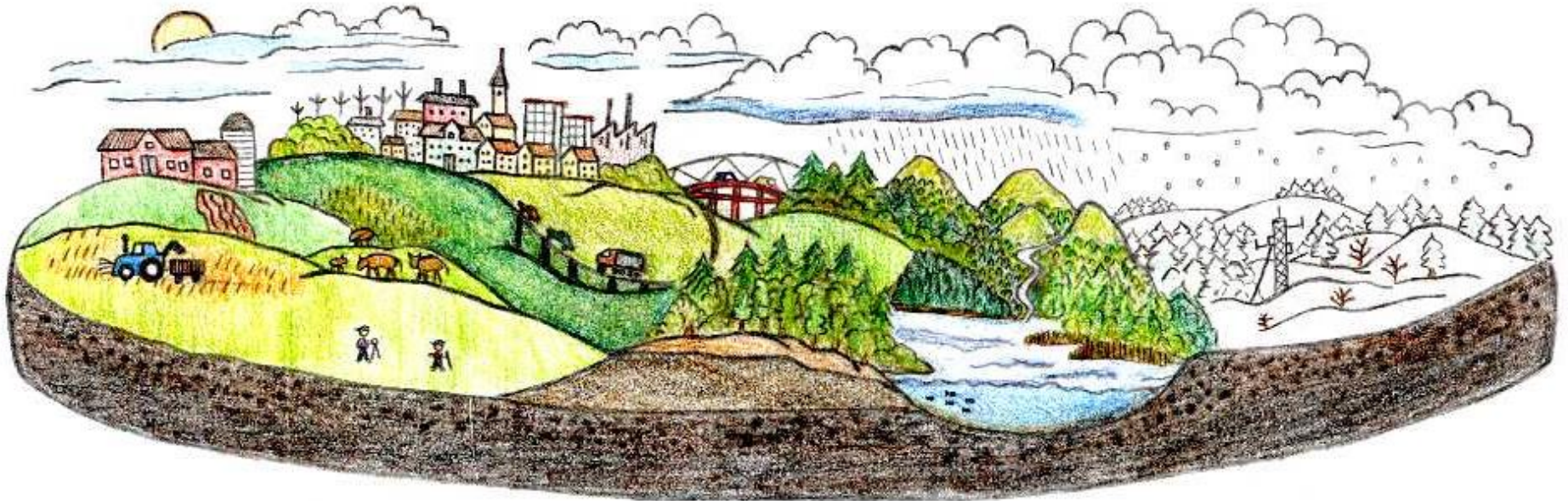


Bases Físicas del Medio Ambiente

Propiedades y Procesos Térmicos



Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- Introducción. Dilatación térmica. Fases. Cambios de fase. Calores latentes. Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico. Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío. Mecanismos de transmisión del calor.



Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- **Introducción. Dilatación térmica.** Fases. Cambios de fase. Calores latentes. Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico. Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío. Mecanismos de transmisión del calor.



Expansión/Compresión

- Todos los materiales se expansionan cuando se calientan
 - (aunque les cuesta trabajo; por eso, $C_p > C_v$)
 - Para algunos materiales, esto no tiene importancia
- Los sólidos y los líquidos
 - Son (aproximadamente) incompresibles
 - $C_p \approx C_v$
- Aunque despreciamos el trabajo que hacen, podemos reconocer su dilatación



Expansión/Compresión (Repetición de la lección 7)

- Los termómetros aprovechan la relación general* entre volumen y temperatura

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T$$

Cambio de volumen Coeficiente de expansión Volumen inicial Cambio de temperatura

- $\beta = f(F_{\text{intermoleculares}})$; propiedad de la materia (K^{-1})



Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- Introducción. Dilatación térmica. **Fases. Cambios de fase. Calores latentes.** Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico. Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío. Mecanismos de transmisión del calor.



Fases de la materia (De la lección 3)

- En función de las fuerzas interatómicas:
 - Tan intensas en los **sólidos** que los átomos permanecen en posiciones fijas.
 - Suficientes en los **líquidos** como para mantenerlos juntos ocupando el menor volumen posible.
 - Tan débiles en los **gases** que se mueven libremente por el recipiente que los contiene (expansiona para rellenar el contenedor)



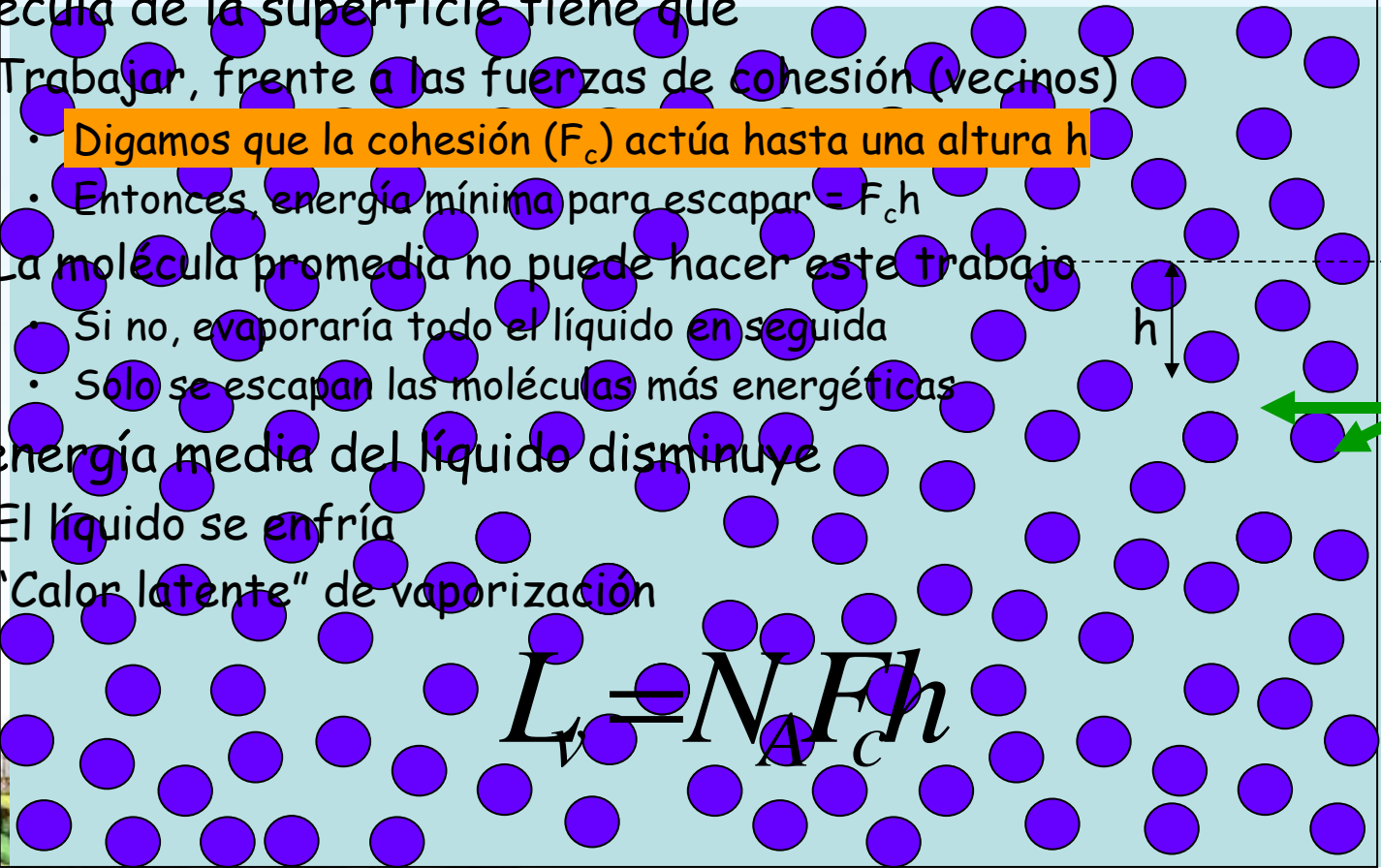
La transición de una fase a otra involucra unos cambios en las fuerzas interatómicas (o intermoleculares) y por lo cual, una transición de estados energéticos (energía interna: de enlace)

