

Tema 2

Estructura y Estabilidad de la Atmósfera

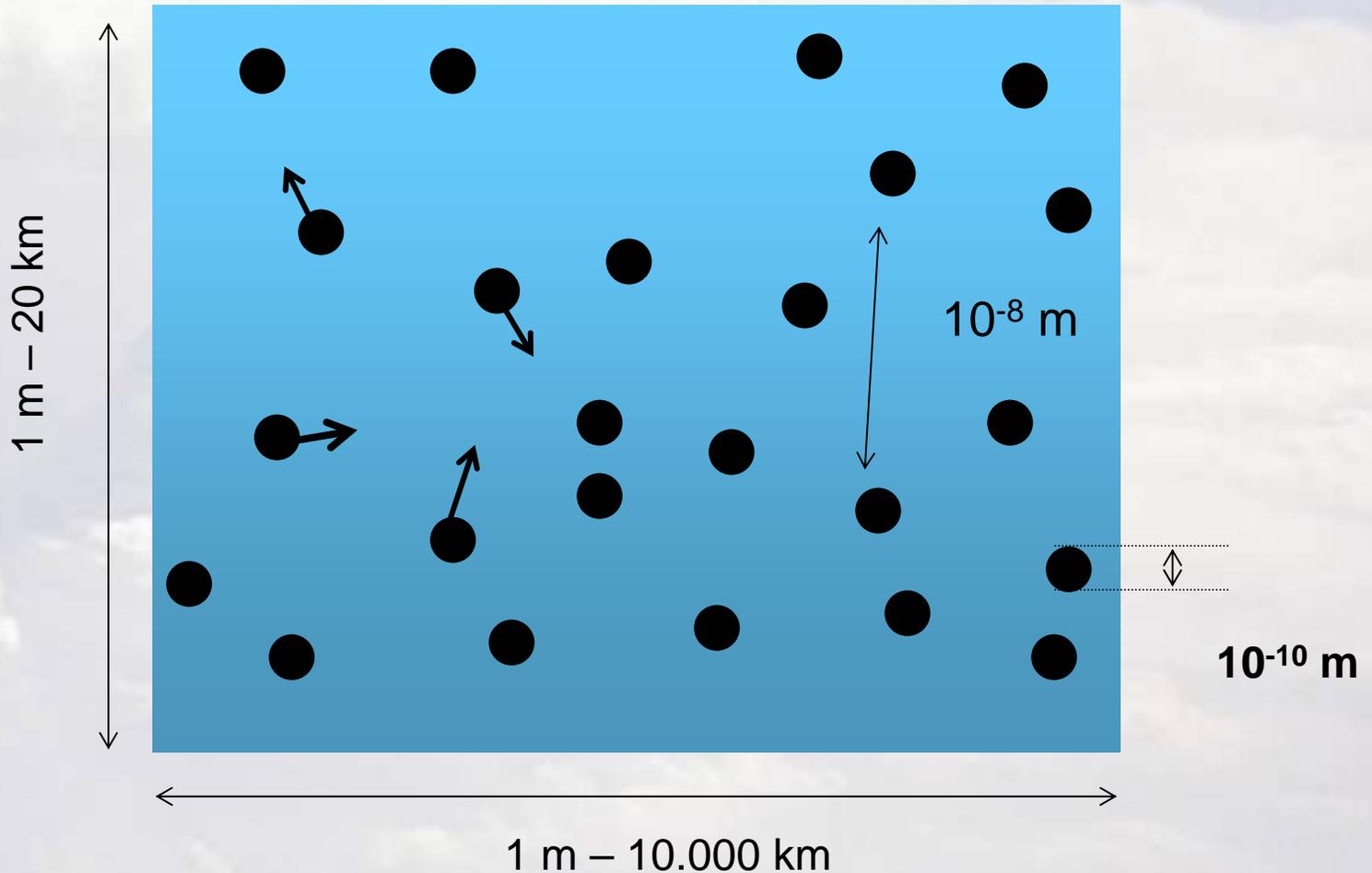
Versión otoño 2007

Preguntas claves

1. ¿Qué es la presión y temperatura?
2. ¿Cómo varían con la altura?
3. ¿Cuál es la estructura de la atmósfera?
4. ¿Cómo la temperatura afecta los movimientos verticales?

Atmósfera – Aire – Moléculas

Mundo Microscópico: seguimos a cada molécula
Mundo Macroscópico: fluido con propiedades continuas...OK



Presión

Mundo Microscópico: $P = F/A = (2/3)*(N/V)*(1/2mv^2)$

Mundo macroscópico $P = F/A$F ejercida por el fluido

La presión dentro de un fluido la continuamos definiendo como la fuerza por unidad de área que ejerce el fluido sobre una pared (real o virtual).
La podemos medir con un manómetro

Fuerza \propto Deformación
Presión = F / A

1 Pascal = 1 Newton / m²

1 hPa = 100 Pa

1 hPa = 1 milibar

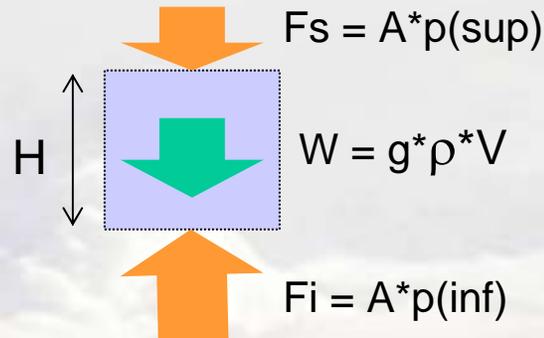


Podemos pasear nuestro manómetro por el fluido, con lo cual obtendremos la distribución de presiones: $P = P(x,y,z)$.

Mundo macroscópico: Equilibrio Hidrostático

Una observación importante es que en un punto fijo, la presión es independiente de la orientación del manómetro.

Además, aplicando la segunda ley de Newton a un cierto volumen de aire de densidad ρ ($=M/V$) en reposo obtenemos la ecuación de balance hidrostático:

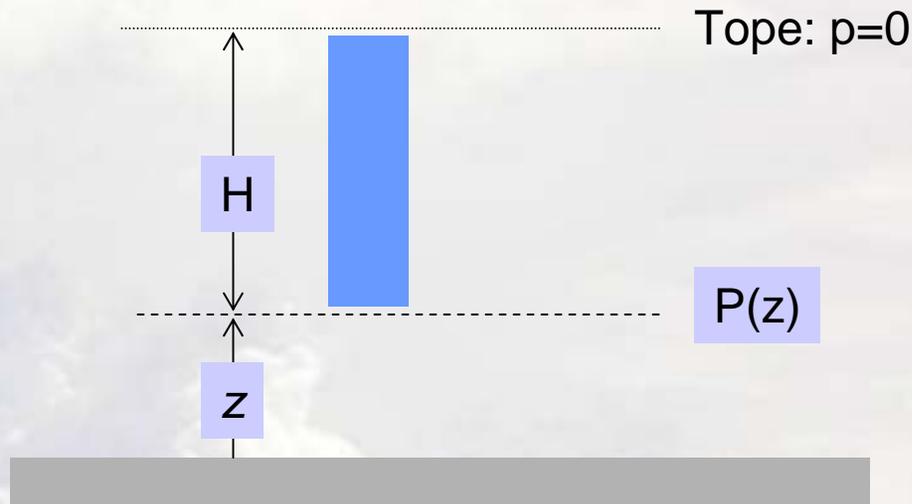


$$\Delta P = P(\text{inferior}) - P(\text{superior}) = \rho \cdot g \cdot H$$

Es decir, la presión siempre aumenta hacia abajo, y el aumento de presión es proporcional a la densidad del fluido y el espesor de la capa.

