GF3003
Ciencias Atmosféricas

Laura Gallardo Klenner
Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile

Primavera 2011

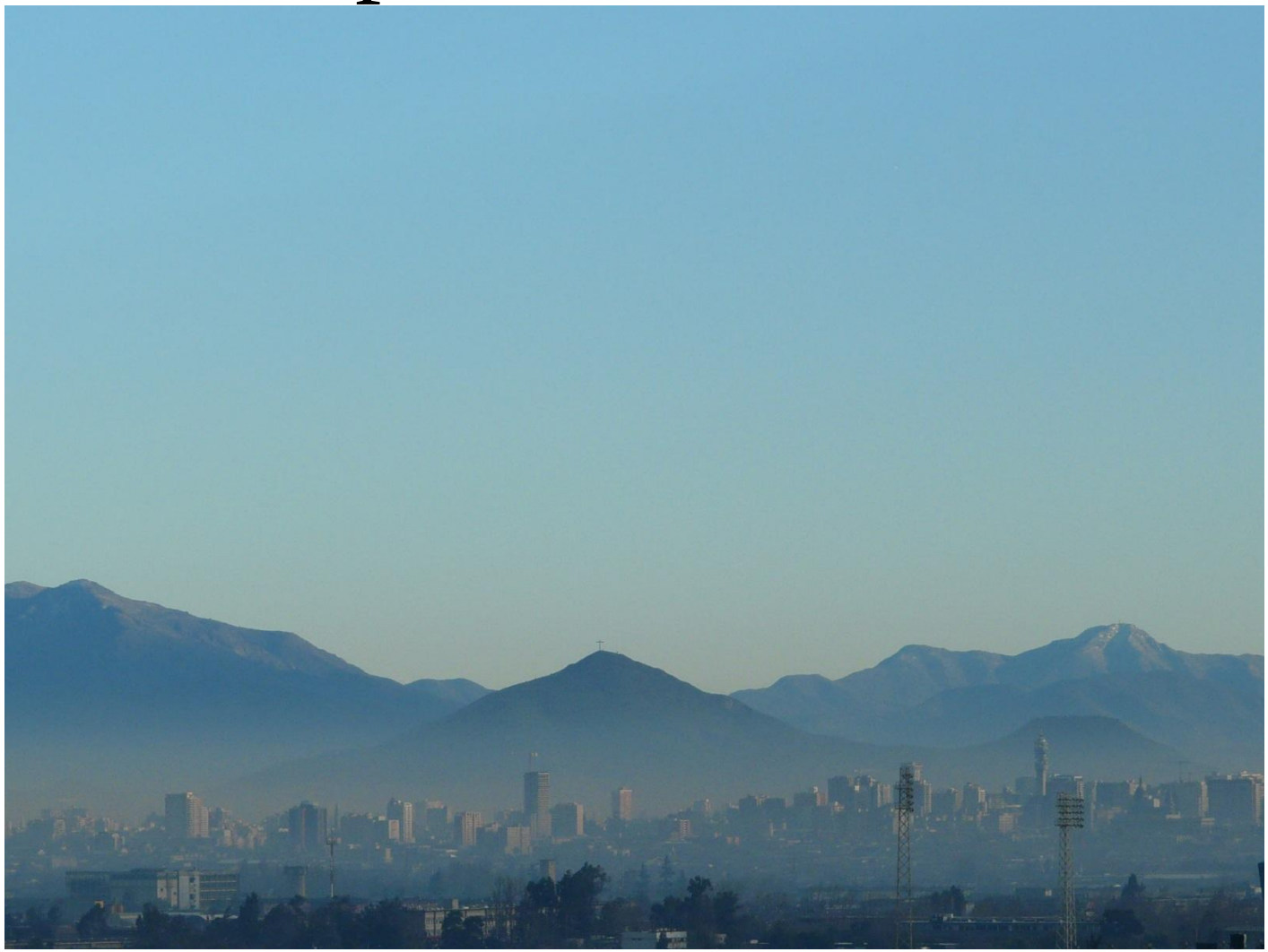
HOY: Termodinámica (1)
¿Cómo caracterizar la estabilidad atmosférica?

- Conservación de la energía en una parcela de aire (energía interna, entalpía)
- Gradiente adiabático seco
- Estabilidad (estática seca)
- Temperatura potencial

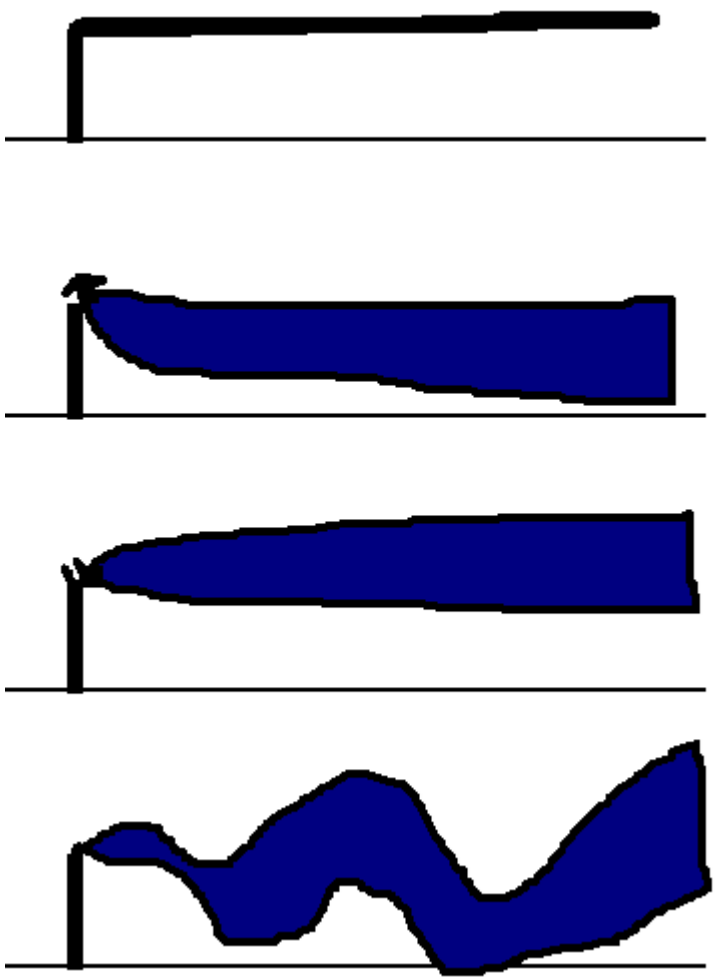
Más específicamente, el/la alumno/a será capaz de:

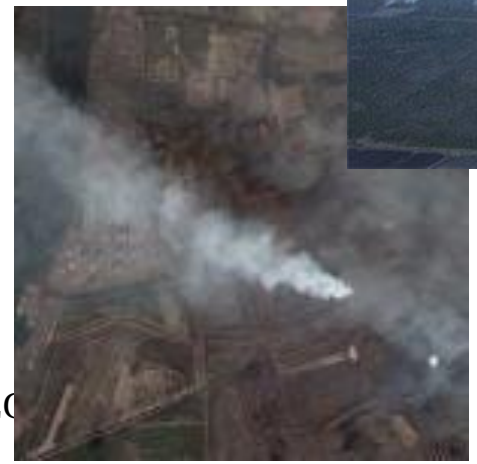
- Definir energía interna, trabajo y calor, entalpía
- Aplicar los principios de la termodinámica a la caracterización de procesos de mezcla atmosférica (estabilidad)
- Caracterizar la estabilidad atmosférica a partir de la temperatura potencial y la convencional

¿Cómo se explica esta estratificación?



¿Cómo se explica esta mezcla?





