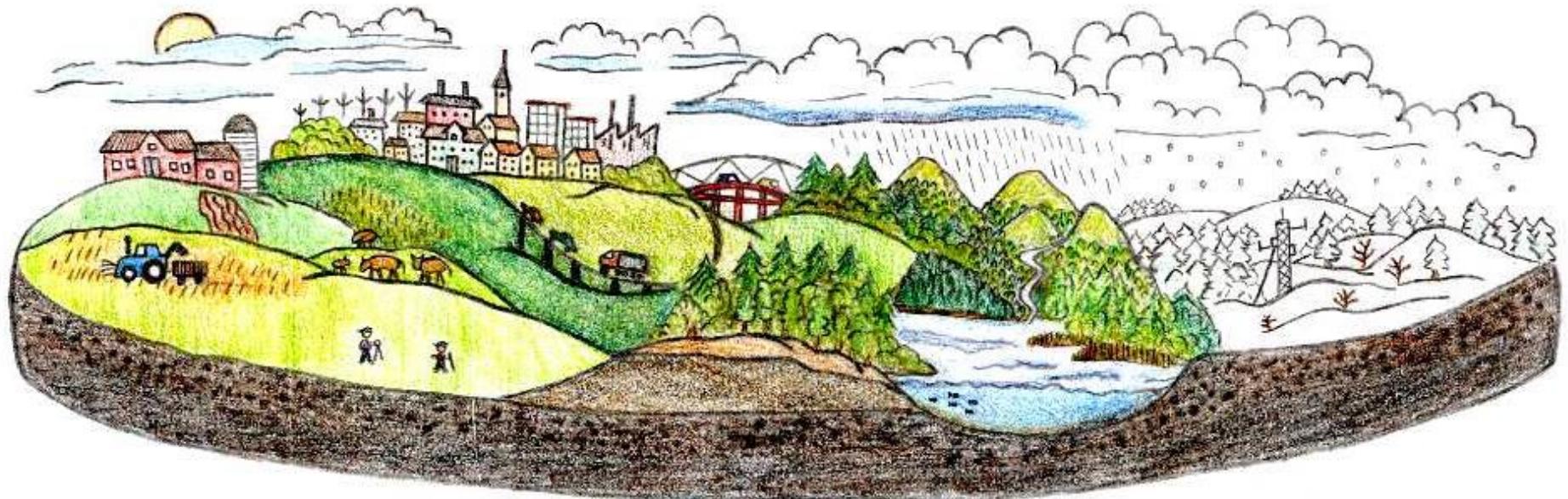


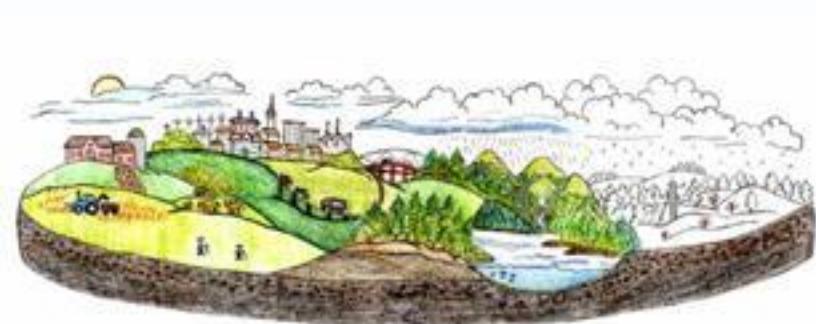
# Bases Físicas del Medio Ambiente

## Propiedades y Procesos Térmicos



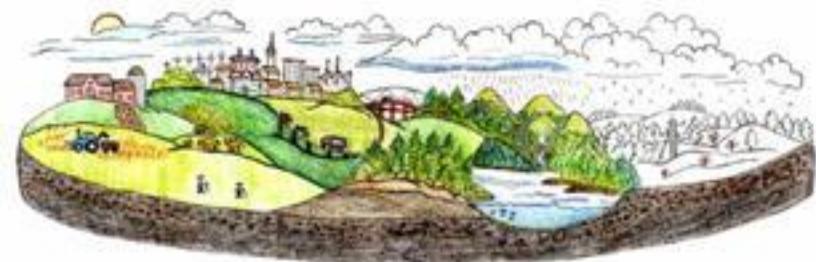
# Programa

- **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.