Mundo macroscópico: Presión atmosférica (barométrica)

En el caso de la atmósfera, la condición en el tope es $P(\text{superior}) = 0$



Entonces, la presión atmosférica a una altura z sobre el nivel del mar es:

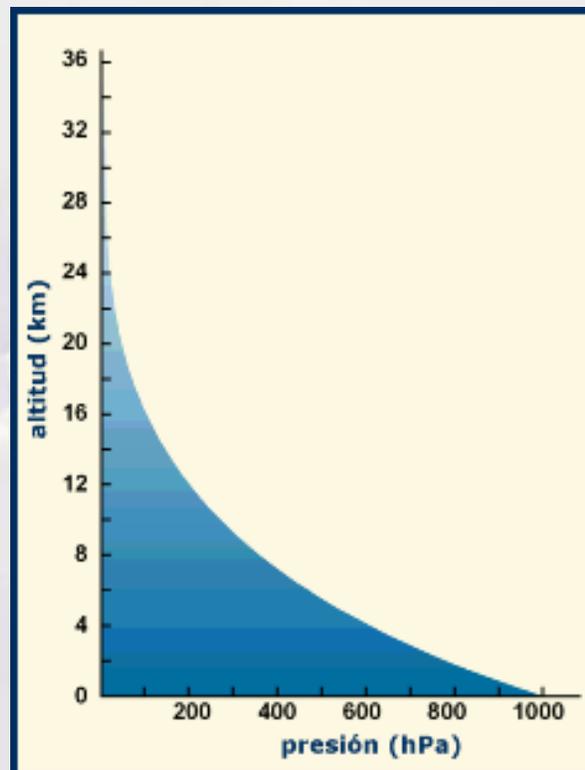
$$P(z) = g \cdot \rho \cdot H = g \cdot \rho \cdot H \cdot 1 \cdot 1 = g \cdot \rho \cdot \text{Vol} = g \cdot \text{Masa}$$

$$P(z) = \text{Peso columna de aire por encima del nivel } z$$

Mundo macroscópico: Presión atmosférica (barométrica)

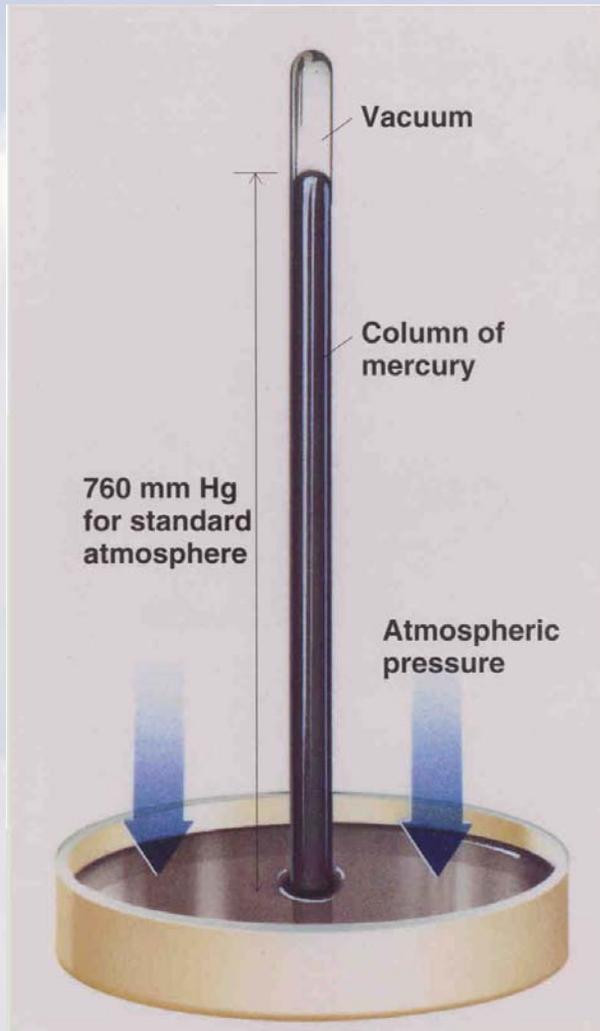
$P(z)$ = Peso columna de aire por encima del nivel z

Entonces la presión atmosférica siempre disminuye con la altura (sobre la superficie) y puede ser empleada como una coordenada vertical.



Completar la tabla siguiente....

Nivel	Presión	Masa sobre nivel		Masa bajo nivel		Observaciones
[km]	[hPa]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	
0	1013					Superficie del mar
5	500					Mo. Aconcagua
12	200					Tropopausa
30	15					Max. Ozono
50	1					Estratopausa
80	1e-2					Termopausa
120	1e-5					Homopausa



Barómetro Aneroide

(presión atmosférica comprime un recipiente flexible con vacío en su interior)

Barómetro de Mercurio

¿Porque $1013 \text{ hPa} = 76 \text{ cm Hg}$?
¿Porque no son de H_2O ?

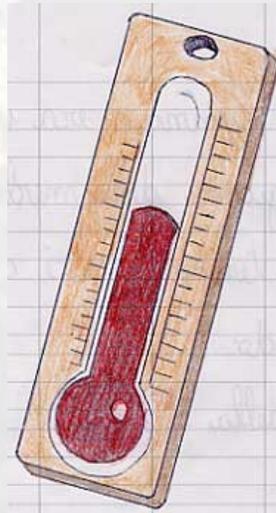
Temperatura

Mundo Microscópico: $T = 2/(3k) \cdot (\frac{1}{2}mv^2)$

Mundo macroscópico:

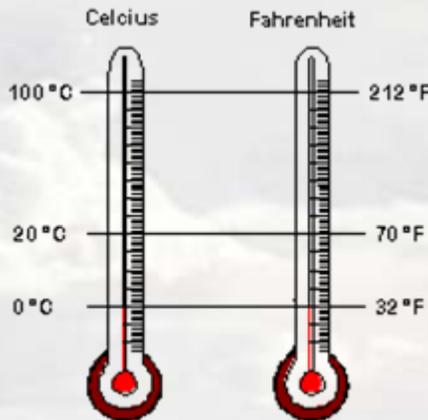
La temperatura en tanto se asocia con el concepto de cuan caliente o frío esta un cuerpo o fluido cuando este se toca.