Tensión Superficial y Evaporación

- Para escapar del fluido hacia arriba (evaporarse), una molécula de la superficie tiene que
 - Trabajar, frente a las fuerzas de cohesión (vecinos)
 - Digamos que la cohesión (F_c) actúa hasta una altura h
 - Entonces, energía mínima para escapar = $F_c h$
 - La molécula promedio no puede hacer este trabajo
 - Si no, evaporaría todo el líquido en seguida
 - Solo se escapan las moléculas más energéticas
- La energía media del líquido disminuye
 - El líquido se enfría
 - "Calor latente" de vaporización

$$L_v = N_A F_c h$$

Aproximación didáctica ($F \neq \text{cte.}$)



Tensión Superficial y Evaporación

- Para escapar del fluido hacia arriba (evaporarse), una molécula de la superficie tiene que
 - Trabajar, frente a las fuerzas de cohesión (vecinos)
 - Digamos que la cohesión (F_c) actúa hasta una altura h
 - Entonces, energía mínima para escapar = $F_c h$
 - La molécula promedio no puede hacer este trabajo
 - Si no, evaporaría todo el líquido en seguida
 - Solo se escapan las moléculas más energéticas
- La energía media del líquido disminuye
 - El líquido se enfría
 - "Calor latente" de vaporización

$$L_v = N_A F_c h$$

Aproximación didáctica ($F \neq \text{cte.}$)



Cambios de Fase

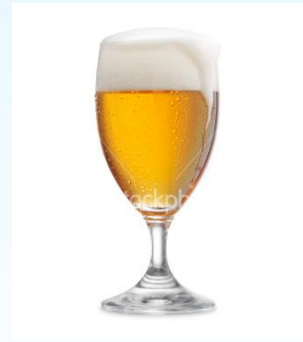
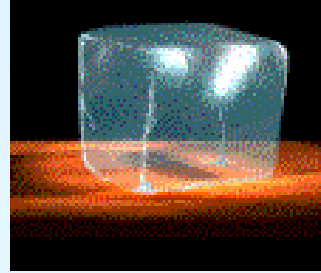
- En general, cualquier cambio de fase
 - Cambio de las fuerzas inter-moleculares
 - Cambio de energía interna (ΔU)
 - Sin cambio de temperatura ($\Delta T = 0$)
- ¿Cuánta energía?
 - Depende de la cantidad de materia
 - Diapositiva anterior: en cuanto al número de moléculas
 - Más generalmente: en cuanto a la masa
 - También depende de la sustancia
- Propiedad térmica (importante) de una sustancia:
 - "Calor latente"

$$L = \pm \frac{Q}{m} \quad (\text{m}^2 \text{s}^{-2})$$



Ejemplos de Cambio de Fase Entre estados de Agua

- Se derrita un cubo de hielo a 0°C
 - Agua sólida + calor ---- 0°C ----> agua líquida
 - **Calor latente de fusión**; Entalpía de fusión
 - $L_f = 333 \text{ J g}^{-1}$
- Se evapora una gota de líquido a 100°C
 - Agua líquida + calor ---- 100°C ----> agua vapor
 - **Calor latente de evaporación**; Entalpía de vaporización
 - $L_v = 2258 \text{ J g}^{-1}$
- Menos evidente (quizás)
 - Procesos al revés (congelación; condensación)
 - Liberan la misma cantidad de energía (calor)



Calores latentes de varias sustancias distintas

Sustancia	L_f ($J g^{-1}$)	T ($^{\circ}C$)	L_v ($J g^{-1}$)	T ($^{\circ}C$)
Agua	334	0	2258	100
Etanol	109	-114	838	78
Cloroformo	74	-64	254	62
Mercurio	11	-39	294	357
Azufre	54	115	1406	445
Nitrógeno	25	-210	199	-196



¿Temperaturas aleatorias?