Primera Ley de la Termodinámica

El cambio en la energía interna (du) de un sistema sólo depende del cambio entre el estado inicial y final

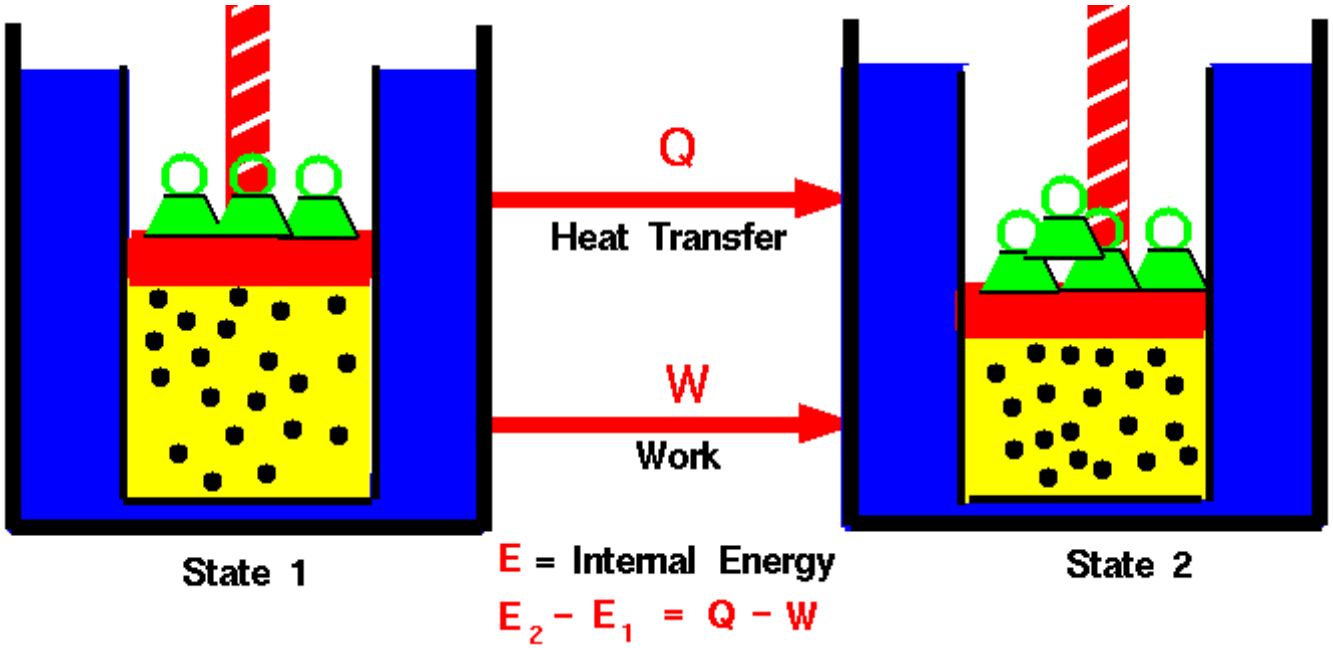
$$du = dq - dw$$

Incremento diferencial de calor agregado al sistema (+)

Elemento diferencial de trabajo realizado por sistema (-)

http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/thermo1.html

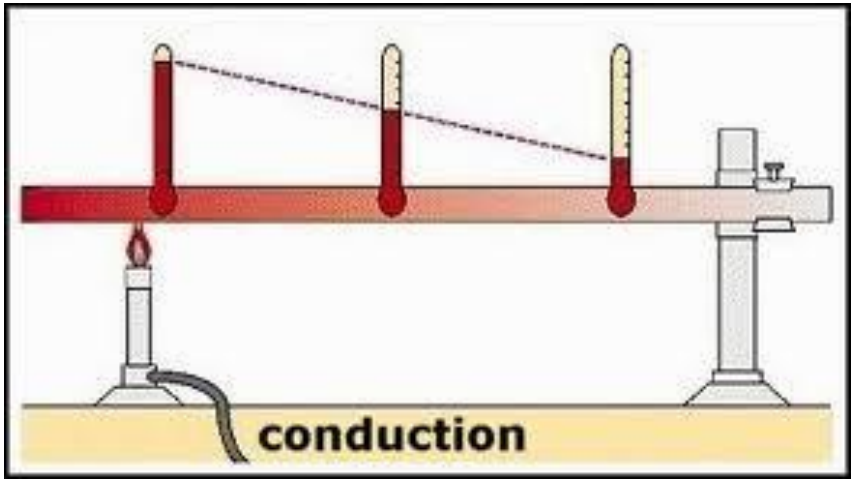
1ª Ley de la TD



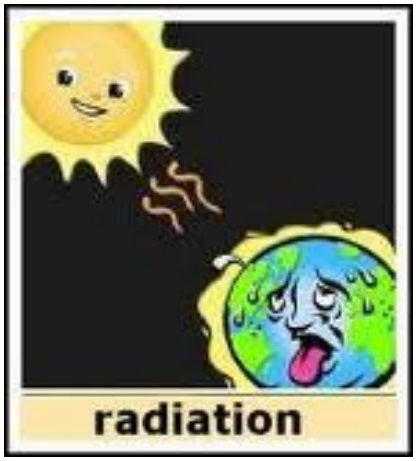
$$du = dq - dw$$

http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/thermo1.html

¿Qué es «dq»?