Esta indicación cualitativa se cuantifica a través de los **termómetros**, que usualmente se basan en la dilatación o contracción de un material cuando cambia la temperatura.



Para graduar un termómetro, se necesitan fijar dos condiciones de referencia (fenómenos independientes del instrumento y fácilmente reproducibles en laboratorio):

- En las mediciones en Centígrados (o grados Celsius), 0°C = punto de fusión del hielo y 100°C = punto de ebullición del agua.
- La escala en Fahrenheit está dada por 0°F = temperatura de fusión del XXX y 100°F = temperatura normal del cuerpo humano. [$T(\text{F}) = 9 \cdot T(\text{C}) / 5 + 32\text{F}$]



- En meteorología y física, muchas veces se emplea la temperatura en grados Kelvin, donde $T(\text{K}) = T(\text{C}) + 273\text{K}$

Estructura vertical de la atmósfera

¿Como la conocemos?

1830-1920: Mediciones hasta 10-12 km mediante Globos Aerostaticos

1920: Invención del radiosonda (hasta 40 km)

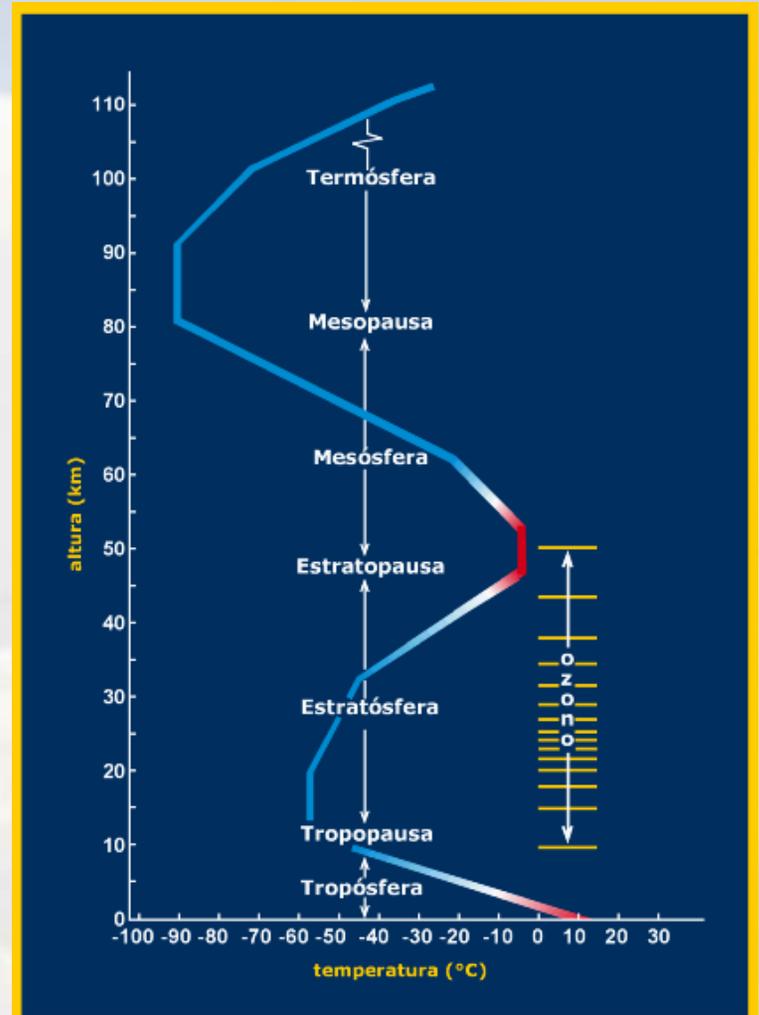
1950: Invención del Cohete-sonda (hasta 80 km)



Estructura vertical de la atmósfera

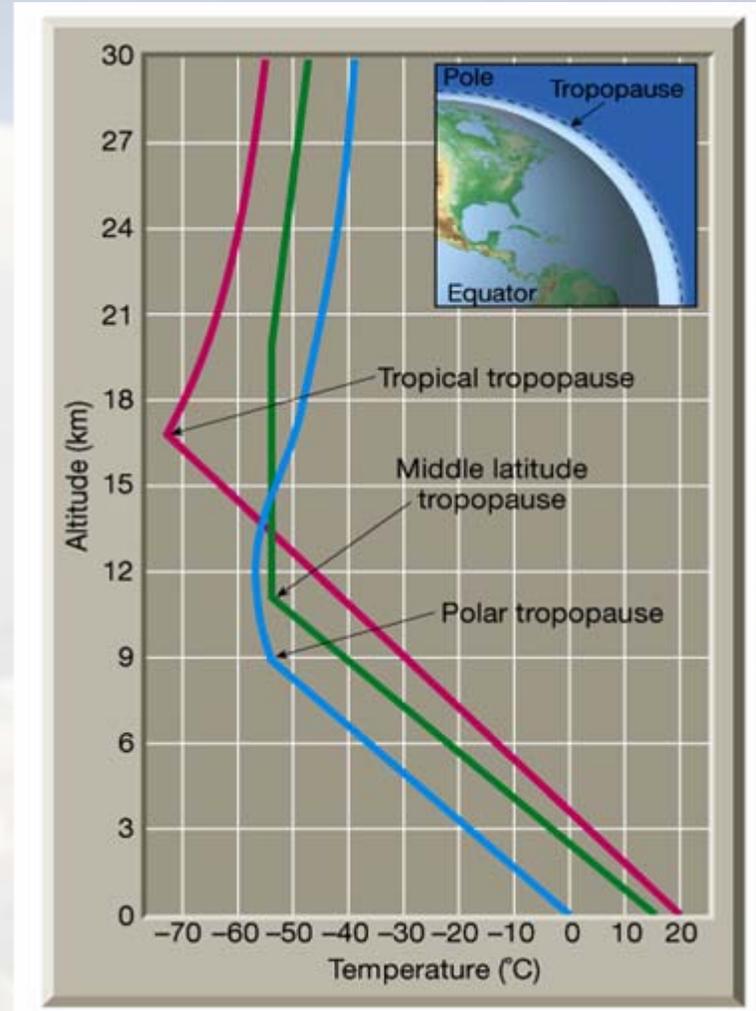
Inspección del perfil vertical de temperatura revela varias capas en las cuales la temperatura disminuye con la altura (condición normal?) o aumenta con la altura (inversiones térmicas):

- Troposfera (esfera móvil)
- Estratosfera (esfera de capas)
- Mesosfera (esfera media)
- Termosfera



