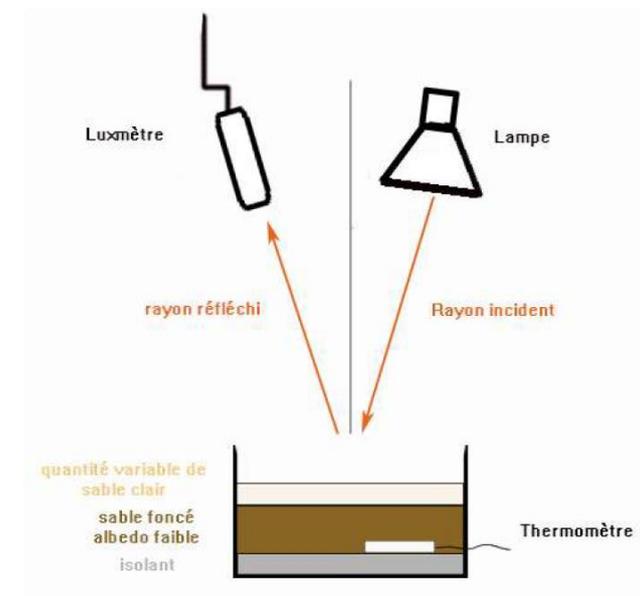
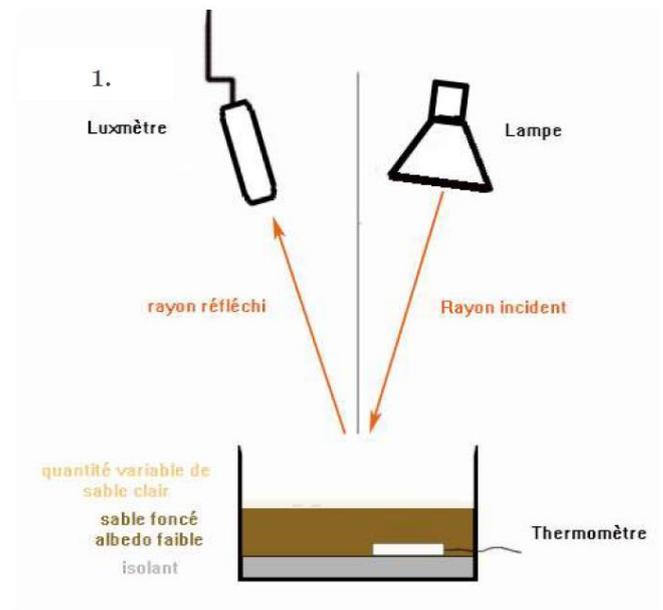
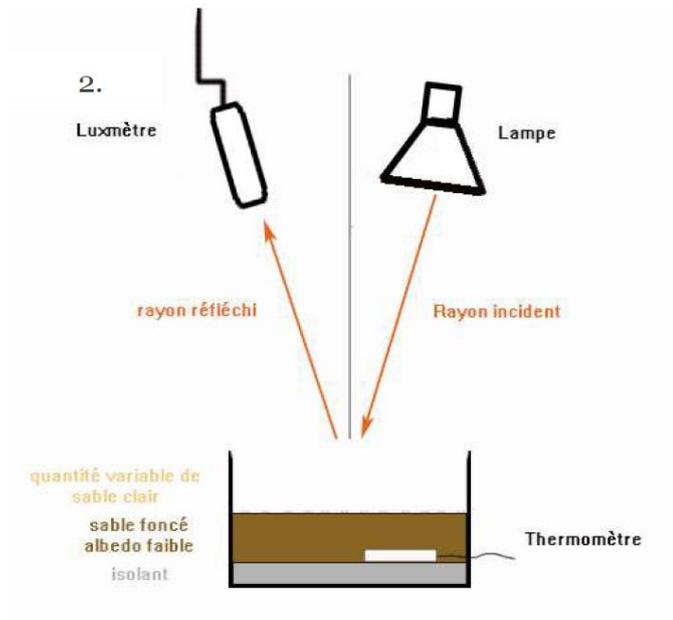


El transporte de polvo podría tener un impacto en la inercia térmica de áreas con un albedo más bajo que representan una gran superficie del planeta.

- A continuación, intentemos modelar el recubrimiento de deposición de partículas minerales con un albedo alto desde el suelo hasta el albedo inferior.

Compare la evolución de la temperatura de los siguientes tres ensamblajes durante un período de tiempo equivalente:

Atención, la cantidad total de polvo debe ser equivalente para cada experimento.