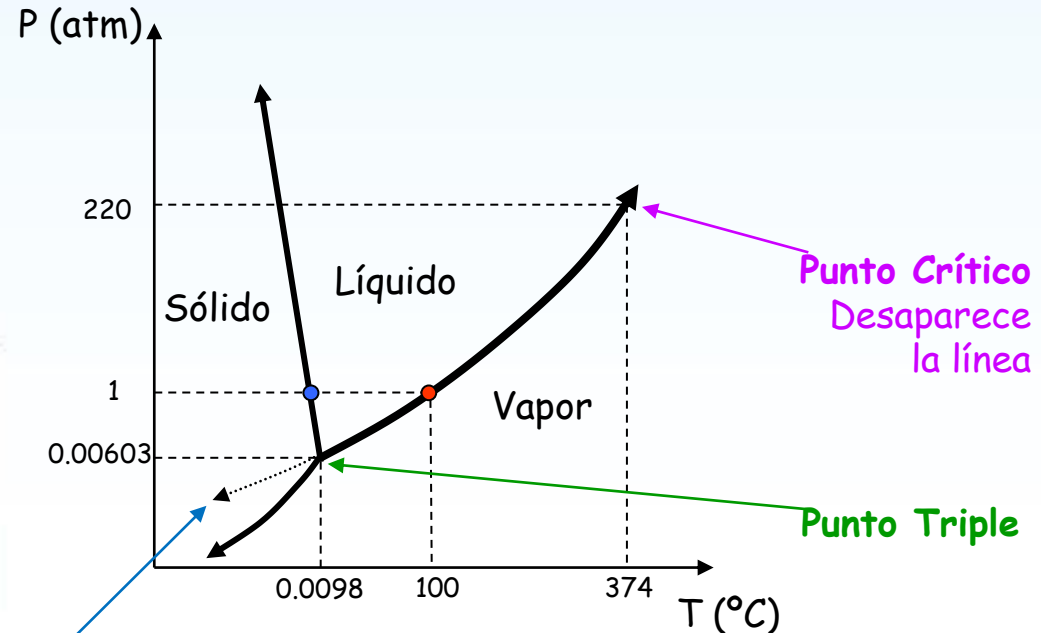
Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- Introducción. Dilatación térmica. Fases. Cambios de fase. Calores latentes. **Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico.** Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío. Mecanismos de transmisión del calor.



Diagramas de Fase

- Una botella (cerrada) de agua
 - $T = 40^{\circ}\text{C}$, se queda líquida (excepto bajísima presión)
 - $T = 200^{\circ}\text{C}$, se evapora (excepto a altísima presión)
 - $T = -5^{\circ}\text{C}$, se congela (excepto a bajísima presión)
- Son ejemplos, pero también existen puntos/líneas de transición:
 - En función de T y P
 - Equilibrio entre estados



Líquido sobreenfriado (siembra de nubes)

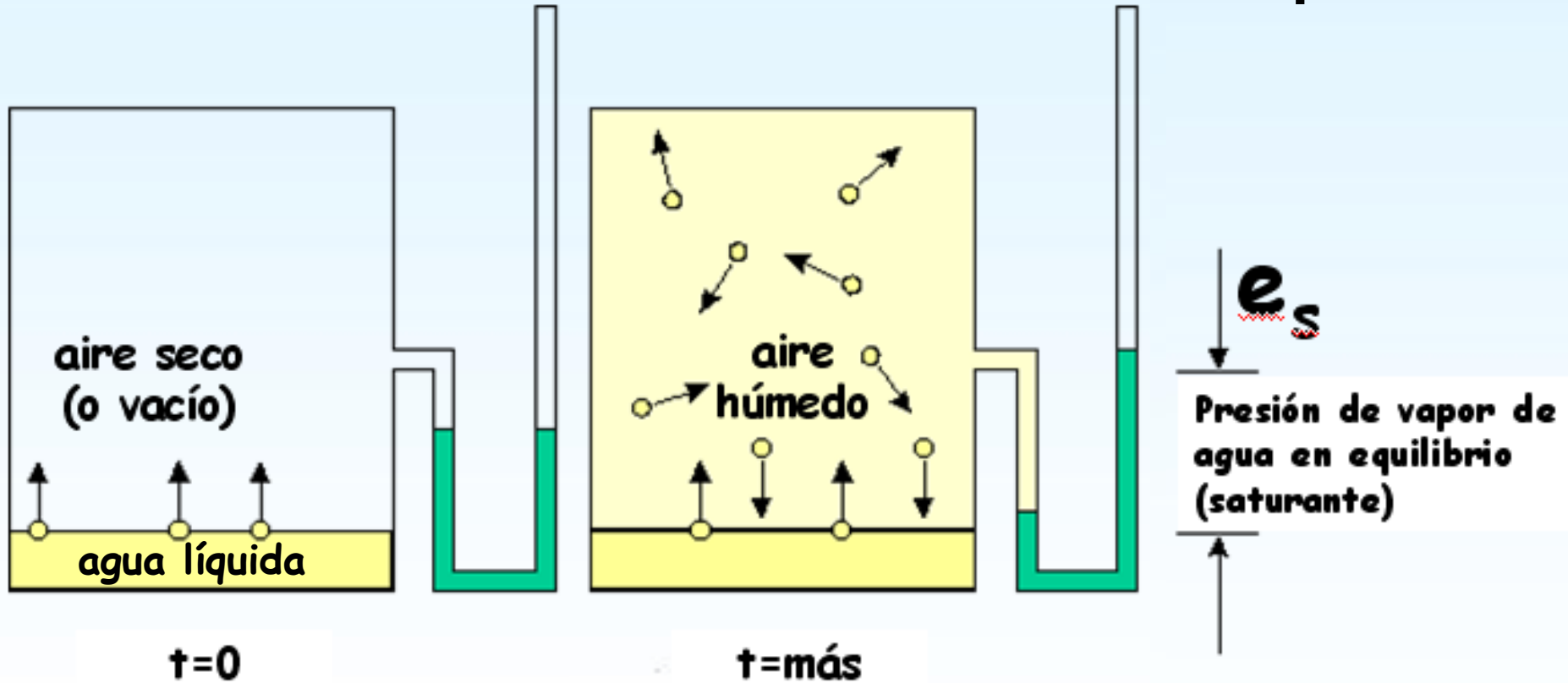


Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- Introducción. Dilatación térmica. Fases. Cambios de fase. Calores latentes. Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico. **Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío.** Mecanismos de transmisión del calor.