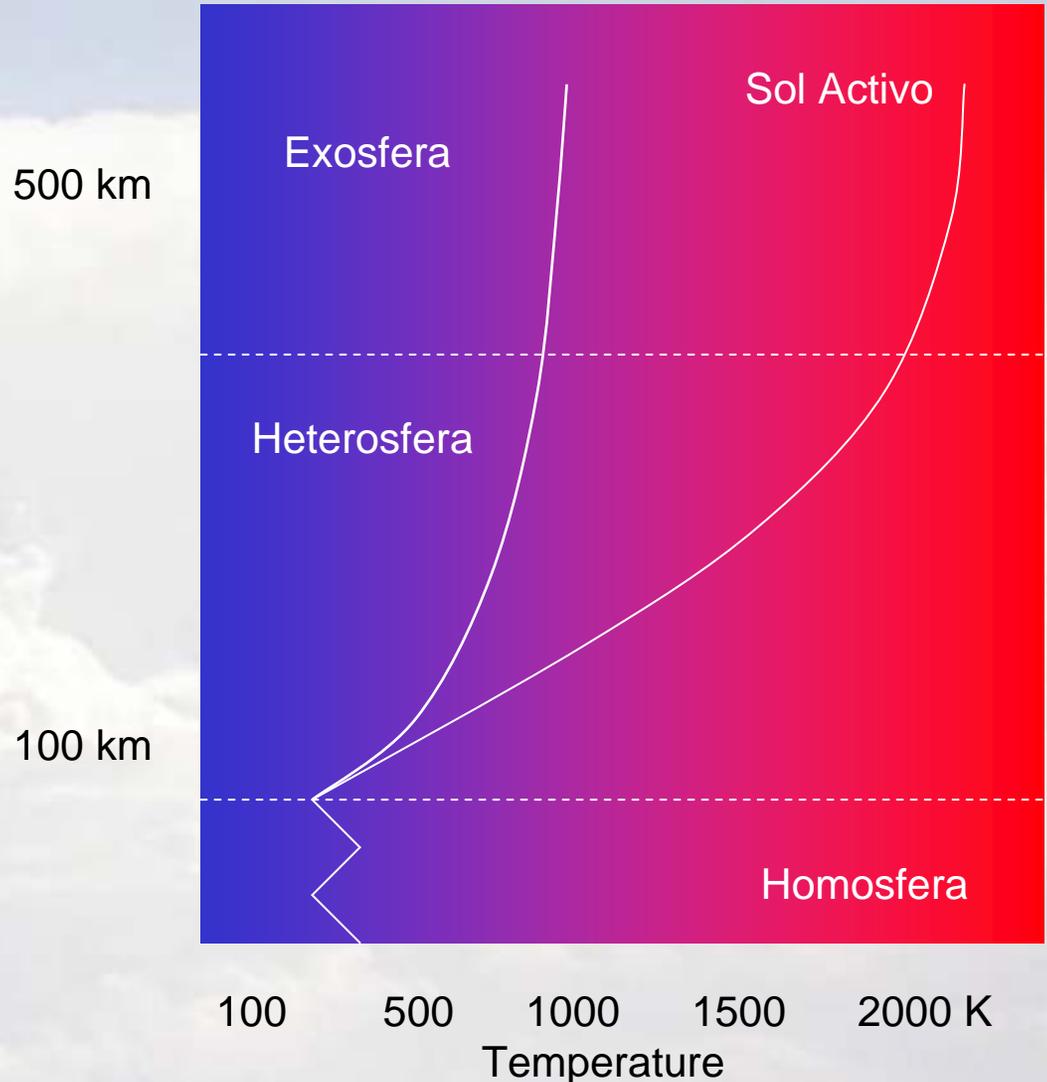
Estructura vertical de la atmósfera

Altura de la troposfera cambia con la latitud y también en el tiempo....