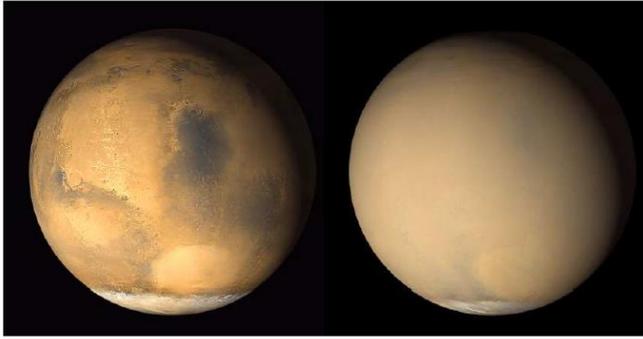


Resultados obtenidos:

Hay una disminución en el calor absorbido por el suelo, pero sólo si la cantidad de arena clara cubre completamente el suelo oscuro y sobre un gran espesor (Figura 3.) un simple empolvamiento (Figura 2.) no es suficiente para tener un efecto sobre la temperatura, incluso si hay un aumento de la luz reflejada.

Así que sólo una acumulación de una gran cantidad de materia mineral podría influir en el albedo y por lo tanto en la inercia del planeta.

<http://www.mars.asu.edu/~ruff/DCI/2001JE001580.pdf>



Sin embargo, se ha observado que las tormentas de arena globales podrían ocurrir en Marte, tras lo cual se pueden observar variaciones en el albedo durante un año después de esta tormenta.

Las dos imágenes tomadas en 2001 por la cámara orbital Mars Global Surveyor de la NASA muestran un cambio dramático en la apariencia del planeta a medida que la nube de polvo levantada por la tormenta en el sur se esparcía alrededor del mundo. Las imágenes fueron tomadas con un mes de diferencia.

https://www.researchgate.net/publication/263856153_Mars_surface_albedo_and_changes

