

107

Simple + mente
física

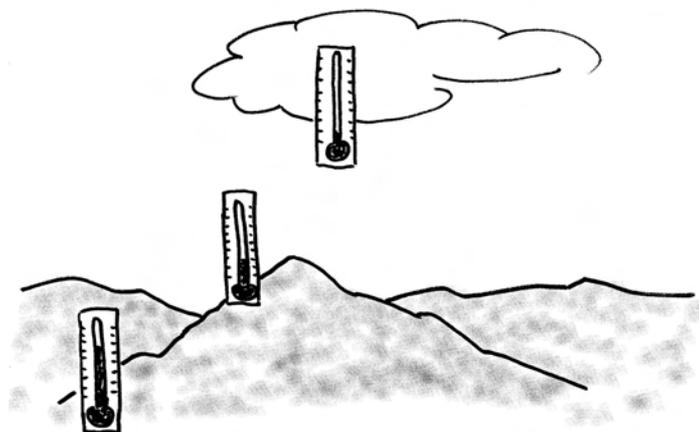


¿Por qué disminuye la temperatura con la altura?

(22 - 26 octubre 2007)

Hace algún tiempo, mi hija Clàudia me hizo la siguiente pregunta:¹ "¿Por qué en las montañas hace más frío si están más cerca del Sol?". Para añadir confusión a esta cuestión, yo añadí el siguiente dato: el aire caliente asciende, pues es menos denso que el aire frío.

En definitiva, la pregunta puede reformularse como sigue: ¿Por qué disminuye la temperatura al ascender en la atmósfera?



AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

Rafael García Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

*** La ilustración de la cabecera fue realizada por Clàudia García Abril a la edad de 7 años ***

¹ Cuando tenía ocho años y medio.

Resp.: El aire caliente, al ser menos denso que el de su entorno, asciende. Pero la presión atmosférica disminuye con la altura (ya que hay menos aire sobre cada nivel) y la masa de aire ascendente se expande adiabáticamente (es decir, sin intercambio de calor), ya que el aire es un buen aislante térmico, en muy buena aproximación. En la expansión adiabática de un gas el volumen V y la temperatura T están relacionados mediante $T V^{\gamma-1} = \text{constante}$, donde γ es el coeficiente de expansión adiabática del gas en cuestión (vid. **45s+mf**).

Puesto que $\gamma > 1$, al expandirse el gas, su temperatura disminuirá, por este motivo disminuye la temperatura al ascender una montaña.

A partir de la ecuación fundamental de la hidrostática (para dar cuenta de la disminución de la presión atmosférica con la altura), de la ecuación de estado de los gases y de la relación entre la presión y la temperatura en una transformación adiabática, se obtiene la siguiente expresión para la variación de la temperatura T con la altura h :

$$T = T_0 - \left(\frac{M g h}{R} \right) \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \quad (1)$$

donde M es la masa de un mol de aire, g es la aceleración de la gravedad terrestre y R es la constante universal de los gases. Tras sustituir los valores $R = 8.3 \text{ J/}^\circ\text{C}\cdot\text{mol}$, $M_{\text{aire}} = 0.029 \text{ kg/mol}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ y $\gamma_{\text{aire}} = 1.4$, se obtiene que la variación de la temperatura con la altura es $dT/dh = -0.010 \text{ }^\circ\text{C/m} = -10 \text{ }^\circ\text{C/km}$. El resultado experimental es que la temperatura desciende aproximadamente $6.5 \text{ }^\circ\text{C/km}$, pues en la estimación teórica anterior se han realizado bastantes aproximaciones. Es importante notar que esta disminución de la temperatura con la altura sólo tiene lugar en la troposfera, produciéndose alternancia en el ciclo disminución-aumento de temperatura a medida que se asciende en las siguientes capas atmosféricas (estratosfera, mesosfera, termosfera).

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...): La gráfica adjunta muestra la variación de la temperatura con la altura, tal como la copié del monitor con el que nos entretienen a los pasajeros en los aterrizajes y despegues de algunos vuelos; corresponde al vuelo Roma-Milán-Pekín del día 29 de julio de 1997. Puede apreciarse que los datos "experimentales" se comportan tal como indica la línea roja, que corresponde a la ec. (1), para cuya pendiente se obtiene el valor $-6.1 \text{ }^\circ\text{C/km}$ realizando el ajuste por mínimos cuadrados.