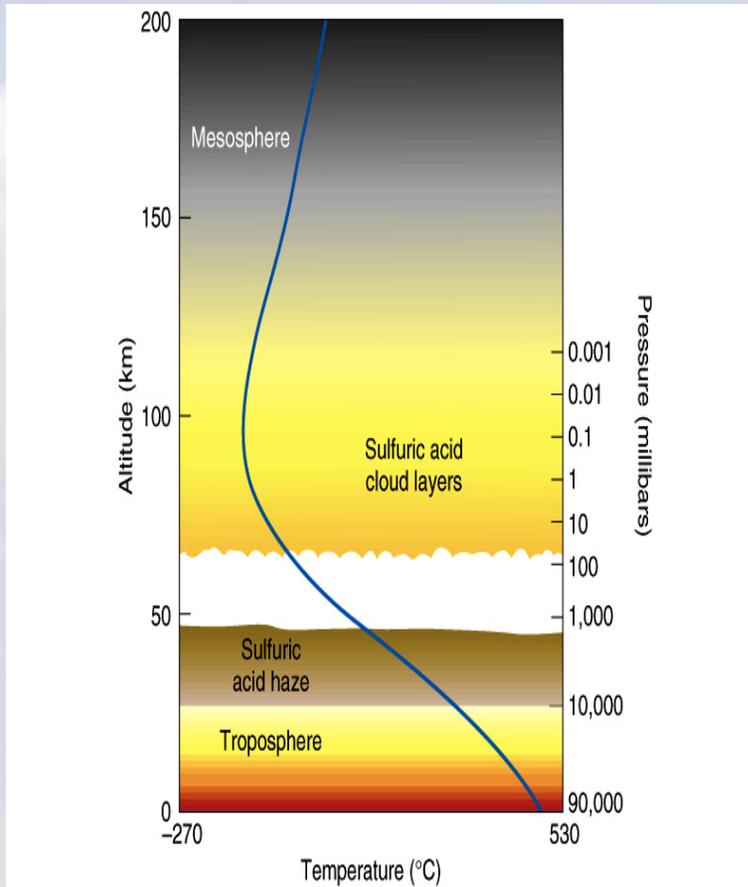


Estructura vertical de la atmósfera

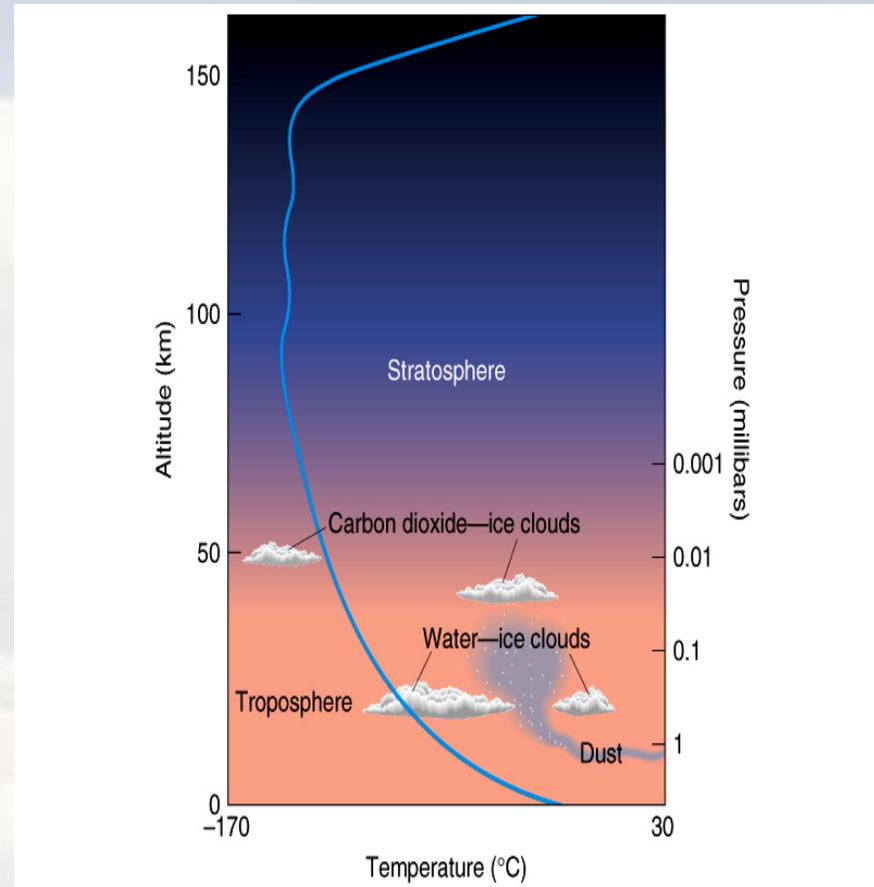
En un contexto mas amplio y considerando la distribución de los gases se distingue la homosfera (0-100 km) y la heterosfera (100-500 km).



Venus



Marte



Que similitudes/diferencias existen entre la atmósfera de la Tierra, Marte y Venus?
Como es la estructura vertical de Júpiter, Saturno, etc...?

El perfil de temperatura sobre algunos puntos del planeta se mide diariamente...

Se distinguen capas donde la temperatura disminuye con la altura y otras en las cuales la temperatura aumenta con la altura (capas de inversión térmica)....

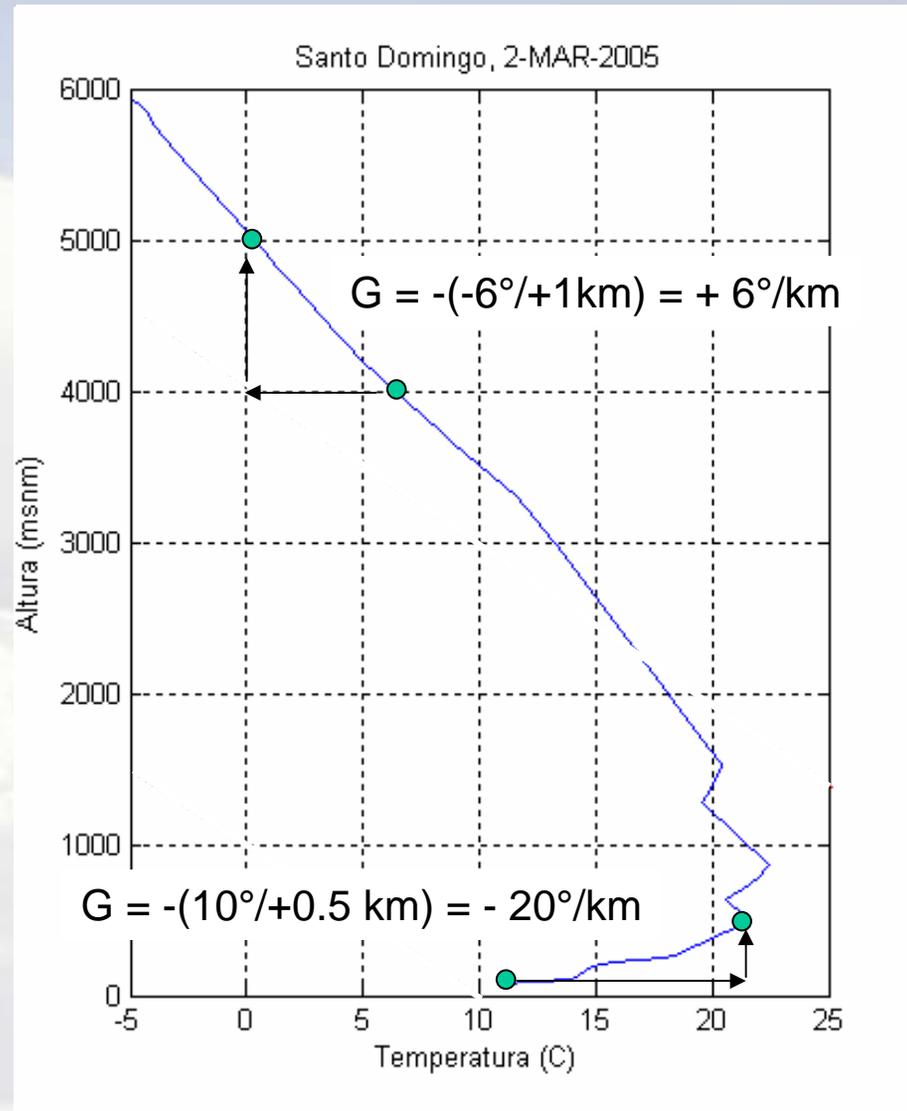
$$G = - (\Delta T / \Delta z)$$

$G > 0$ T disminuye con altura

$G < 0$ Inversión Térmica

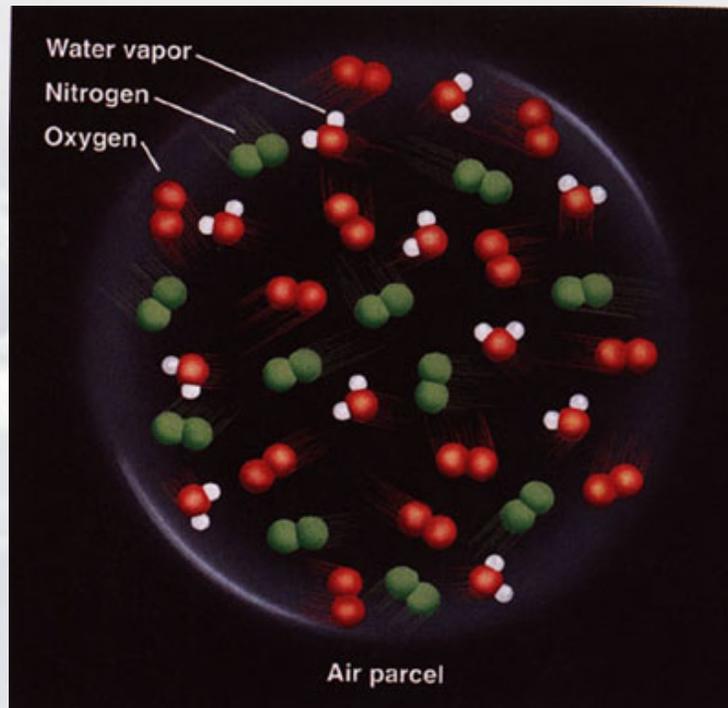
$G = 0$ Capa isotermal

El gradiente vertical de temperatura define la estabilidad de la atmósfera



¿Parcelas de Aire?