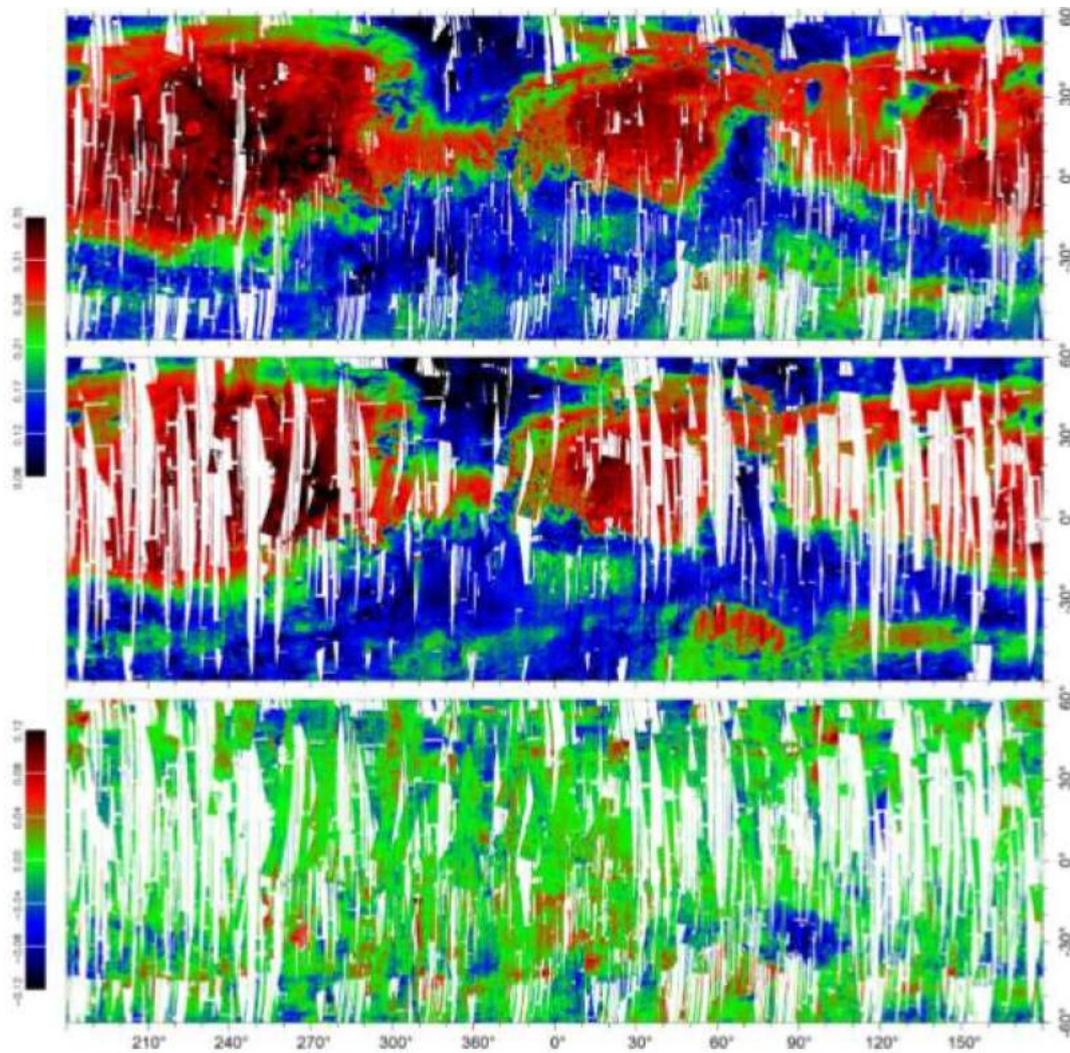


Figure 9: (top) albedo map prior to the MY28 GDS (orbits ≤ 4463 ; data from MY26 L_s 330° to MY 28 L_s 265°; 86% coverage). (middle) albedo map after the MY GDS (orbits ≥ 4758 ; data from MY 28 L_s 315° to MY 30 L_s 135°; 74% coverage). (bottom) difference albedo map (middle – top; 63% coverage). Quality level # 1 (Table 1) is used. Bright areas or brightening ≥ 0.04 are in red, dark areas or darkening ≤ -0.04 are in blue. Intermediate albedo and stable areas are in green.

Las variaciones diarias de temperatura en Marte

1. Introducción & Pb

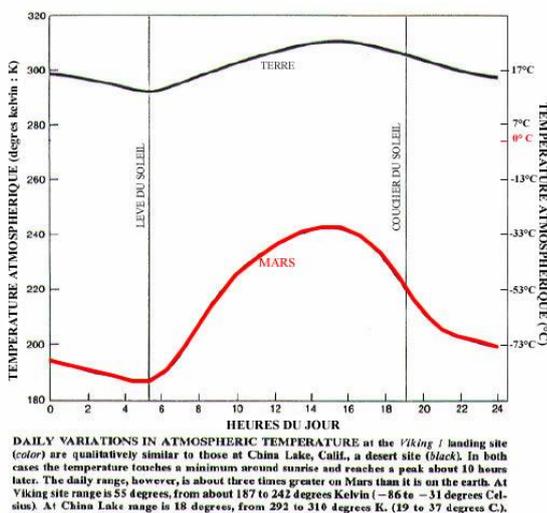
En Marte, se pueden encontrar en la superficie condiciones de verano: 20 °C, la brisa de los vientos alisios ... Pero la noche siguiente, la temperatura desciende decenas de grados y las condiciones de congelación, hasta -100 °C, reinarán hasta la mañana siguiente. De hecho, el suelo marciano, seco y 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.

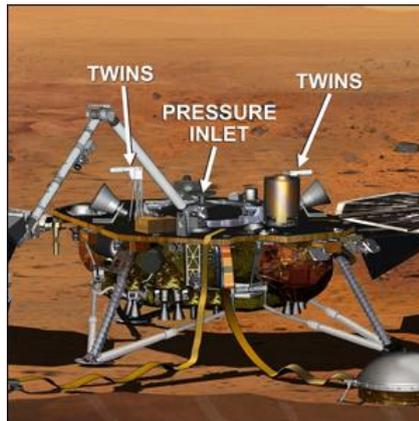
Fuente: Derechos reservados - © 1979
Según de Ryan y Henry, JGR

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.**

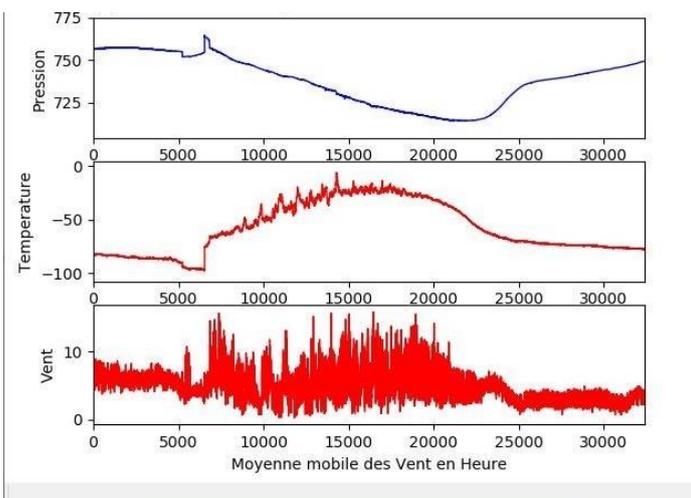
- En Marte:

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).

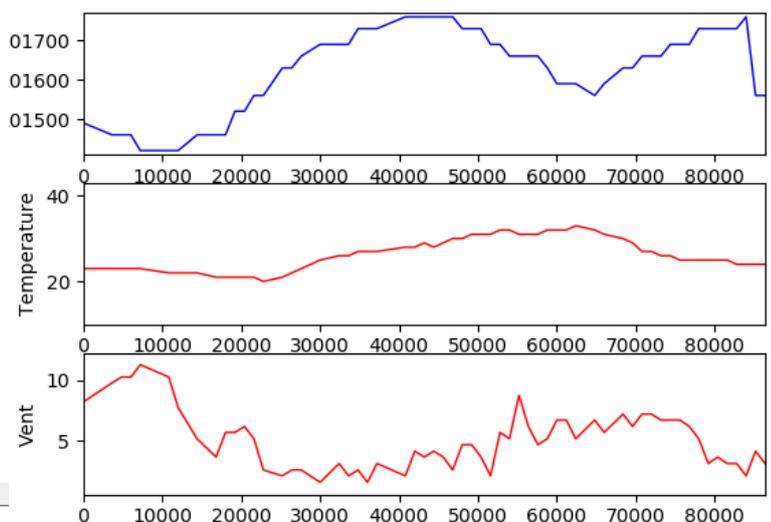
2. **Represente los gráficos de los parámetros que tiene disponibles utilizando el lenguaje Python.**