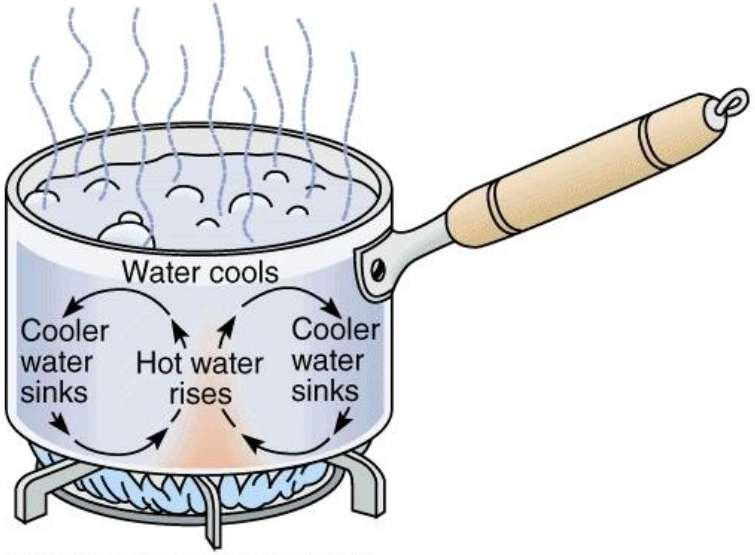


Calentamiento por conducción

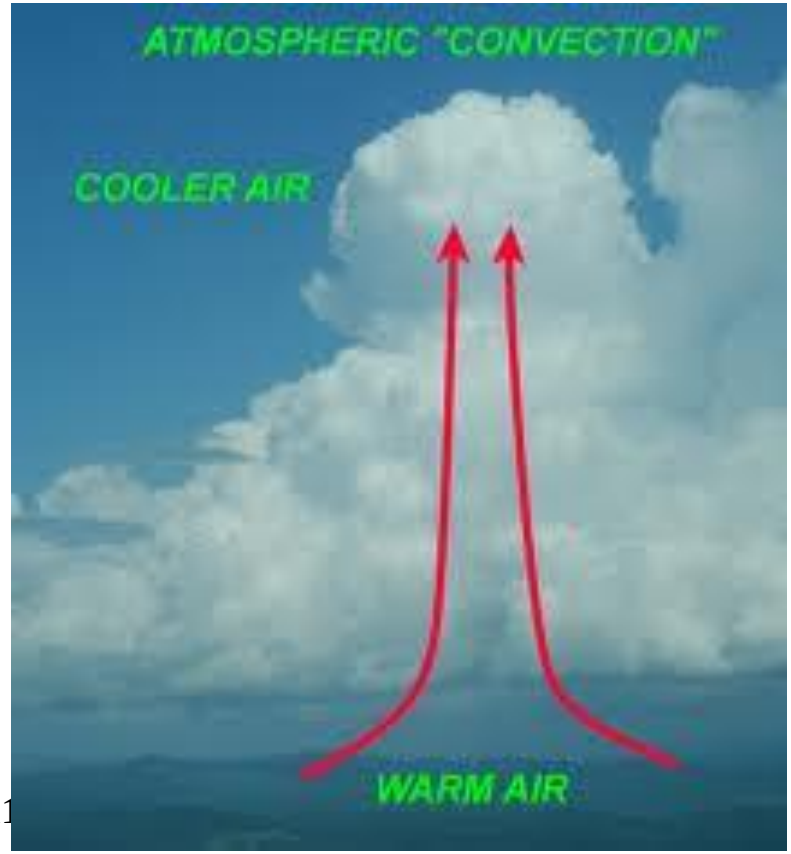


Calentamiento por radiación

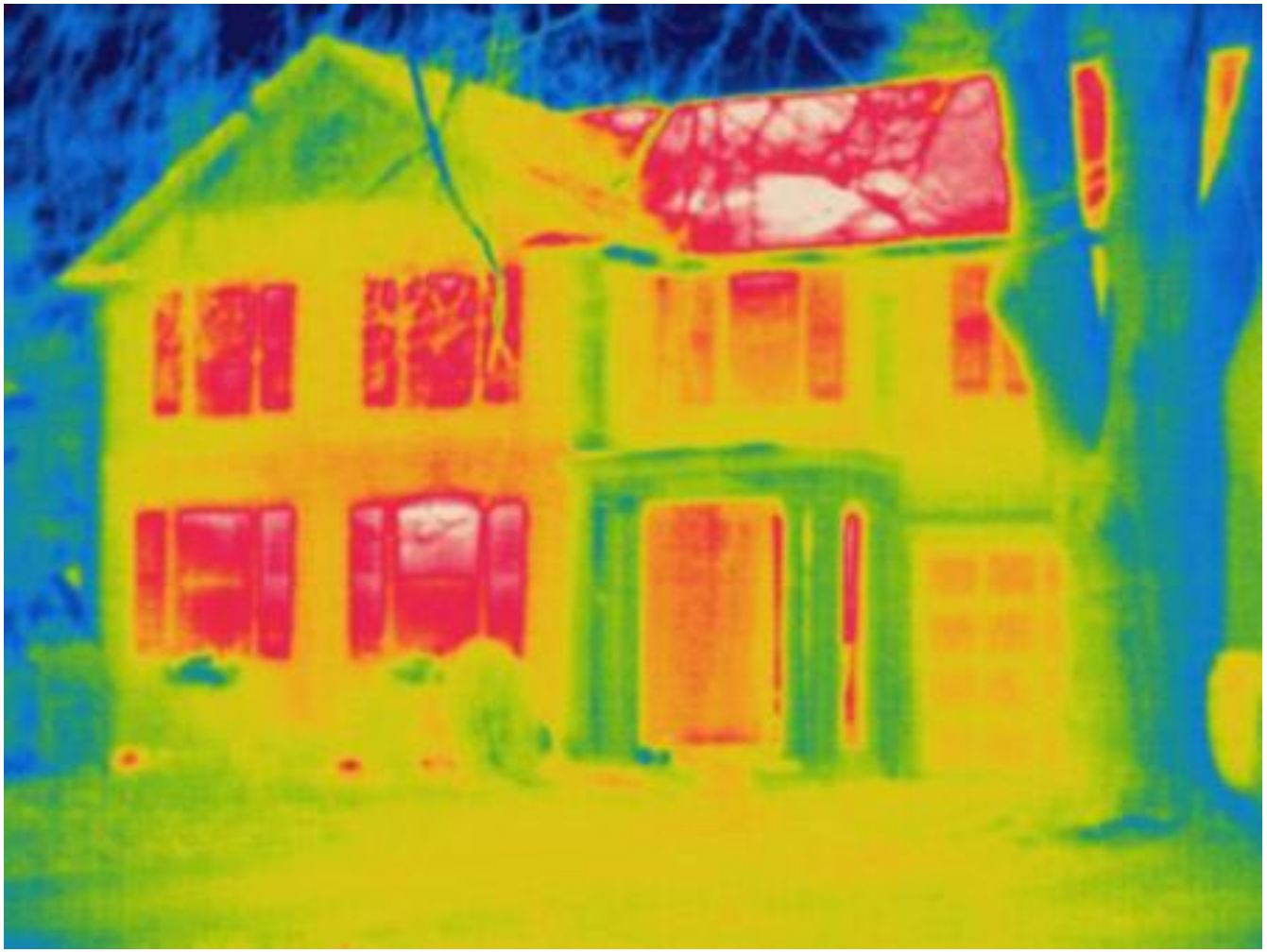
Otra manera: convección



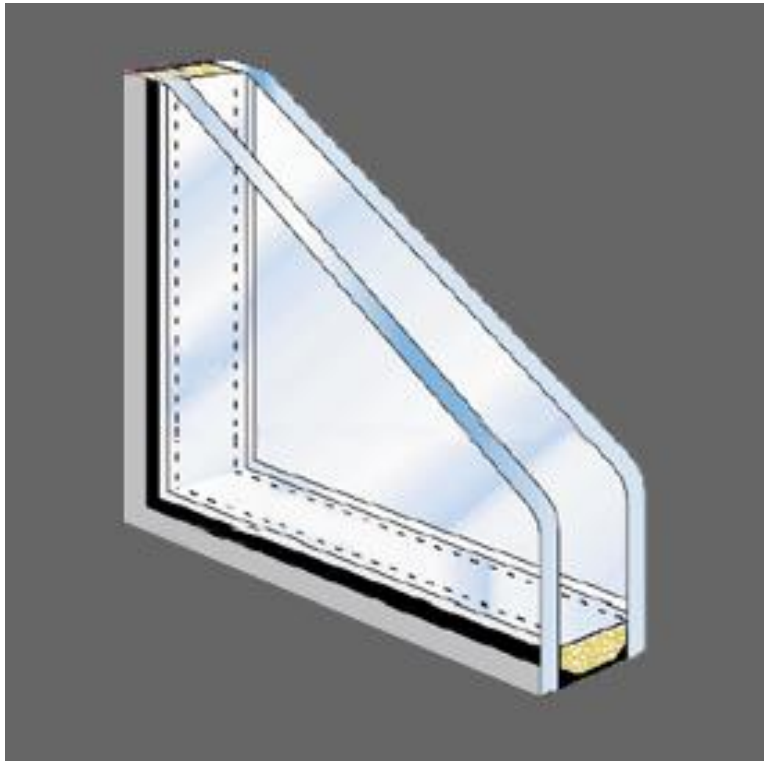
Copyright 1998 by John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.