Usaremos el nombre de parcela de aire para identificar un gran número (millones) de moléculas que se mueven en forma más o menos coherente empleando un volumen de varios metros cúbicos: “un globo grande pero sin sus paredes”.

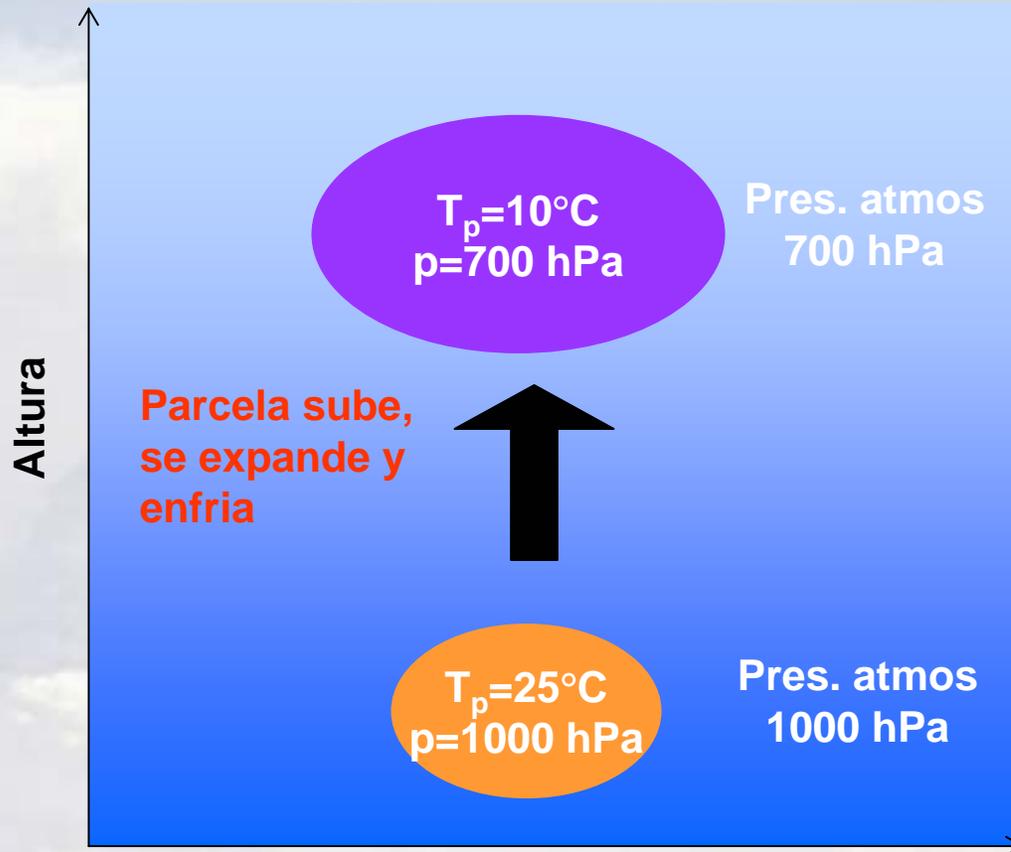


¿Que sucede cuando una parcela de aire asciende?

- La parcela se **expande** debido a que la presión externa disminuye...
- ...las moléculas usan parte de su **energía interna** en el proceso de expansión (presionan hacia afuera)...
- ...la parcela se **enfría** debido a que la energía interna de las moléculas es proporcional a la temperatura de la parcela.

Notar que en este proceso, no se ha sacado ni inyectado calor externo a la parcela, por lo cual se denomina **proceso adiabático**.

Enfriamiento Adiabático



Nota: el proceso también actúa a la inversa; si una parcela desciende se comprime y calienta adiabáticamente

Gradiente adiabático (seco)

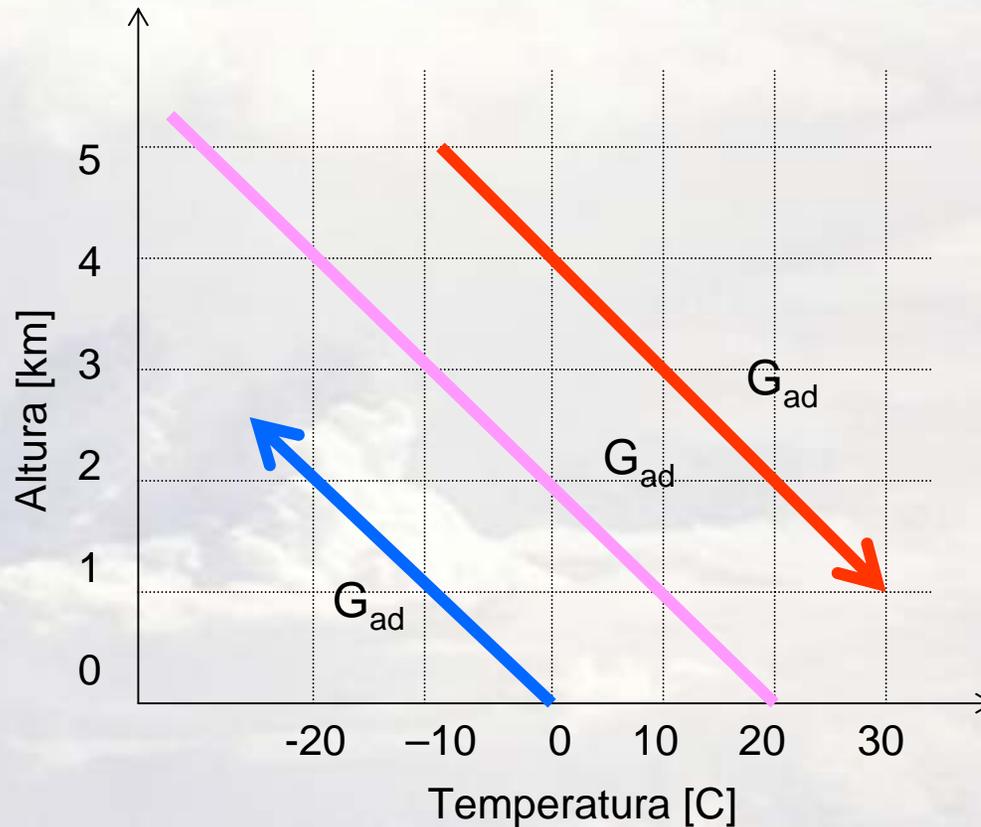
Empleando la **ley de gases ideales** ($pV=nRT$) y el **segundo principio de la termodinámica** ($dQ = dU + dW$) se puede demostrar que en un ascenso o descenso adiabático el **gradiente (cambio) de temperatura** con la altura es:

$$G_{\text{adiabatico}} = g/C_p = +10 \text{ }^\circ\text{C/km}$$

Esto es, por cada kilómetro de ascenso (descenso) la temperatura de la parcela disminuye (aumenta) 10°C , si el proceso es adiabático.