Resultados esperados:

En Marte



En la Tierra



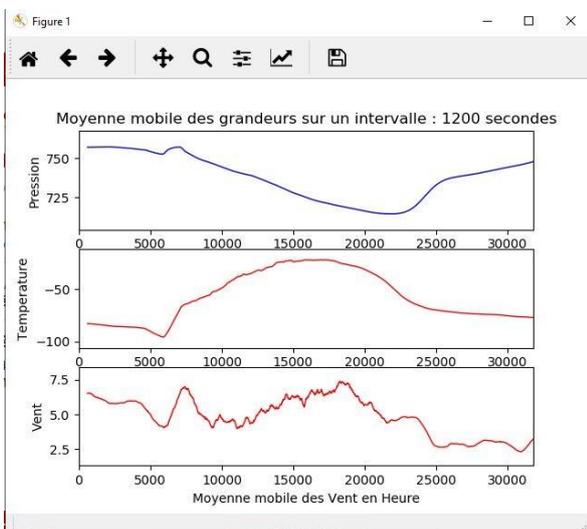
Tiempo: segundos - **Temperatura:** K - **Velocidad del viento:** m/s - **Presión:** Pa

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:

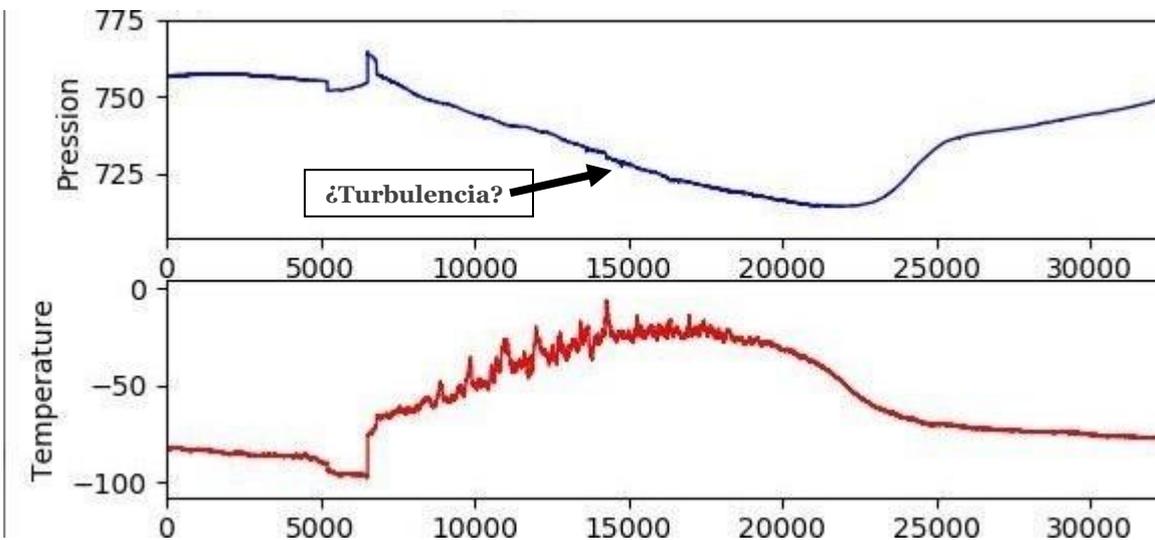


Vemos en el gráfico de presiones en Marte, ondas a gran escala llamadas "ondas de marea térmica".

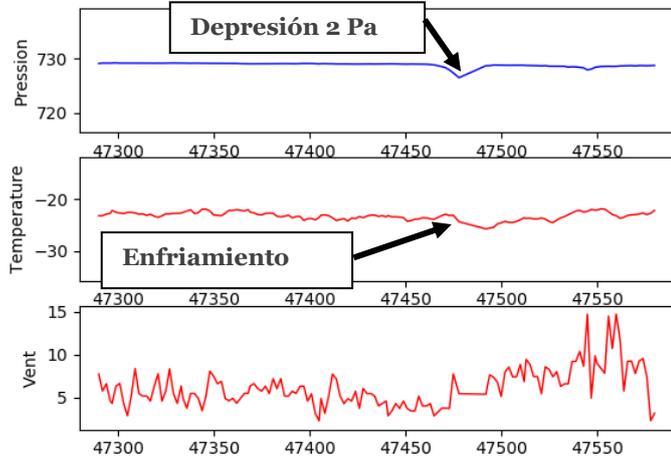
En efecto, las ondas de marea térmica son ondas a escala planetaria generadas por variaciones en la insolación del suelo debido al ciclo día-noche. Estas ondas aparecen en el campo de las componentes del viento y evolucionan con el tiempo solar local.