Presión de vapor de agua en equilibrio con una superficie plana



t=0

t=más tarde

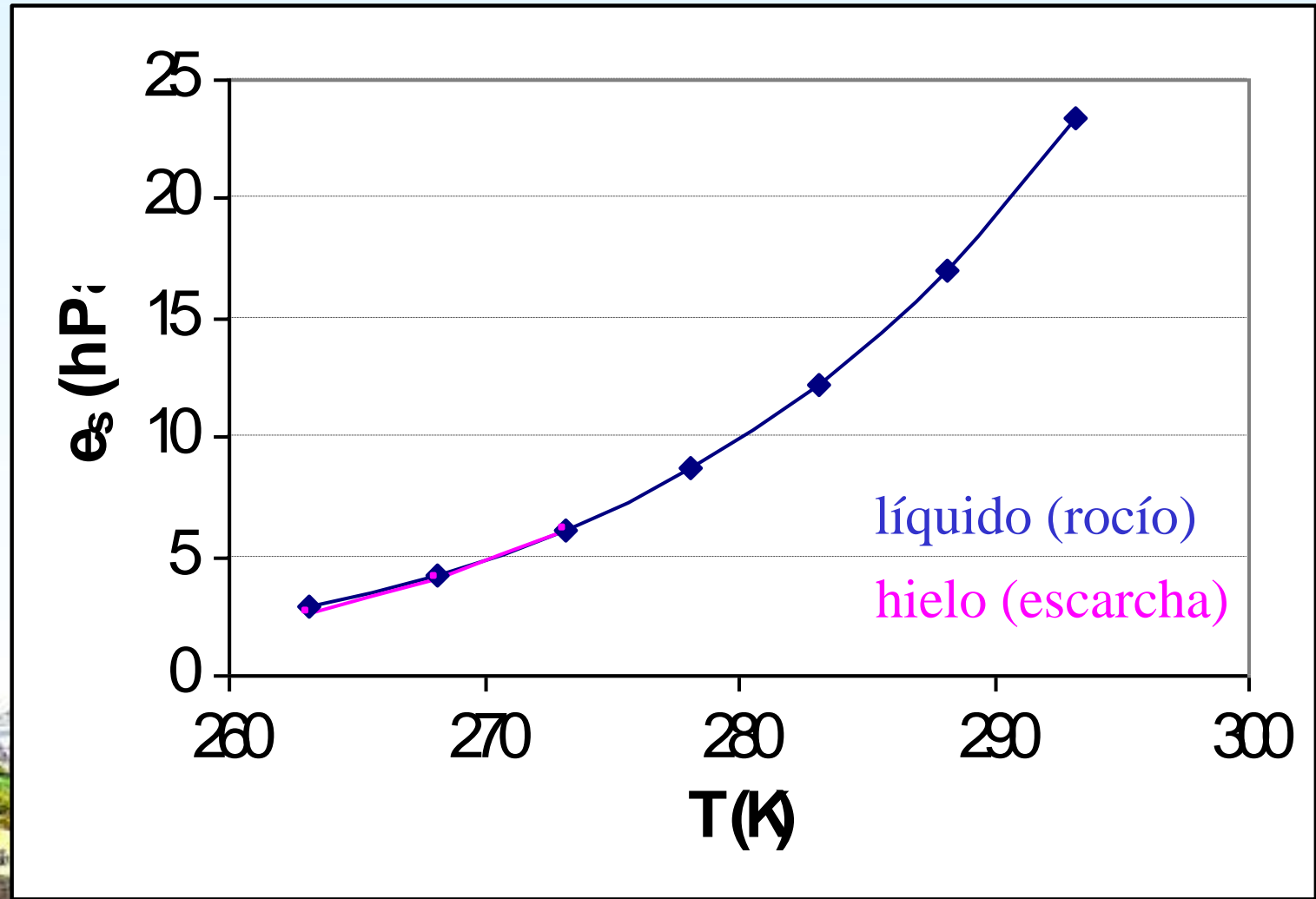


Equilibrio

- Condiciones
 - Contenedor cerrado
 - Tiempo para que se establezca el equilibrio
- Empíricamente
 - En condiciones de 100% humedad relativa (def.)
 - La presión de vapor de agua (saturante) depende únicamente de la temperatura: $e_s = f(T)$ (forma: diapositivas siguientes)
- Falta de equilibrio en el ambiente
 - 100% → nubes/niebla (se puede ver)
 - Más típico en nuestro entorno ~70% (en Granada, menos)
 - ¿Porqué no?
 - Procesos de eliminación (lluvia...)