Nota: Si el ascenso/descenso toma menos de un día la aproximación adiabática es muy buena (intercambio de calor con el medio es pequeña).

Ejemplo del cambio de temperatura de tres parcelas de aire al desplazarse verticalmente siguiendo un gradiente adiabático seco (10 C/km)



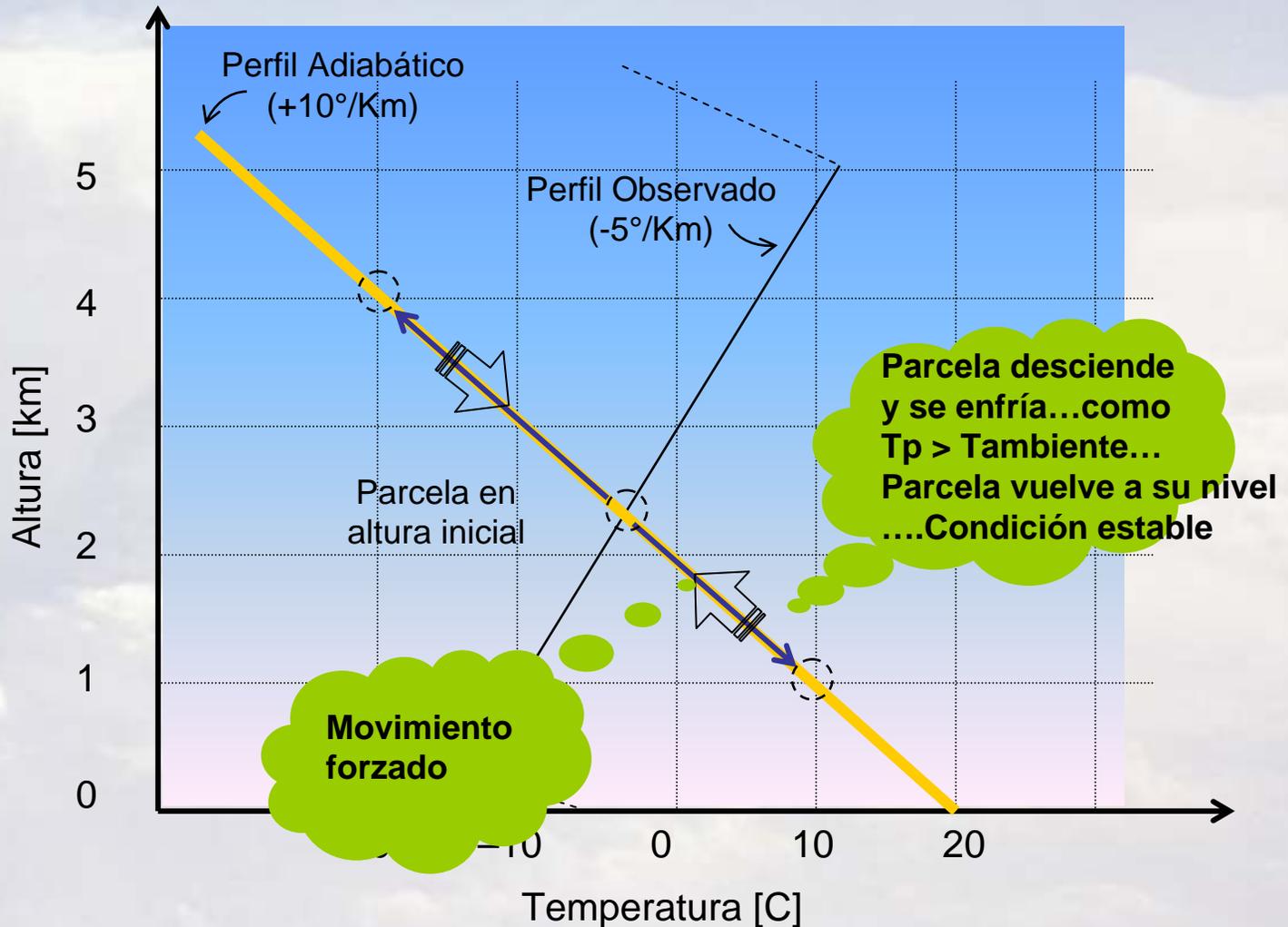
- Principio de Arquímedes: Cuerpos mas densos que el medio se hunden / Cuerpos menos densos (más livianos) que el medio ascienden
- En un gas ideal, a presión constante, la densidad es inversamente proporcional a la temperatura: aire frío es mas denso / aire cálido es más liviano.