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:

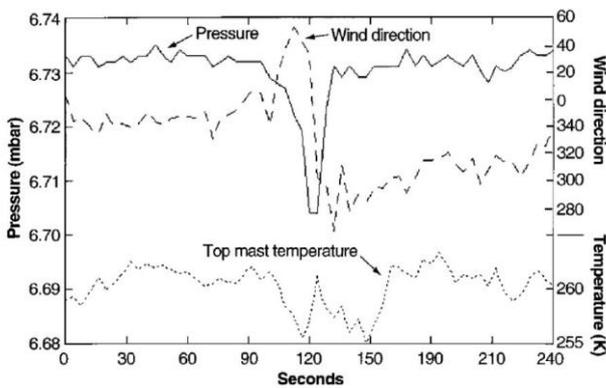


Las ondas de marea térmica en la atmósfera de Marte tienen una amplitud mucho mayor que en la Tierra porque el forzamiento térmico en Marte es muy fuerte debido a la absorción en el infrarrojo cercano del CO₂ atmosférico, a la absorción de la radiación infrarroja emitida por la superficie y al hecho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

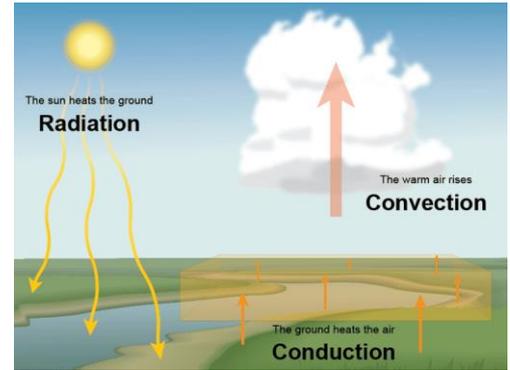
Fuente: Tesis del Dr. Aymeric Spiga «Dynamique méso-échelle de l’atmosphère martienne : développement d’un modèle météorologique et analyse des observations OMEG/Mars Express»

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.

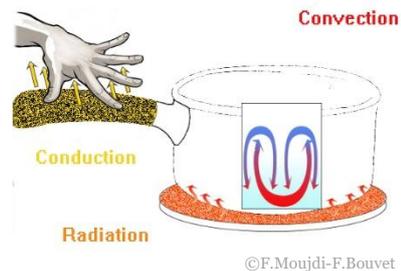
La altura y el diámetro del vórtice dependen de la inestabilidad y de la sequedad del aire.



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

Diseña 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

SEIS, un sismómetro bien envuelto

1. Introducción & Pb

En 2018, la NASA envió un nuevo módulo de descenso (*lander* en inglés) a Marte que explorará por primera vez "las entrañas" del planeta. Para llevar a cabo esta misión se planea registrar terremotos, impactos de meteoritos y así determinar la estructura interna del planeta: el robot está equipado con un sismómetro SEIS, a la vez sensible y resistente, desarrollado por el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales de Toulouse) en colaboración con el IPG (Instituto de Física del Globo en París).



Para proteger los sismómetros del medio ambiente, en la Tierra, los sismólogos los colocan en cuevas.

Pero para proteger SEIS del medio ambiente marciano, los científicos han diseñado una doble protección: el escudo de protección térmica y eólica WTS. Para comprobar su resistencia térmica, el dispositivo fue llevado a altas temperaturas en autoclaves (hasta 600 °C), antes de colocado en áreas a temperaturas heladas de hasta -75 grados centígrados.

Philippe Laudet, director de proyectos SEIS en el CNES

Marte y la Tierra son planetas rocosos muy similares. Algunos incluso hablan de planetas "gemelos". Pero entonces, ¿por qué los científicos han tenido que recubrir el sismómetro marciano bajo una concha protectora?

2. Edad de los estudiantes 14 – 16 años

3. Objetivos

El objetivo de esta actividad es determinar en qué difieren la atmósfera y el entorno de Marte de los de la Tierra y por qué es necesario diseñar instrumentos muy resistentes y probarlos muchas veces en condiciones extremas en la Tierra.

4. Disciplinas primarias

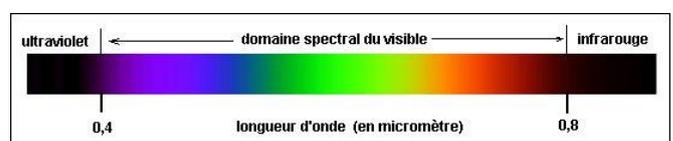
Química - Ciencias de la Tierra

5. Disciplinas adicionales

6. Tiempo requerido 1h30

7. Términos clave

Atmósfera - Gas - Ciclo de Carbono - Balance de radiación - Radiación Solar - Infrarrojo.