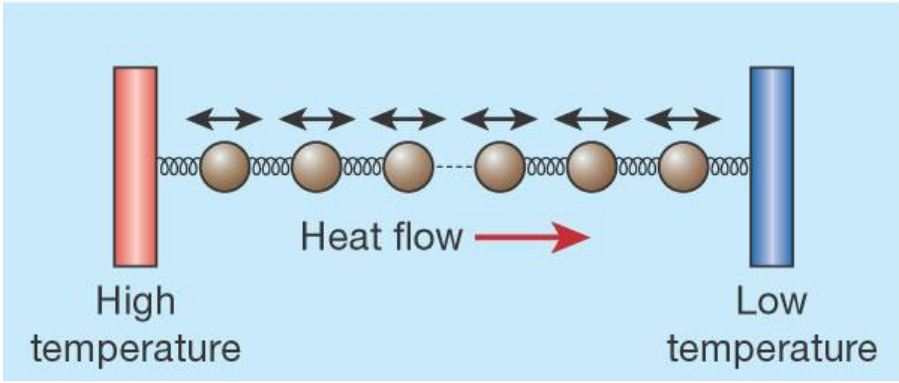
Energía perdida por una casa



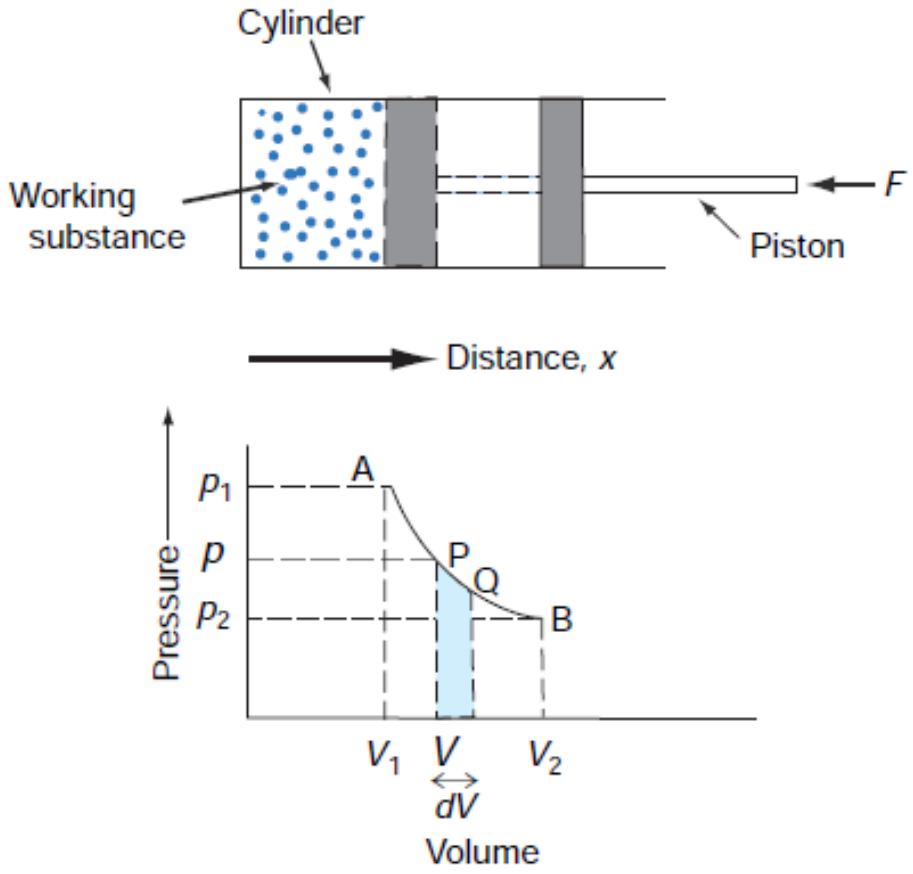
NB. El aire (seco) es un pésimo conductor de calor



¡Excelente aislante térmico!



¿Qué es «dw»?



$$dW = Fdx$$

$$F = pA$$

$$dW = pA\,dx = pdV$$

O sea, en el caso de un gas ideal …

$$du = dq - dw$$

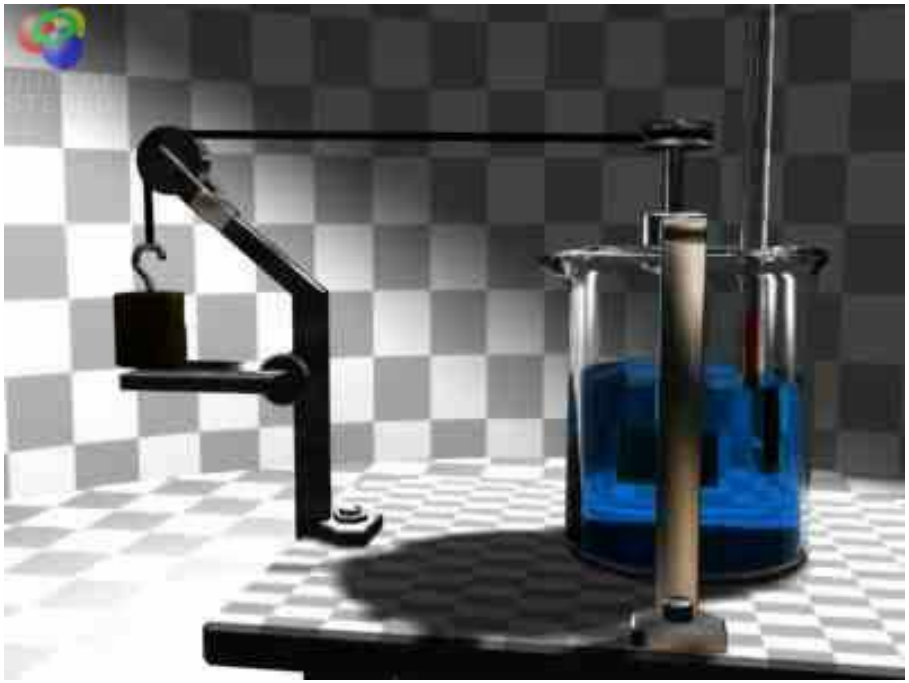
$$du = dq - pd\alpha$$

Volumen específico

$$\alpha = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho}$$

1818-1889

Experimentos de Joule (1)

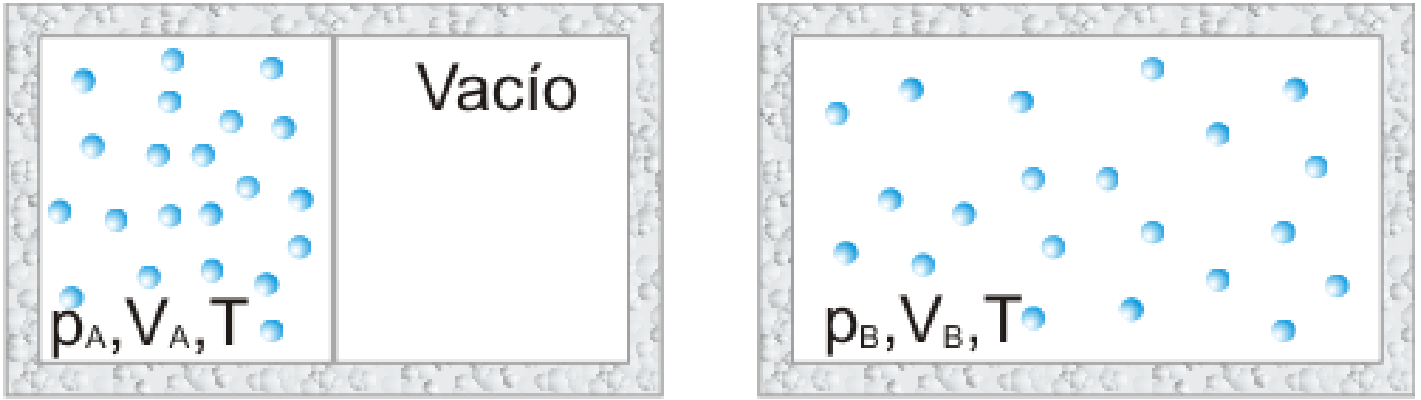


Energía mecánica es transformada en calor y aumenta la temperatura del agua:

4.186 J de energía mecánica aumentan la temperatura de 1g de agua en 1º C (1 caloría=4.1868 J)

Experimentos de Joule (2)

- Cuando el un gas ideal se expande en el vacío no cambia su temperatura



El sistema está aislado: dq=0

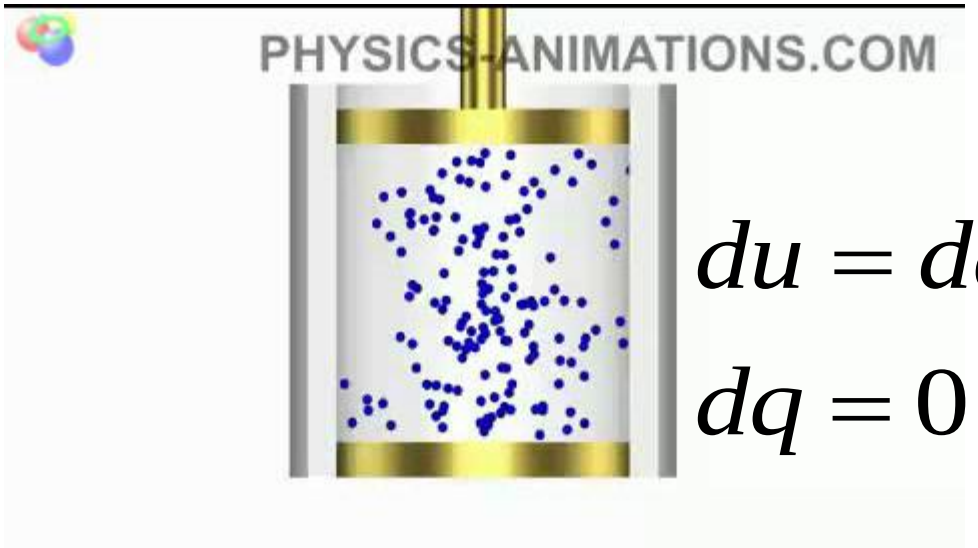
Al expandirse en el vacío no realiza trabajo: dw=0

Por lo tanto, du=0

En un gas ideal, la energía interna es independiente de la presión y el volumen. Sólo depende de la temperatura.