Si $T(\text{parcela}) > T(\text{ambiente}) \rightarrow$ parcela tiende a subir

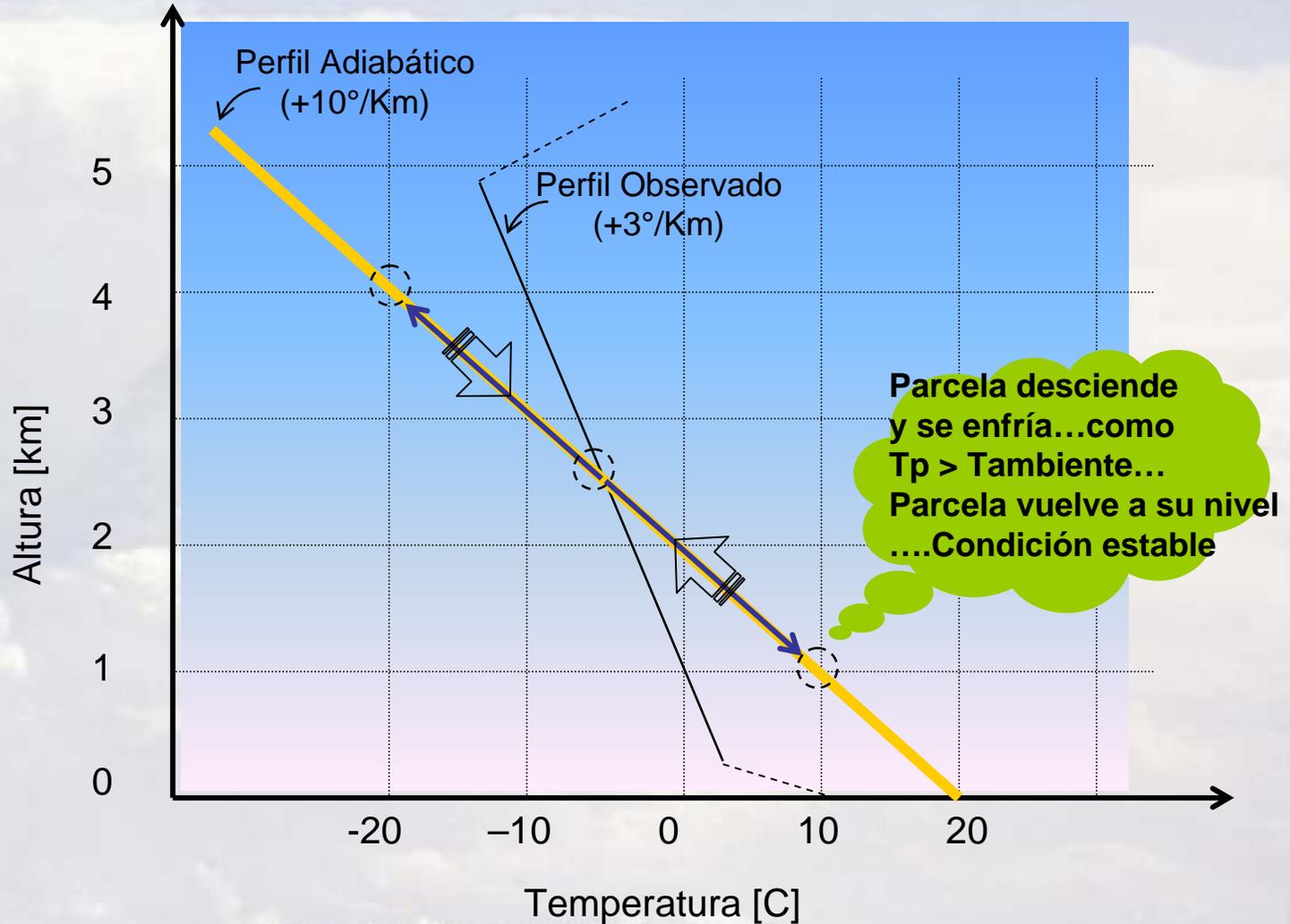
Si $T(\text{parcela}) = T(\text{ambiente}) \rightarrow$ parcela se mantiene nivelada

Si $T(\text{parcela}) < T(\text{ambiente}) \rightarrow$ parcela tiende a bajar

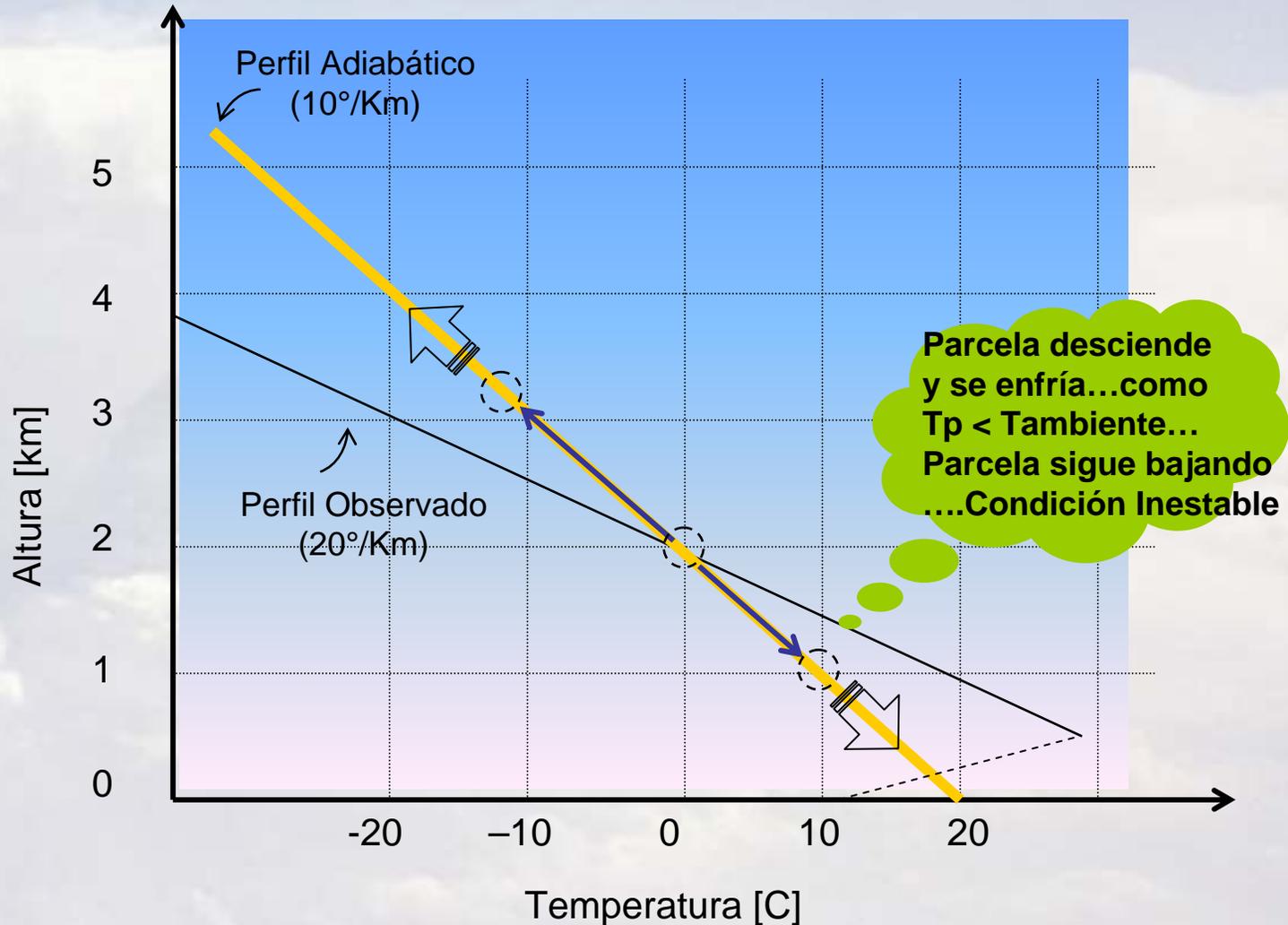
Análisis de estabilidad I (Inv. Térmica)



Análisis de estabilidad II



Análisis de estabilidad III



En Resumen

si $G < G_{ad} = + 10^\circ/\text{Km} \rightarrow$ Condición estable...movimientos verticales se atenuan. Caso particular de condición muy estable ocurre en presencia de inversión térmica ($G < 0$)

Si $G > G_{ad} \rightarrow$ Condición inestable...movimientos verticales se amplifican.