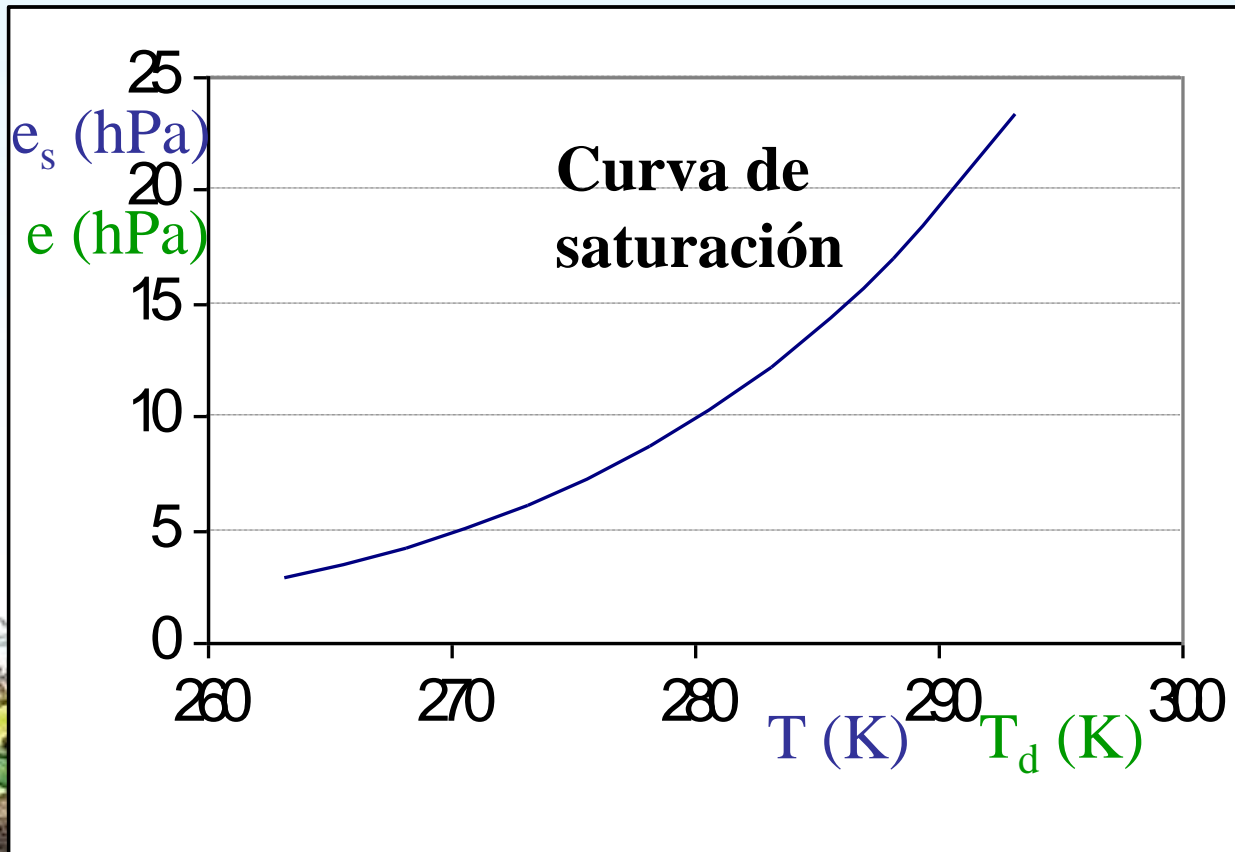
$$e_s = f(T)$$



PUNTO DE ROCIO

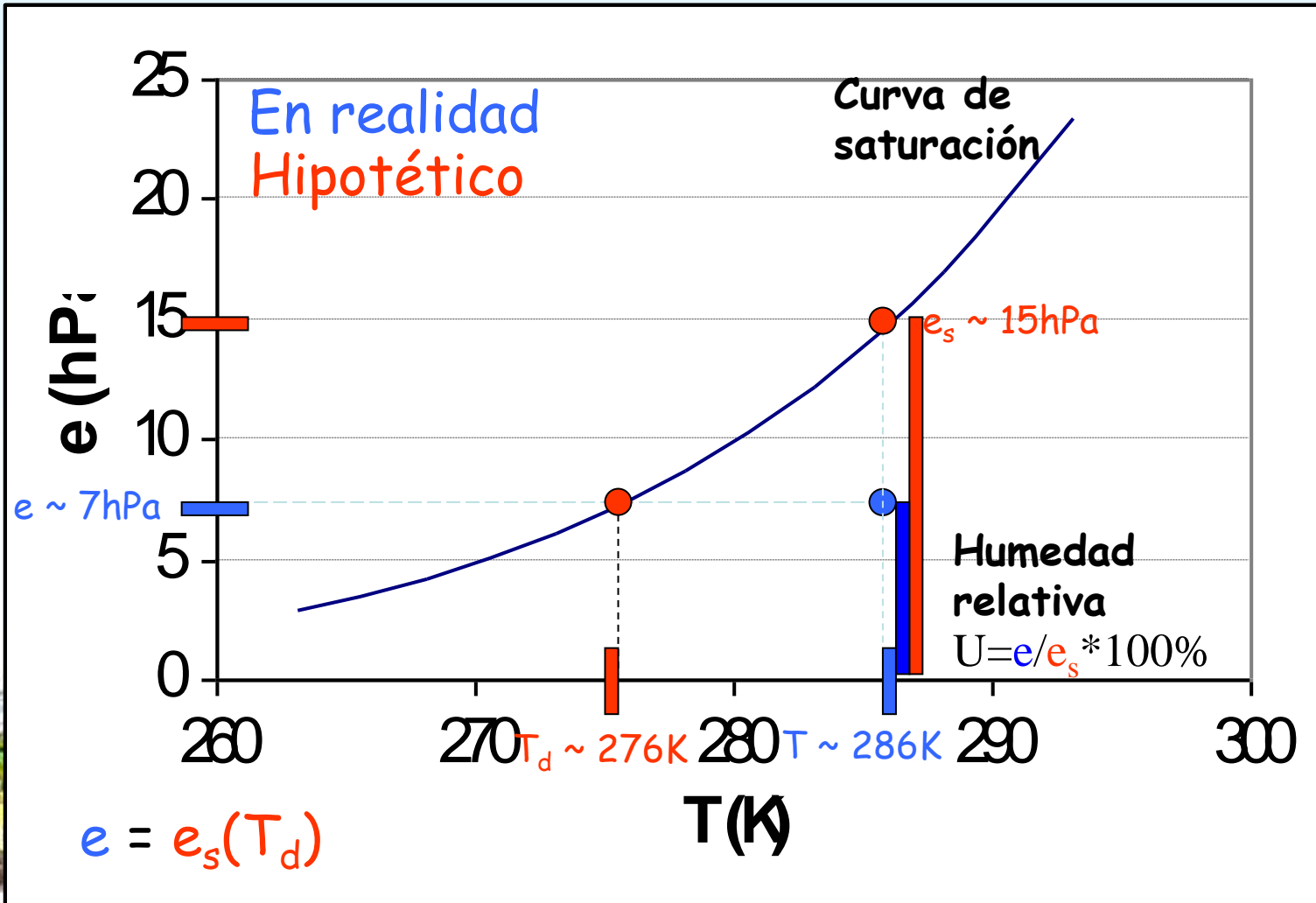
El aire alcanza esta **temperatura** cuando se enfría **isobáricamente** hasta alcanzar la **saturación sin intercambiar vapor** con el aire de alrededor.