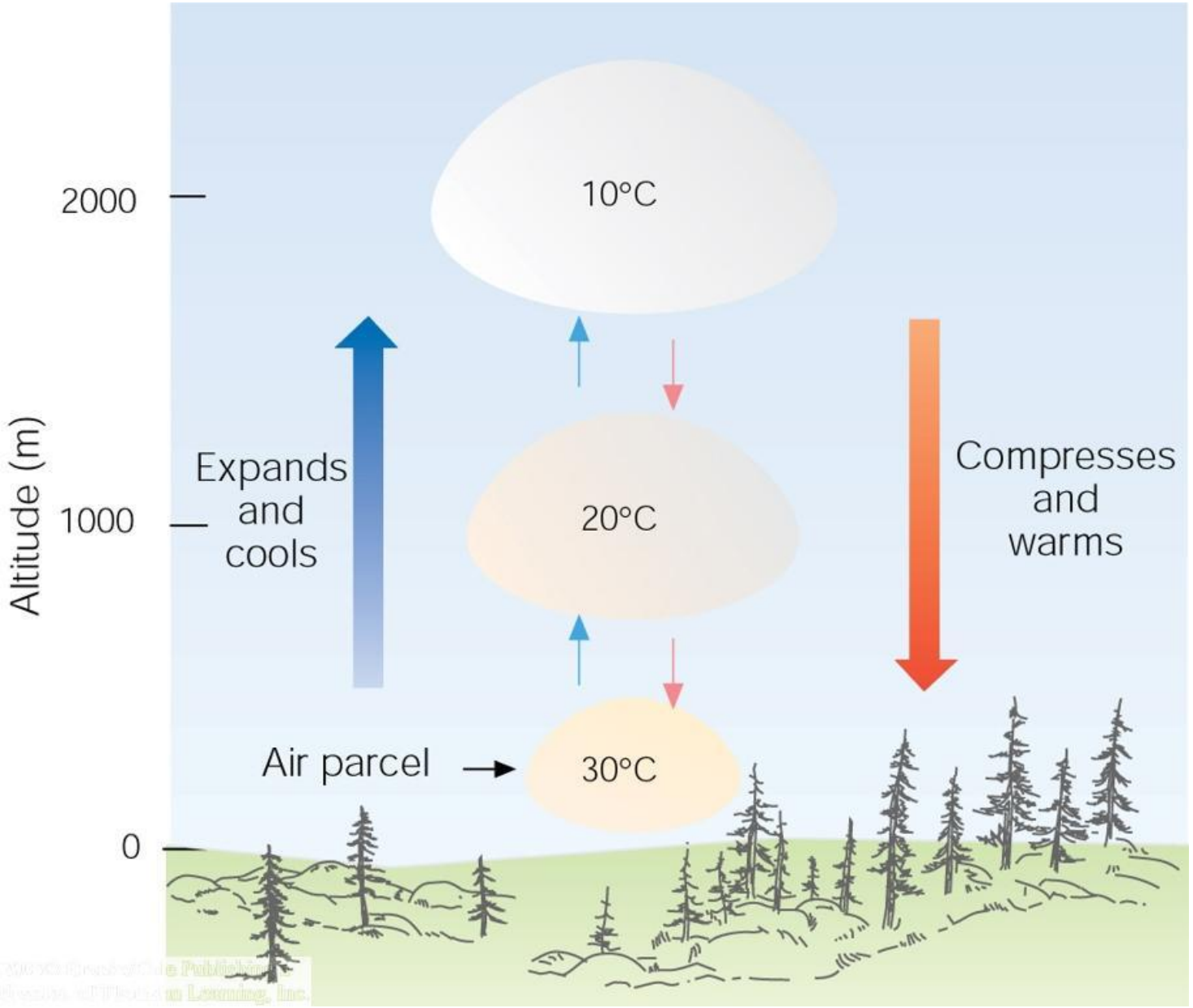
Si la expansión/compresión NO ocurre en el vacío pero adiabáticamente (dq=0):

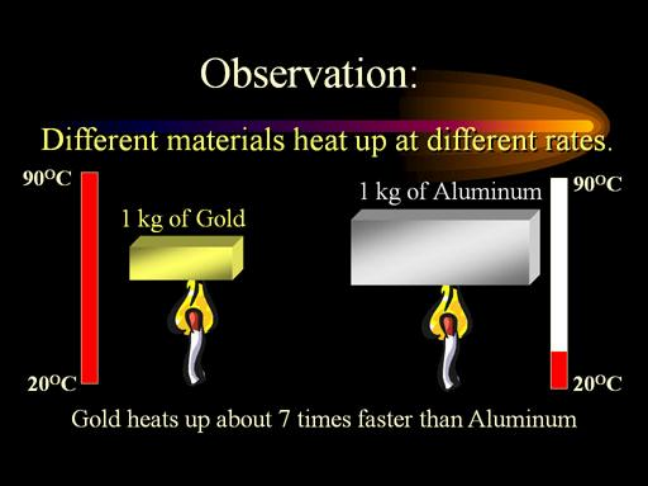
- Cuando un gas se expande (se comprime) se enfría (se calienta)



$$du = dq - dw = dq - pd\alpha$$

$$dq = 0 \Rightarrow du = -pd\alpha$$


2000
1000
0
Altitude (m)
10°C
20°C
30°C
Expands and cools
Compresses and warms
Air parcel



Calor específico

La cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico para elevar su temperatura en una unidad (K o C).

Se agrega dq, manteniendo la propiedad X, para cambiar en dT, se define:

$$c_x = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{x\,\text{constante}}$$

Calor específico a volumen constante

$$c_v = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{v\,\text{constante}}$$

Si el volumen de un gas ideal se mantiene constante, entonces:

$$dq = du + p\cancel{d\alpha}$$

$$c_v = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{v\,\text{constante}} = \left(\frac{du}{dT} \right)_{v\,\text{constante}}$$

(En un gas ideal el u sólo depende de T)

$$\Rightarrow \Delta u = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT \qquad (c_v = 717\,J/K/kg)$$

Aire seco

Calor específico a presión constante

$$c_p = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{p\,\text{constante}}$$

Si la presión se mantiene constante, entonces:

$$c_p = \left(\frac{dq}{dT} \right)_{p\,\text{constante}} = 1004 J / K / kg$$

Mostrar que: $\therefore \quad c_p = c_v + R$

$$pV = NR^*T \Rightarrow p = \rho RT$$

Gas Ideal $\Leftrightarrow p\alpha = RT$

$$\Rightarrow d(p\alpha) = RdT$$

Primera Ley TD $du = dq - pd\alpha$

En un gas ideal: u=u(T) y $c_v = \frac{du}{dT}$

NB. Es más fácil mantener el volumen constante que la presión constante para un gas ideal