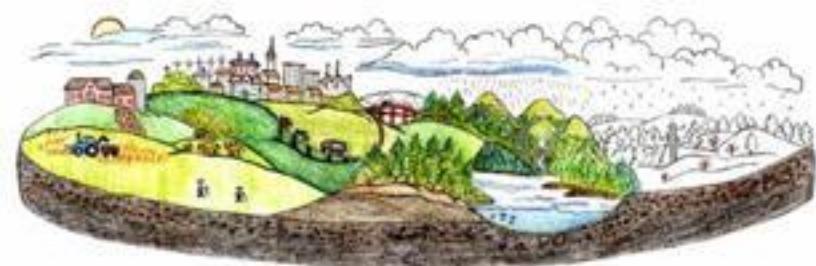
# Programa

- **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

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

Diagram illustrating the components of the volume expansion formula:

- Cambio de volumen (Change in volume) points to  $\Delta V$ .
- Coeficiente de expansión (Coefficient of expansion) points to  $\beta$ .
- Volumen inicial (Initial volume) points to  $V_i$ .
- Cambio de temperatura (Change in temperature) points to  $\Delta T$ .

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



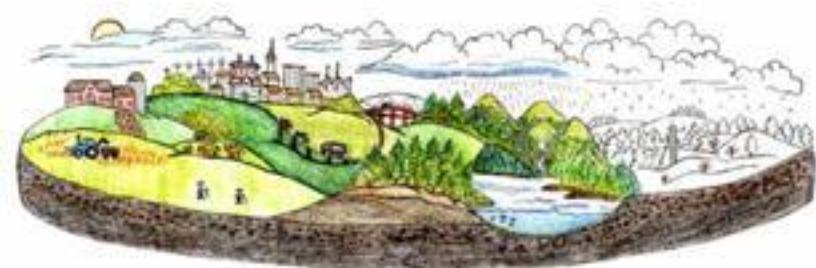
# Programa

- **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 llenar el contenedor)