$$P = \text{cte} \quad e = \text{cte}$$



Saturación = Equilibrio

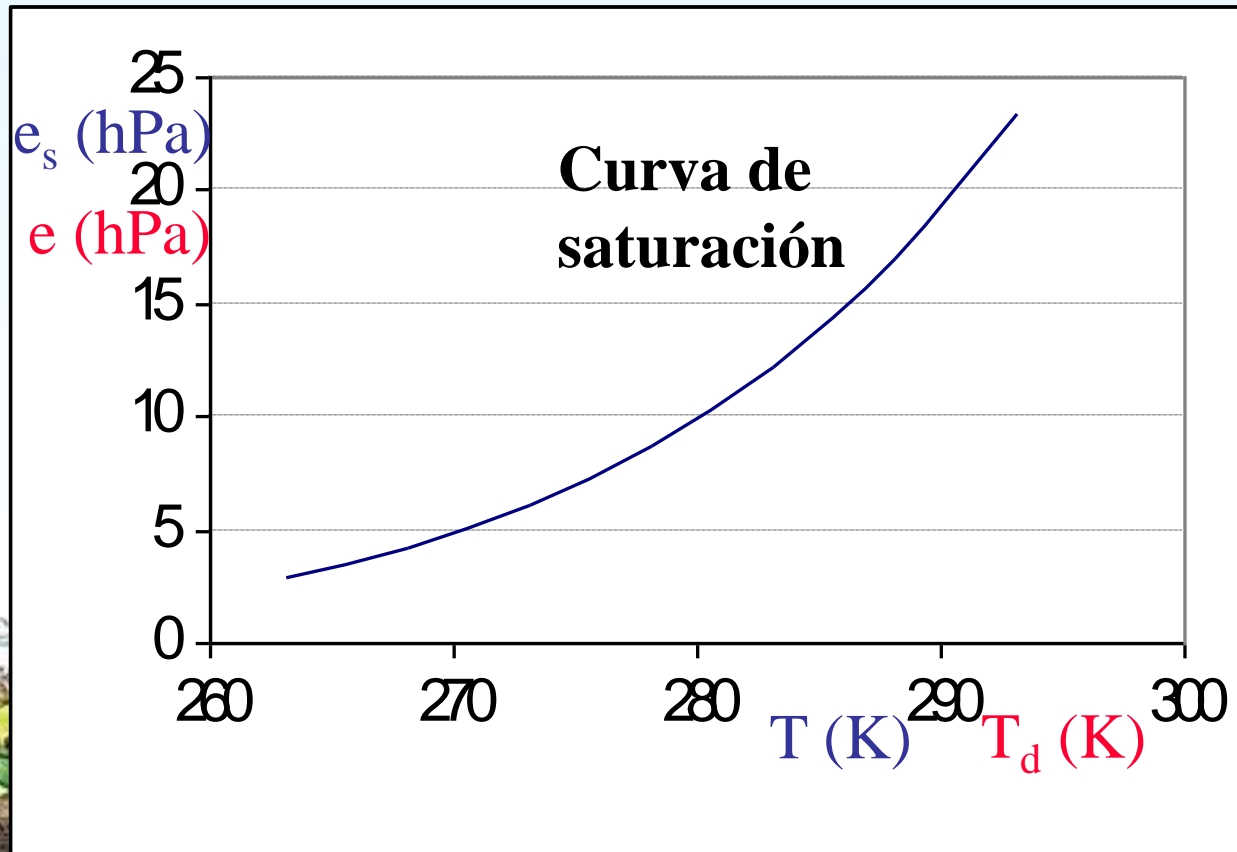
Fuera de equilibrio



MEDIDAS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD

A pesar de tener unidades de Pa, ¡ e_s es una medida de T!

A pesar de tener unidades de K, ¡ T_d es una medida de e!

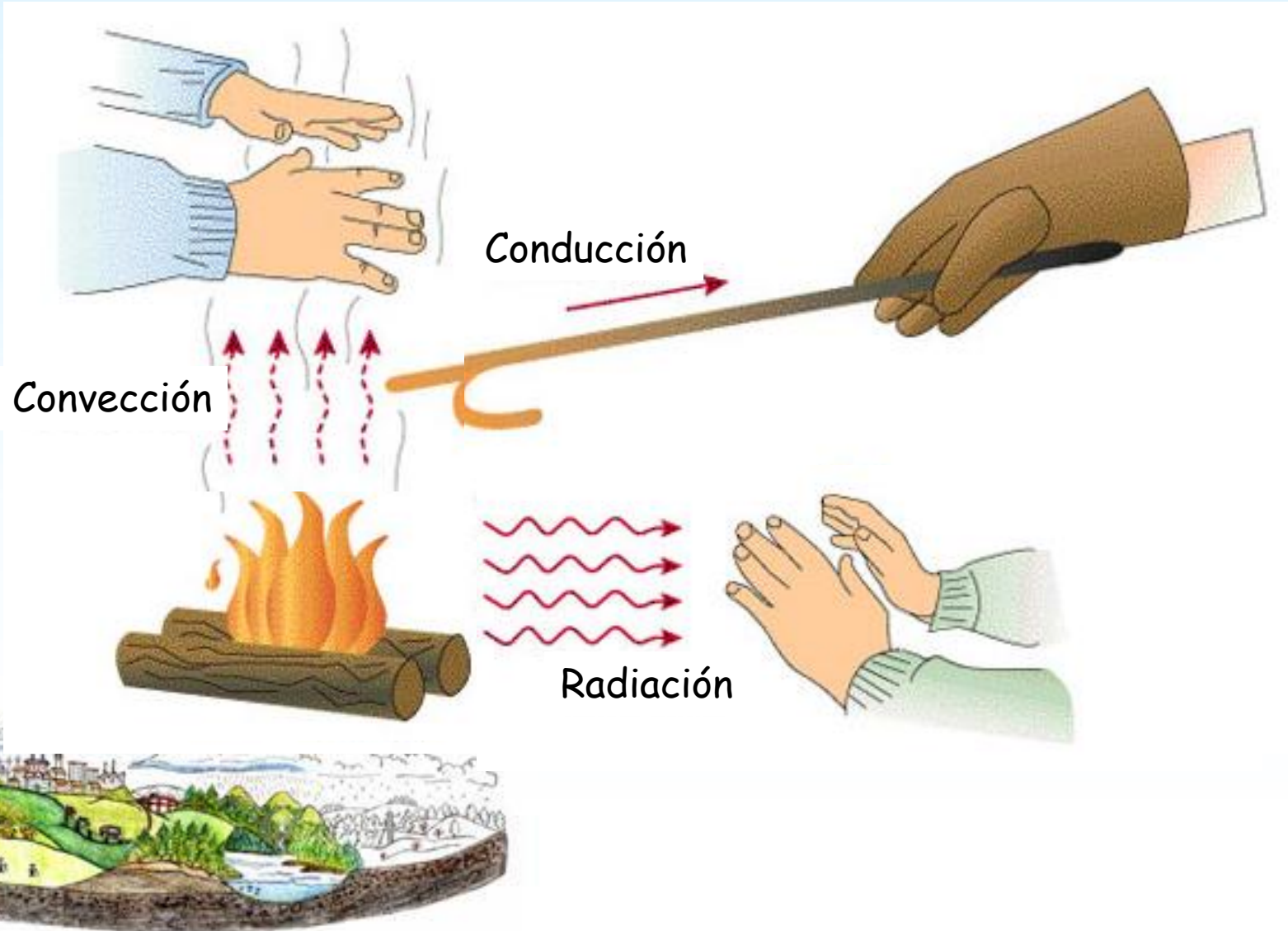


Programa

- **IX. PROPIEDADES Y PROCESOS TÉRMICOS. (1h)**
- Introducción. Dilatación térmica. Fases. Cambios de fase. Calores latentes. Superficies termodinámicas para sustancias puras. Diagramas de fase. Punto triple y punto crítico. Presión de vapor. Humedad: Punto de rocío. **Mecanismos de transmisión del calor.**