Defínese entalpía $h \equiv u + p\alpha$

De modo que:

$$dh \equiv du + d(p\alpha) = c_v dT + RdT = c_p dT$$

$$\Rightarrow h = c_p T, \quad eligiendo \ h\big|_{T=0} = 0$$

El calor requerido para aumentar la temperatura desde 0 a T a presión constante

Defínese: Energía estática seca

$$E_e = h + \phi = c_p T + gz$$

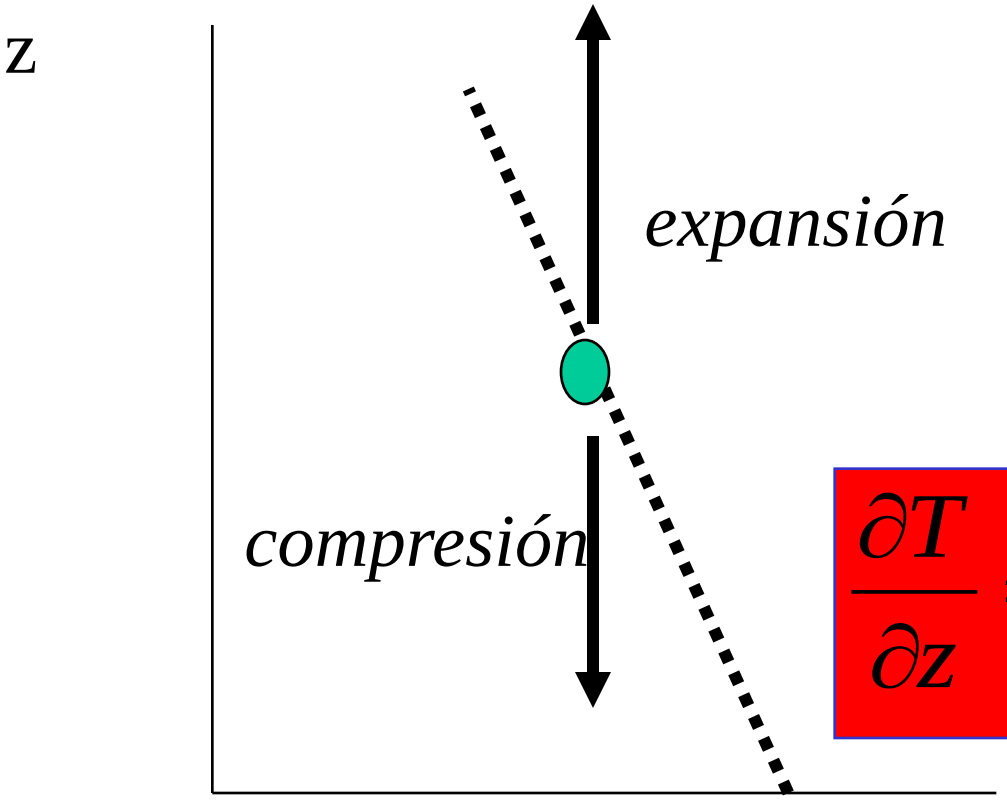
$$d\phi = gdz = -\frac{dp}{\rho} = -\alpha dp$$

$$\Rightarrow dE_c = d(h + \phi) = d(c_p T + \phi)$$

Es constante si la parcela de aire al expandirse (comprimirse) no intercambia calor con el medio (Proceso adiabático)

En un fluído estratificado, una parcela de aire que no intercambia calor con su entorno cambiará su temperatura por expansión o compresión adiabática:

$$dE_c = c_p dT + g dz = c_p dT + d\phi \approx 0$$



$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma \approx -\frac{1^o K}{100 m}$$

Pausa (10 minutos)