8. Materiales:

Composición de las atmósferas de los planetas del sistema solar	Modelización del balance de radiación de un planeta	Modelización de las variaciones en la radiación solar recibida por un planeta	Modelización del movimiento de las masas de aire
- Software "El Sistema Solar": https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/system-e-solaire/	- Placa - Aislante - Termómetro - Vidrio	- Lámpara - Planisferio - Placa perforada con agujeros	- Cono de incienso - Placa fría - Soporte - Hoja negra

9. Fundamento

La radiación solar incluye radiación ultravioleta de menos de 0,4 mm de longitud de onda y radiación infrarroja de una longitud de onda superior a 0,8 mm.

Los gases de efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, etc.) son prácticamente transparentes a la radiación solar (longitud de onda visible) y opacos a la radiación infrarroja emitida por la Tierra. El calor es atrapado.

10. Procedimientos

Se trata de redactar un artículo científico con los datos de Marte y la Tierra. Hay que incorporar las razones dadas por los científicos para explicar los procesos responsables de la pérdida de gran parte de la atmósfera de Marte.

En el informe debe figurar un diagrama de modelos moleculares, así como las fórmulas químicas correspondientes.

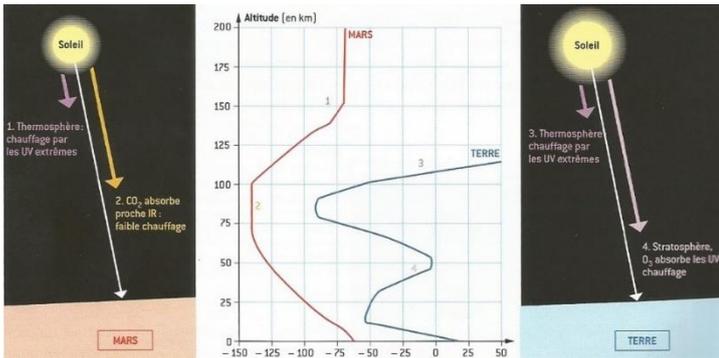
Por último, hay que deducir por qué los científicos responsables de la misión Insight Mars tuvieron que desarrollar instrumentos de medición muy resistentes para hacer frente al ambiente hostil de Marte.

I. La atmósfera de los planetas rocosos del sistema solar:

	Espesor	Componentes clave de la atmósfera	Estados del agua	Presencia de ozono
Tierra				
Marte				

1. Completar la tabla con la ayuda del software "Solar System".

El perfil de temperatura promedio en la Tierra y Marte:



En ambos planetas, la mayor parte de la masa de la atmósfera está confinada en los primeros kilómetros por encima de la superficie. La estructura térmica de la atmósfera se caracteriza en la Tierra por una gruesa capa de ozono calentada por la absorción de los rayos ultravioleta.

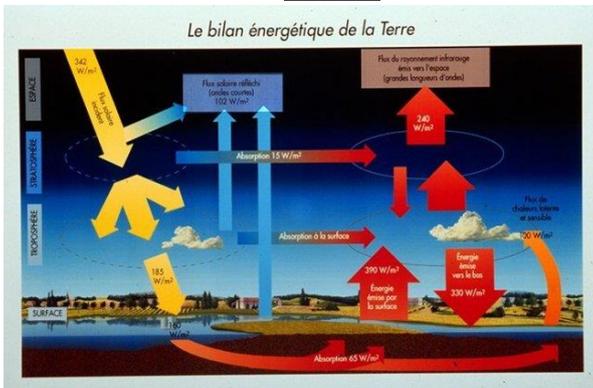
Nada de esto sucede en Marte, donde la capa de ozono es insignificante.

La planète Mars, Belin – Pour la Science – Forger, Costard et Lonnonné

Balance de la radiación y efecto invernadero:

Tierra

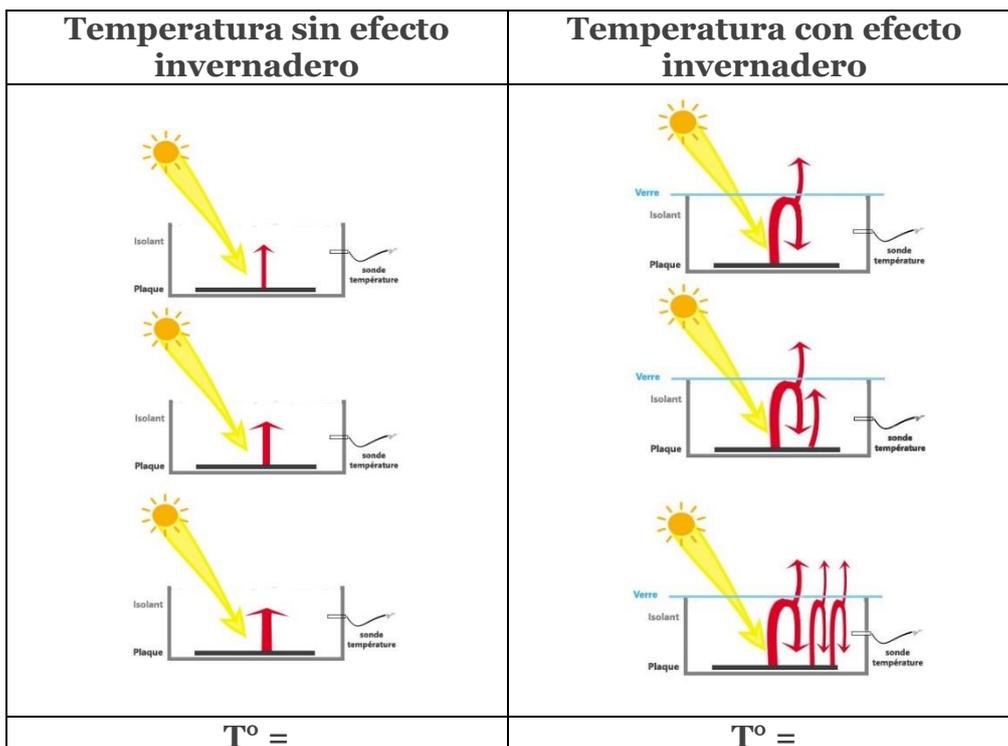
Marte



Marte tiene la mitad de aislamiento de la Tierra. La composición de la atmósfera (95% CO₂) la hace transparente a las longitudes de onda visibles. Por lo tanto, la atmósfera se calienta por la absorción de la radiación incidente visible y se enfría por la emisión térmica infrarroja. El flujo de radiación infrarroja emitido por la superficie es parcialmente absorbido por la atmósfera. El efecto invernadero es muy débil en Marte: 5K debido a las bajas presiones y la estrechez de la banda de absorción/emisión de CO₂.

Fuente de la imagen: (CNES, web scarab): <http://scarab.cnes.fr:8020/>

2. Modelización del equilibrio de radiación de un planeta con y sin efecto invernadero:



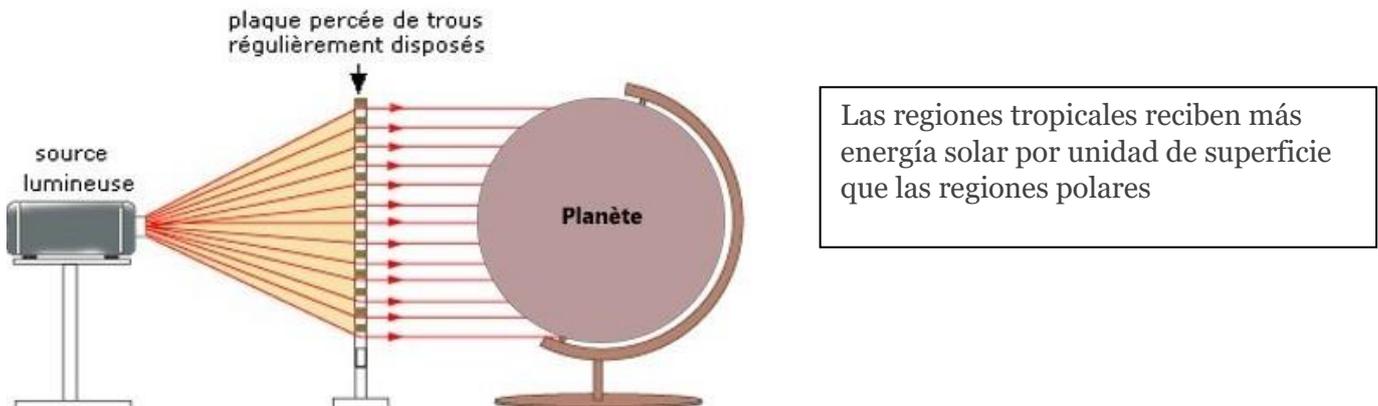
La placa expuesta al sol se calienta. A medida que recibe energía, su T aumenta. Emitirá más radiación y perderá más energía.
El vidrio permite que toda la radiación solar pase a través suyo y absorbe toda la radiación infrarroja. El vidrio absorbe la radiación infrarroja emitida por la placa y se calienta. A medida que se calienta, emite más radiación infrarroja y su temperatura aumentará hasta que pierda tanta energía como reciba.
La radiación emitida por el vidrio hacia arriba se pierde y la emitida hacia abajo es absorbida por la placa. La placa ahora recibe más energía de la que pierde, por lo que su temperatura subirá hasta que pierda tanta energía como reciba.
Se logra un equilibrio en el que la temperatura de la placa es más alta que en el soporte sin vidrio: es el efecto invernadero.

II. Circulación de vientos en la Tierra y Marte:

La circulación atmosférica se rige por las mismas leyes en la Tierra y Marte.
Los contrastes térmicos dan lugar a una diferencia en la presión atmosférica en altitud. Las masas de aire de alta presión (regiones calientes) son empujadas hacia las bajas presiones (regiones frías). Estas masas se mueven y generan vientos. Vamos a modelizar los factores responsables de la formación de los vientos.