Transferencia de calor: Tres Mecanismos



Conducción de Calor



- **Conducción Térmica**
 - Transferencia por contacto directo
 - Porque usar una manopla de cocina
- **Al nivel molecular**
 - Definición cinética de la T (Lección VII)
 - Las vibraciones moleculares ----> la Temperatura
 - Transferencia de energía cinética de las moléculas
- **Qué determina la conducción**
 - Diferencia de temperatura
 - Alguna propiedad de la materia



Conducción Térmica por materiales

- Podemos sostener una banda de asbestos (amianto) en una llama indefinidamente
- Otros malos conductores (aislar tu casa)
 - Gases (distancias intramoleculares)
 - Madera, ladrillo, fibra de vidrio
- Buenos conductores (para un sartén)
 - Plata, Cobre, y Oro, Aluminio
- ¿Porqué?
 - Vibración de moléculas
 - Movilidad de electrones (metales)
 - Transporte de energía a distancia

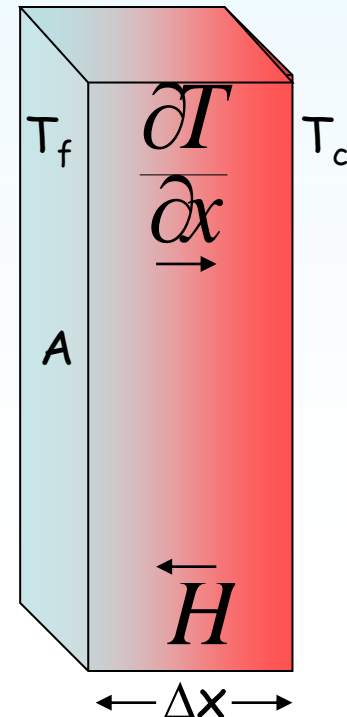
http://www.marvel.com/universe/Asbestos_Man



Transferencia de Calor por Conducción

- La conducción requiere un gradiente de T
- Consideramos un bloque de materia con
 - Anchura Δx , y superficie transversal A
 - Temperaturas por cara
 - Cara fría: T_f
 - Cara caliente: T_c
- El flujo de calor, $H = \frac{Q}{\Delta t}$ (kg m² s⁻³)
 - Calor por unidad de tiempo, depende de
 - La diferencia de temperatura, $T_c - T_f$
 - La superficie, A
 - La Δx anchura (inversamente)
 - La materia
 - k = "Conductividad"

$$H = kA \frac{T_f - T_c}{\Delta x}$$
$$H = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$



Conductividades de algunas materias

Metales (25°C)	K (W m ⁻¹ K ⁻¹)	No Metal	K (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Gases (20°C)	K (W m ⁻¹ K ⁻¹)
Aluminio	238	Asbestos	0.08	Aire	0.0234
Cobre	397	Hormigón	0.8	Helio	0.138
Oro	314	Diamante	2300	Hidrógeno	0.172
Hierro	79.5	Vidrio	0.8	Nitrógeno	0.234
Plomo	34.7	Hielo	2	Oxígeno	0.238
Plata	427	Caucho	0.2		
		Agua	0.6		
		Madera	0.08		



Aislamiento en Construcción

- En la ingeniería, se usa la coeficiente $R = \frac{\Delta x}{k}$

$$H = kA \frac{T_f - T_c}{\Delta x} \quad H = A \frac{T_f - T_c}{R}$$

- La importancia del aislamiento
 - Tejado con mal aislamiento
 - Buhardilla bien aislada
- Coeficiente de un material compuesto

$$H = A \frac{T_f - T_c}{R} \quad R = \sum R_i$$

$$R_i = \frac{\Delta x_i}{k_i}$$



Convección

- Proceso de transferencia

- De materia
- De calor (con la materia)



- Propiedades que se mueven con el fluido

- Convección de calor cuando hay:
- Gradiente de T en la dirección del viento/corriente

- En la meteorología, dos tipos de "convección"

- "Advección" traslado de una masa de aire con características bien definidas
- "Convección" movimiento vertical
 - Diferencias de densidad (empuje)