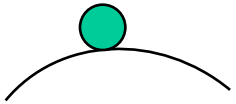
Estabilidad atmosférica

Estable

Cálido

Frío

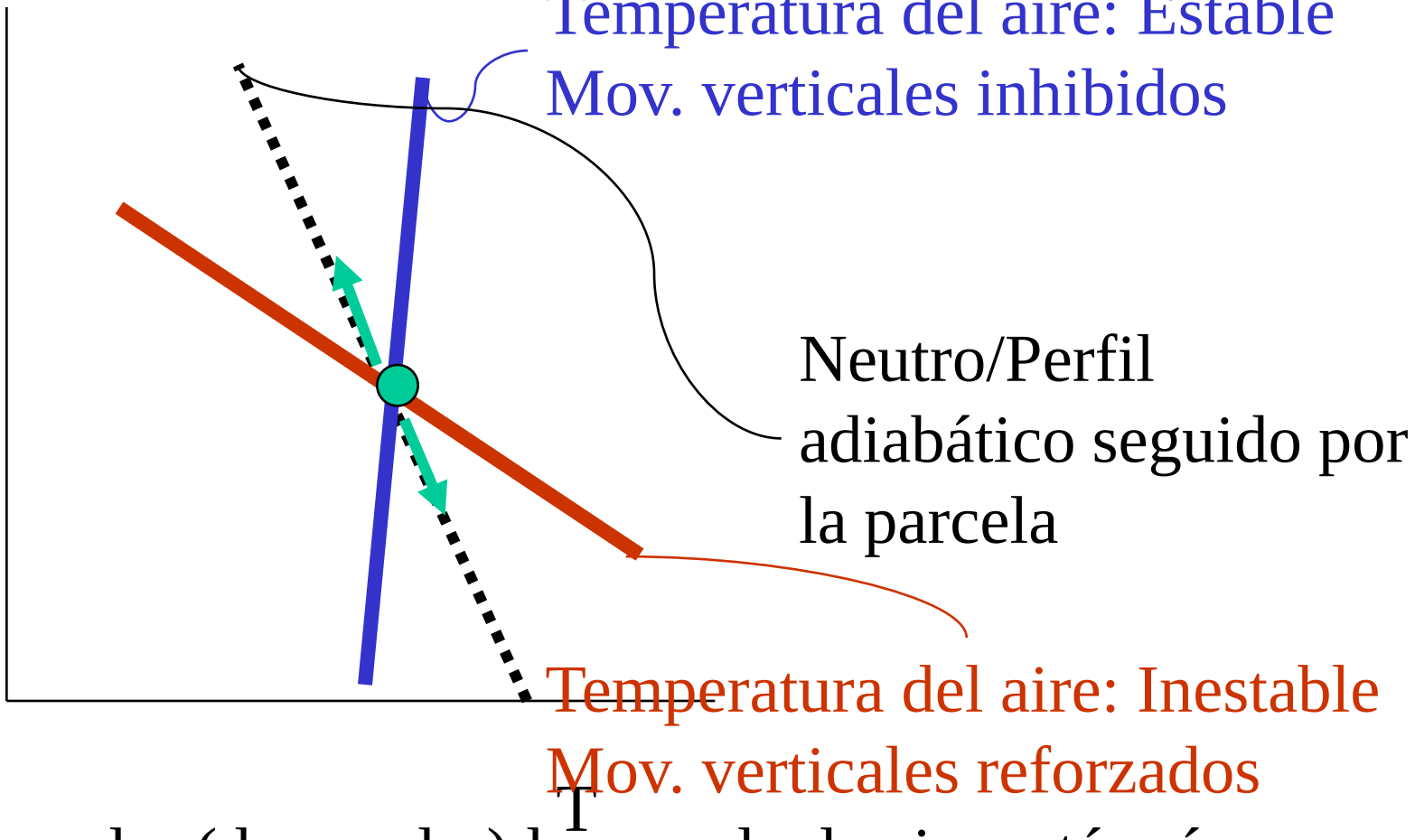
Inestable



Frío

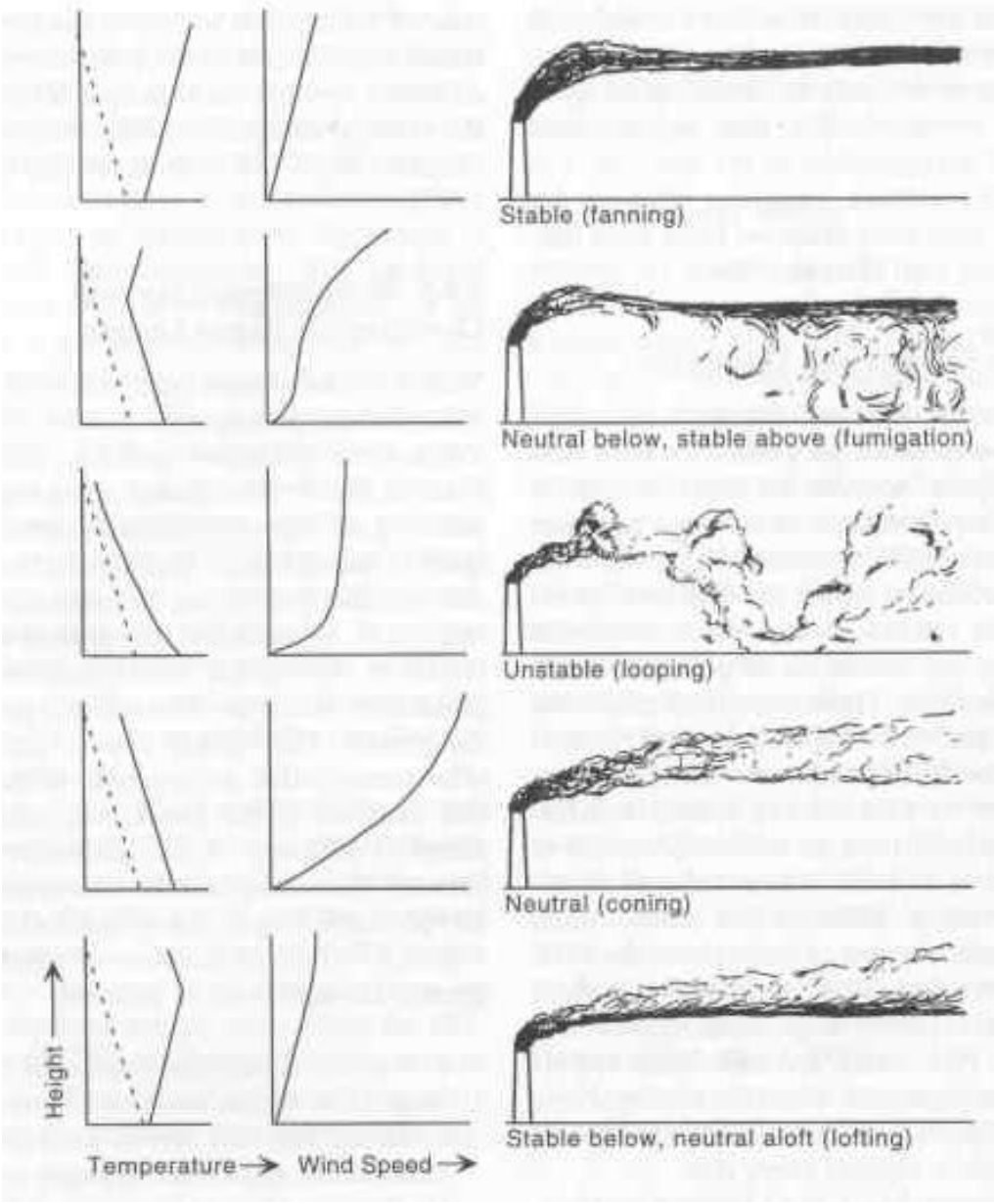
Cálido

Si el aire frío (más denso) está por debajo del aire cálido (menos denso) se tiene una condición estable. De lo contrario, la condición es inestable.



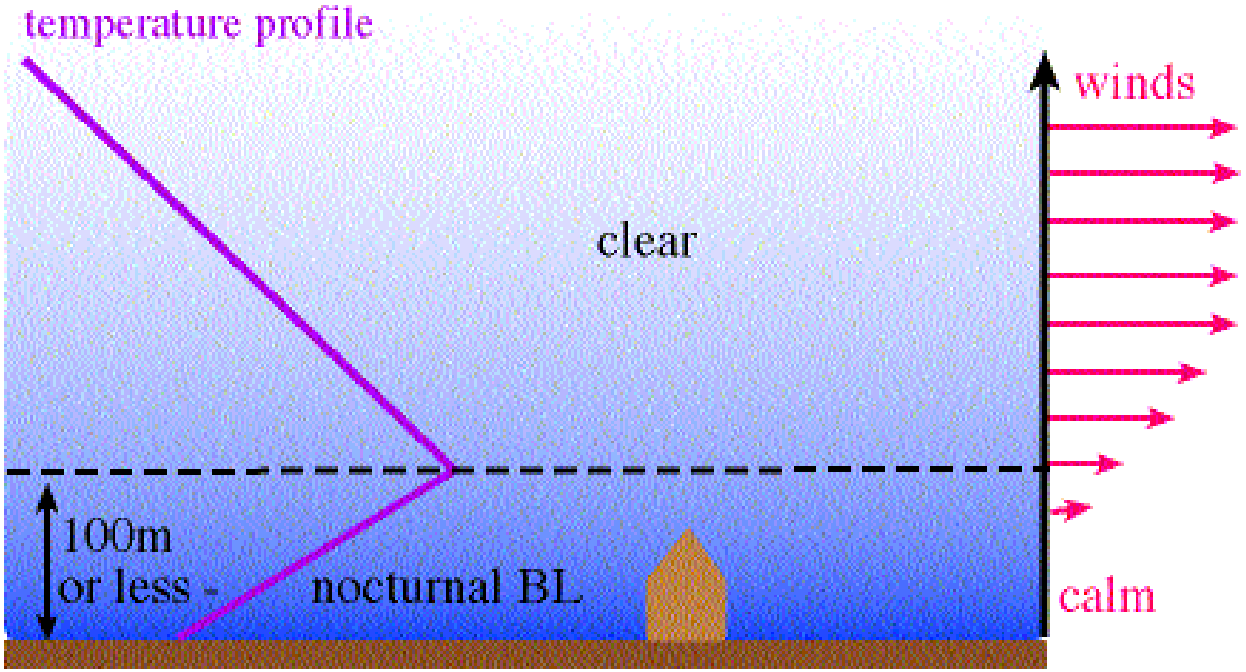
Si al ascender (descender) la parcela de aire está más cálida (fría) que su entorno podrá, por empuje térmico, seguir ascendiendo (descendiendo). De lo contrario tenderá a descender (ascender).

Dependiendo de las condiciones atmosféricas...