1. Contraste térmico:

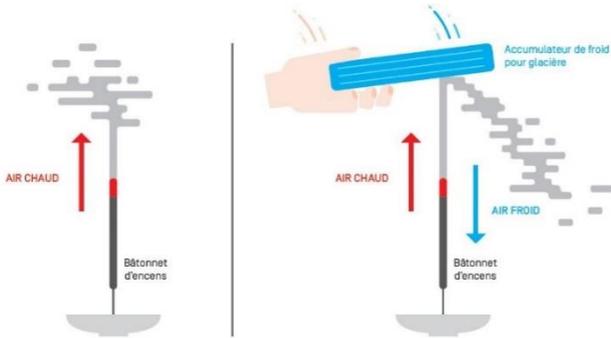
La radiación solar, al provocar contrastes de temperatura, genera movimientos atmosféricos.
Para una misma presión en la superficie encontraremos más aire en altitud en zonas calientes porque el aire caliente ocupa más volumen.



En la Tierra, la diferencia media entre los polos y el ecuador permanece constante en el tiempo, por lo que hay una transferencia de energía del ecuador a los polos. Esta transferencia está asegurada por las circulaciones que mueven los dos sistemas de fluidos del planeta, la atmósfera y los océanos.
Por lo tanto, el contraste térmico en la Tierra se encuentra principalmente a nivel de la atmósfera más baja más cálida en los trópicos que en los polos.

En cambio, en Marte, el contraste térmico se establece entre el hemisferio cálido primavera/verano y el hemisferio frío otoño/invierno, excepto durante el equinoccio cuando los dos polos Norte y Sur están fríos.

- Circulación meridiana:

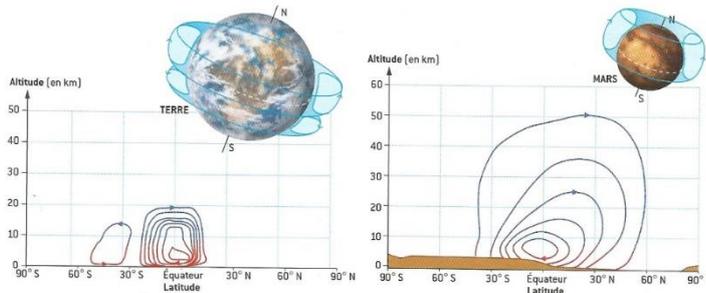


Hay una circulación meridiana impulsada por las diferencias de temperatura y, por lo tanto, de la densidad del aire (el aire caliente se expande y sube). Como resultado de esta circulación se producen cambios en la presión atmosférica.

Trabajo colectivo "SVT, Cycle 4" Réseau Canopé, 2017

En la Tierra, este flujo lleva aire caliente a los polos a grandes altitudes y aire frío al ecuador a baja altitud: las células de Hadley se llaman así en honor al físico inglés (1735). Este movimiento de masas de aire calientes y frías genera los vientos.

En Marte, sólo hay una célula de Hadley que une los dos hemisferios cruzando el ecuador.



La planète Mars, Belin – Pour la Science – Forger, Costard et Lognonné

2. La rotación del planeta:

Los movimientos del aire también se ven afectados por la rotación planetaria.

La velocidad de rotación de Marte y la Tierra, así como las variaciones estacionales de radiación solar son casi idénticas, lo que da como resultado un clima comparable.

De hecho, encontramos la "corriente en chorro" que viaja alrededor del planeta de oeste a este en las latitudes medias de los hemisferios sur y el norte; los vientos alisios entre los trópicos ...



La planète Mars, Belin - Forger, Costard et Lognonné

Fuente: eduscol.education.fr

11. Discusión de los resultados y conclusiones

Las atmósferas del planeta Tierra y Marte son muy diferentes: su composición, espesor, balance de radiación...

La Tierra absorbe más energía de la que emite con la atmósfera, el sistema gana energía. Sin embargo, en el caso de Marte, el balance de radiación es negativo y el planeta pierde energía. El contraste térmico es más acusado en Marte que en la Tierra. Algunas condiciones ambientales en Marte: amplitud térmica significativa y fuertes vientos

Los científicos tuvieron que diseñar el sismómetro SEIS para que fuese a la vez ultrasensible y, sobre todo, ultrarresistente frente al ambiente hostil de Marte caracterizado por diferencias extremas de temperatura, así como por fuertes vientos, turbulencias atmosféricas...

13. Explorar más (recursos adicionales para profesores)

- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/td-cycle-du-carbone2.xml>

- “La planète Mars”, François Forget – François Costard – Philippe Lognonné, Edition Belin

- Artículo de Sciences et Avenir « Tempêtes solaires : pourquoi elles peuvent être catastrophiques pour la Terre », Par [Erwan Lecomte](#) le [25.07.2014](#)

- Obra colectiva «SVT, Cycle 4» Canopé Edition Agir, 2017