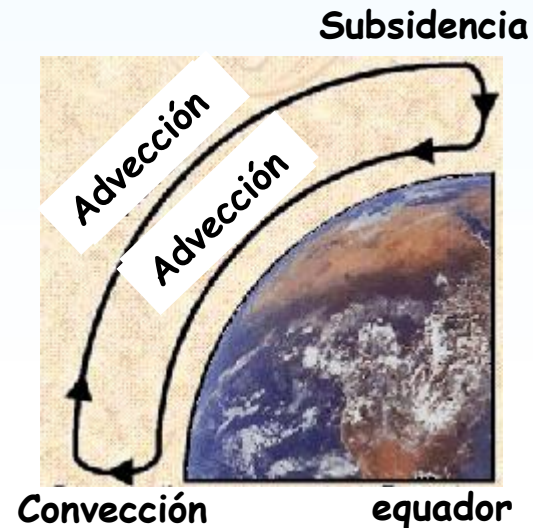
$$H = mc_p u \frac{dT}{dx}$$

inconveniente

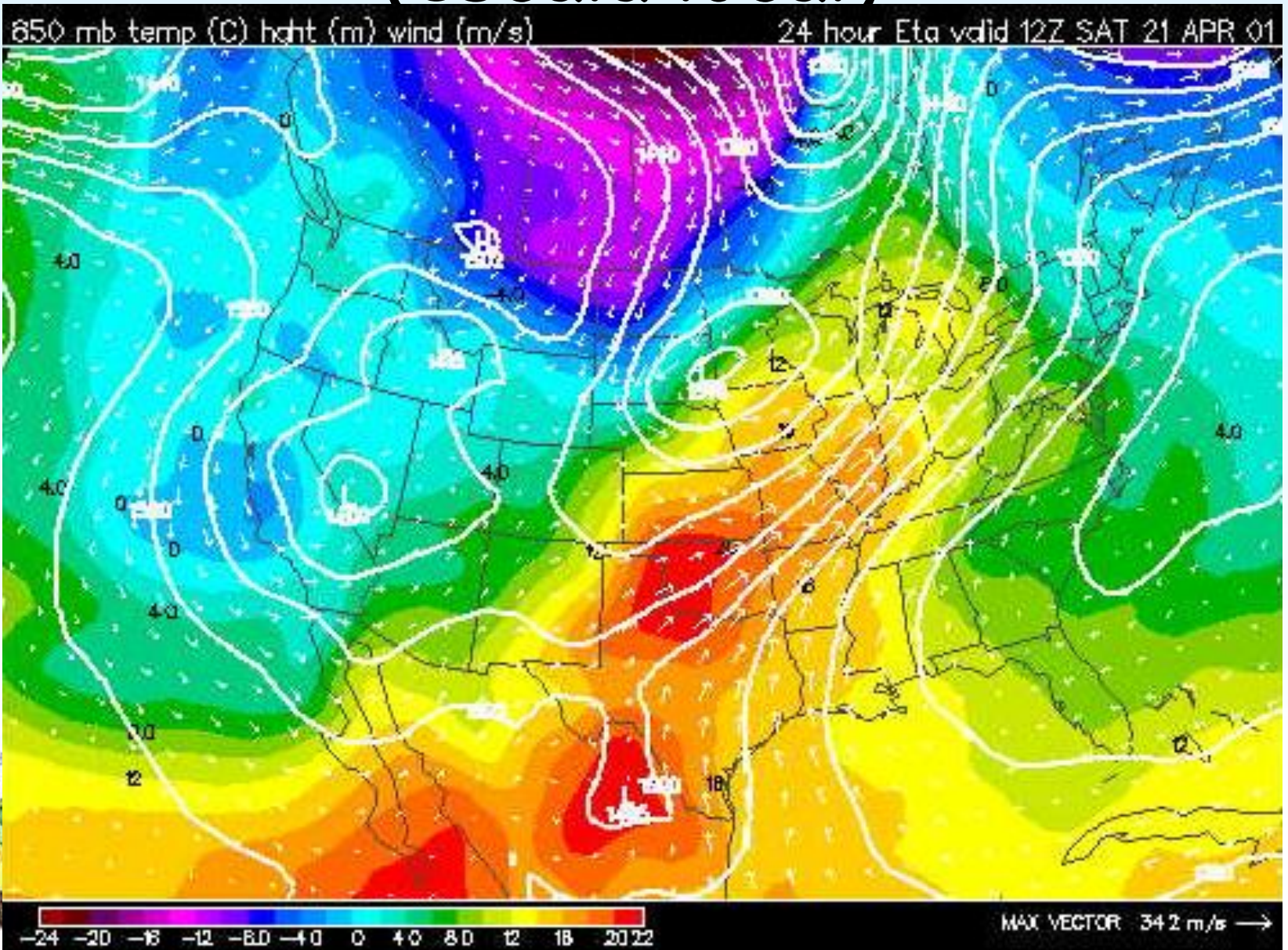


Advección y Convección

- A escala global, todo es "convección"
- Meteorología
 - Escala más local (ejm., España)
 - Diferencia notable en los tipos de nubes
 - Nubes en estrato (procesos de advección)
 - Nubes de convección



Advección en Oklahoma (escala local)



Radiación

- Las moléculas de cualquier cuerpo vibran
 - Emiten radiación electromagnética
 - En función de su Temperatura
 - Dependencia **muy** fuerte
- El flujo de energía emitida (H) también depende de
 - La superficie A del cuerpo
 - Una constante universal (σ)
 - La emisividad (ε), propiedad adimensional de materia
- La ley de Stefan-Boltzman

$$H = \sigma A T^4 \quad (\text{kg m}^2 \text{s}^{-3})$$

La constante de Stefan-Boltzman

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^8 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$



Intercambio de energía por radiación

- Diferencia de T entre objeto (T) y entorno (T_0)
- La pérdida de energía radiativa por el objeto es

$$H_{neto} = \sigma \epsilon A (T^4 - T_0^4)$$

- Objeto caliente ($T > T_0$) pierde energía
- Objeto frío ($T < T_0$) gana energía
- La Tierra se enfría por la noche
 - Mucho una noche clara ($T_{sup} \gg T_{espacio}$)
 - Menos en presencia de nubes ($T_{sup} > T_{nube}$)



Radiación de un Cuerpo Negro

- La ley de Stefan-Boltzman $H = \sigma AT^4$ (kg m² s⁻³)
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^8 \text{ Wm}^2 \text{ K}^{-4}$
- Un "cuerpo negro" tiene $\varepsilon = 1$
- En realidad no existe, pero aproximadamente
 - El sol
 - Fuente de energía para el sistema climático
 - Se comporta como un cuerpo negro con $T \sim 5780 \text{ K}$
 - La Tierra (\approx océano)
 - Se comporta como un cuerpo negro con $T \sim 300 \text{ K}$
 - Su enfriamiento se retarda por el efecto invernadero
 - (Molécula de CO_2 / H_2O / etc. : como cuerpo negro más frío)



El Vaso de Dewar

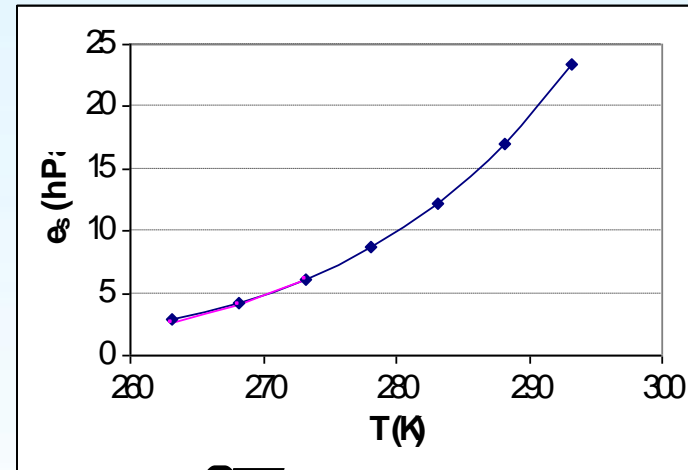
- Diseñado para minimizar los intercambios
 - **Conducción**
 - **Convección**
 - **Radiación**
- Como un termo (sofisticado), pero
 - **Vacío** entre las dos paredes
 - **Plateada** (plata tiene $\epsilon \rightarrow 0$)



Conceptos/Ecuaciones a Dominar

- Dilatación térmica
- Calor latente
- Diagramas de Fase
 - Punto triple
 - Punto crítico
- Humedad
 - Presión (saturante) de vapor de agua
 - Punto de rocío, humedad relativa
- Procesos de transferencia de energía
 - Conducción
 - Convección
 - Radiación

$$L = \pm \frac{Q}{m} \quad \Delta V = \beta V_i \Delta T$$



$$H = mc_p u \frac{dT}{dx} \quad H = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad H = \sigma \epsilon A T^4$$



Fin