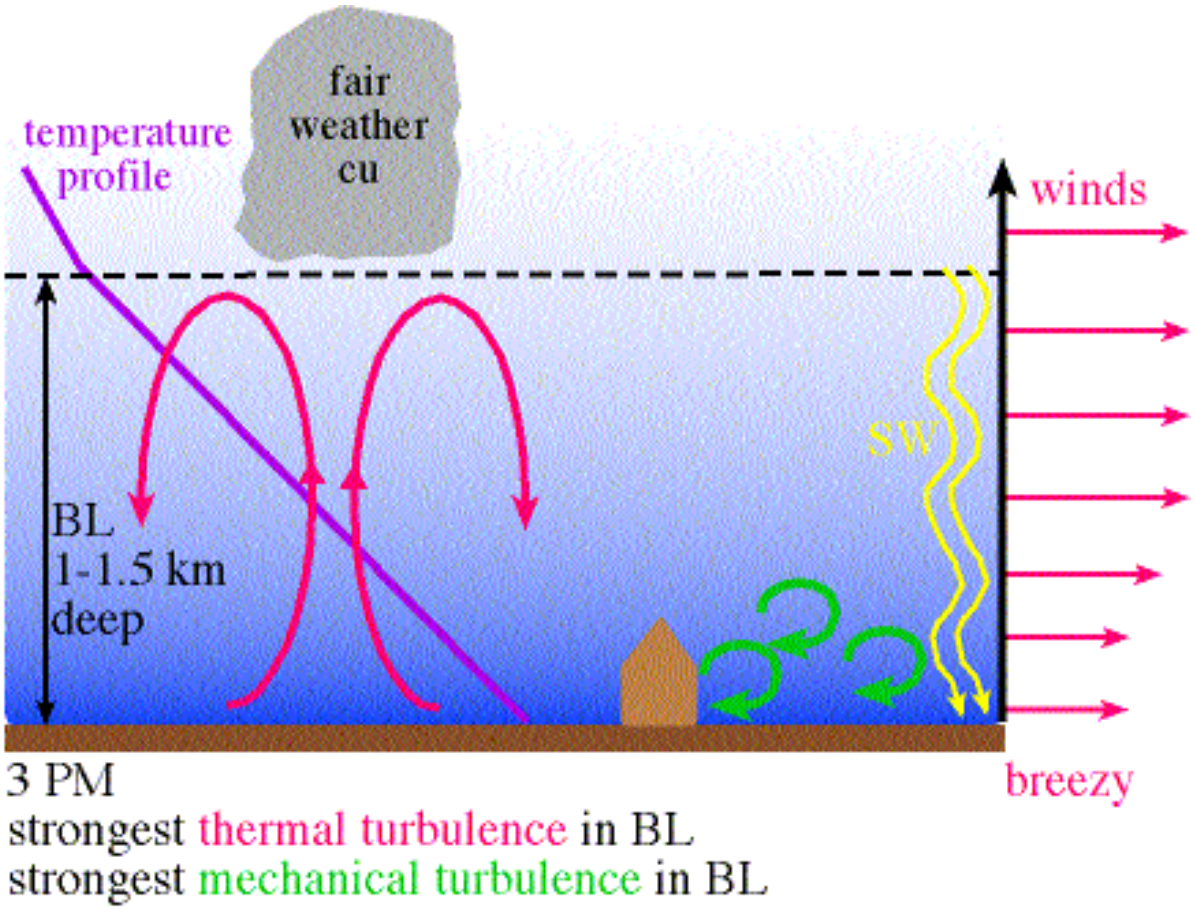
Arya, 1999

Durante la noche, la estratificación suele ser:



6 AM
No thermal turbulence
Little/no mechanical turbulence

http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter9/bl_evol_6am.html

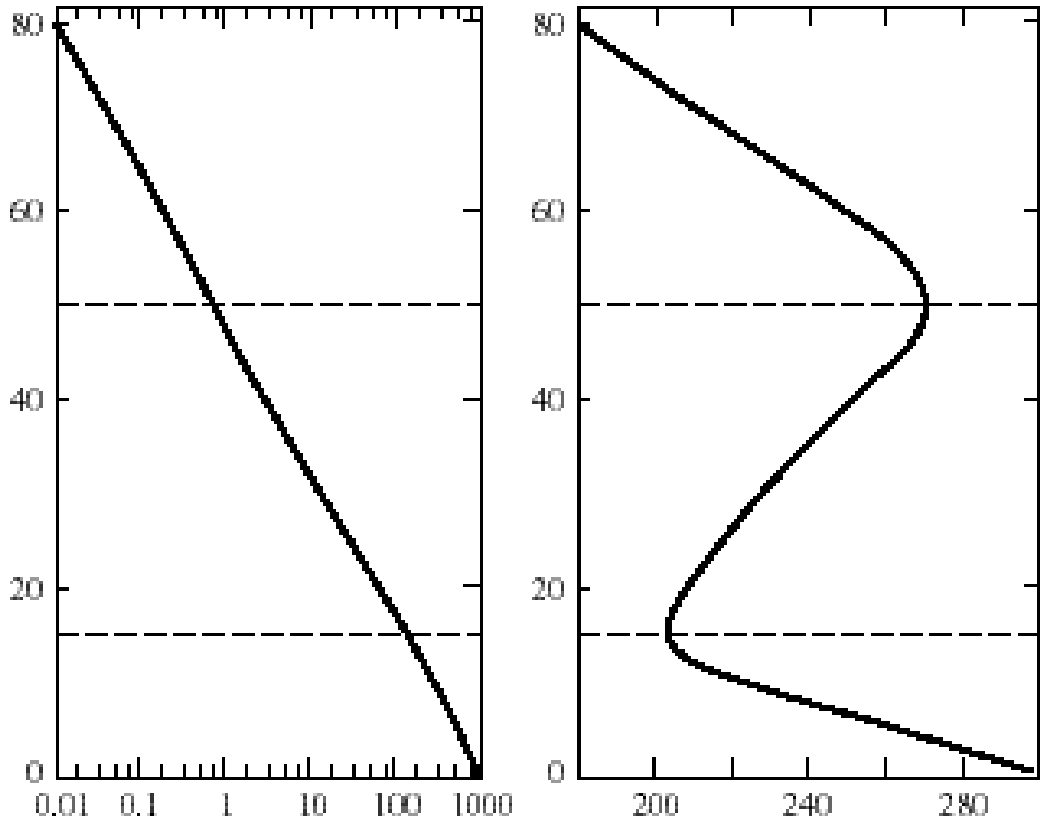


En la tarde, el sol calienta la superficie y el aire se mezcla

http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter9/bl_evol_3pm.html

Sabemos que:

Obviamente, la temperatura varía en la altura pero, **¿Cuánto del cambio de temperatura es meramente debido a la expansión/compresión adiabática?**



Temperatura potencial

1ª Ley para un gas ideal: $du = dq - dw = dq - pd\alpha$

$$dq = c_p dT - \alpha dp$$

Si el proceso es adiabático:

$$dq = c_p dT - \alpha dp = c_p dT - \frac{dp}{\rho} = 0$$

Siendo un gas ideal: $p = \rho RT$

$$\frac{dT}{T} = \frac{R}{c_p}\frac{dp}{p} \Rightarrow T = T_o\left(\frac{p}{p_o}\right)^{\kappa}, \quad \kappa = R/c_p = 0.286$$

Temperatura potencial

$$\Theta = T\left(\frac{1000}{p}\right)^{\kappa}, \quad [p] = hPa$$

La temperatura potencial se conserva en procesos adiabáticos

No cambia por expansión o compresión adiabática ☺

Temperatura potencial y estabilidad estática

$$\frac{d\Theta}{dz} > 0 \quad estable$$

$$\frac{d\Theta}{dz} = 0 \quad neutral$$

$$\frac{d\Theta}{dz} < 0 \quad inestable$$

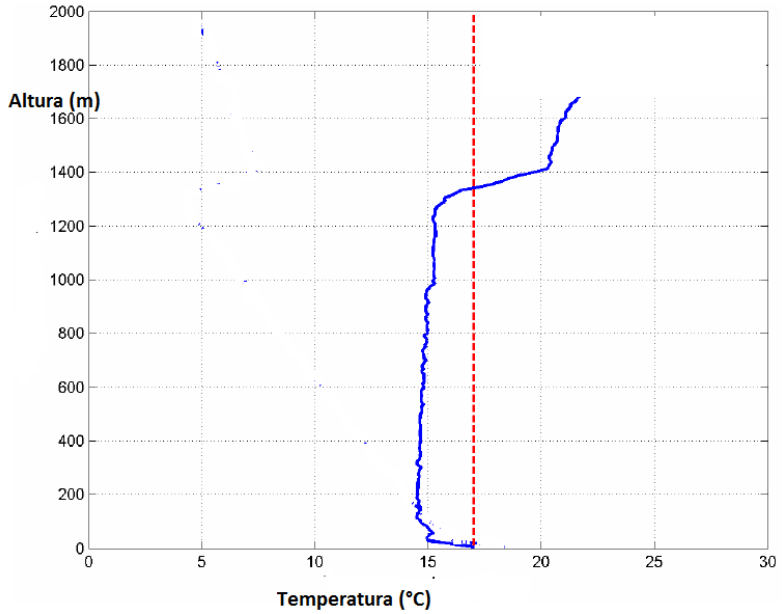
Ejemplo de pregunta de control

•En la ciudad de Vantaa, en Finlandia a las 9 AM (hora local), en Mayo de 2002, se observó el siguiente perfil de temperatura potencial (línea continua). En la figura también se indica la adiabática seca correspondiente (línea punteada). [3.0 puntos]

a)¿Qué puedes decir de la estabilidad para este perfil?

b)Dibuja en el diagrama la temperatura convencional correspondiente. No se observaban nubes cerca de la superficie.

c)Estima el espesor de la capa de mezcla.



Analizar….foto tomada a las 8 AM en invierno sobre Santiago

¿Cuál capa está más cálida?

Bosquejar la temperatura y la temperatura potencial

¿A qué altura está la inversión térmica?

Lecturas de hoy

- Obligatoria
  - Wallace and Hobbs, Atmospheric Science (Ch. 3.3 & 3.4)

- Más sobre termodinámica
  - GF500 (Física de la Atmósfera)
  - Clase auxiliar del Jueves: Sondeos y diagramas TD (1)

Continuará…hay agua en el aire….