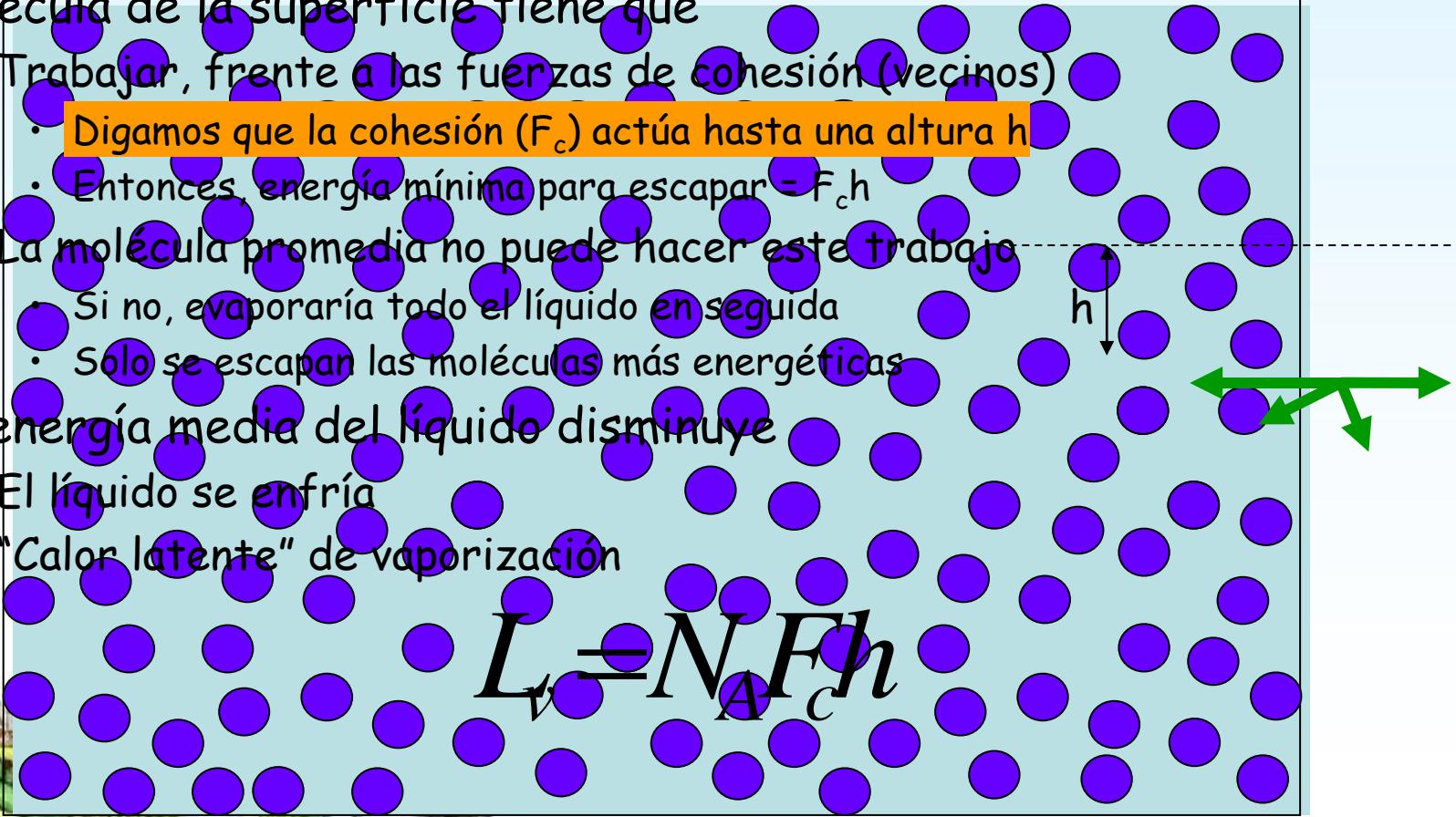


La transición de una fase a otra involucra unos cambios en las fuerzas interatómicas (o intermoleculares) y por lo cual, una transición de estados energéticos (energía interna: de enlace)

# 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 enfriá
  - "Calor latente" de vaporización

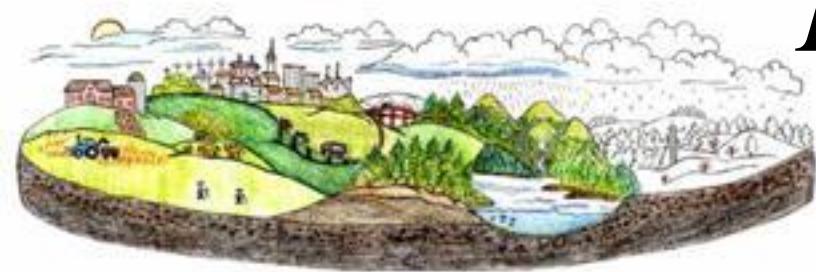
$$L = N F_c h$$



# 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 promedia 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 enfriá
  - "Calor latente" de vaporización

$$L_v = N_A F_c h$$

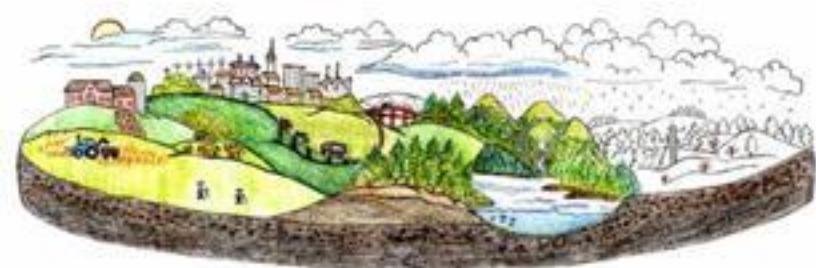


Aproximación didáctica ( $F \neq \text{cte.}$ )

# Cambios de Fase

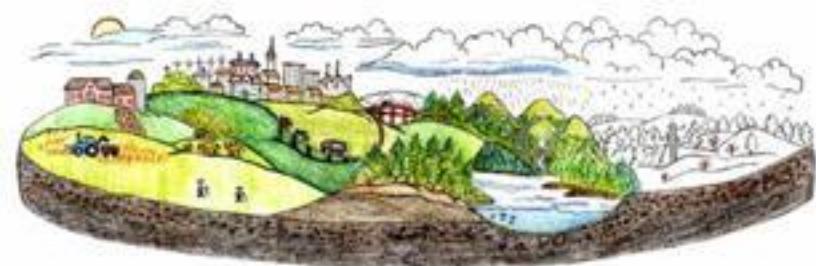
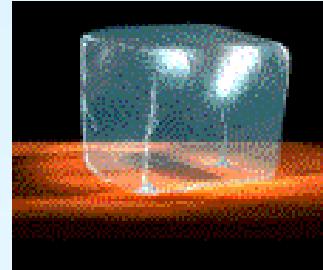
- En general, cualquier cambio de fase
  - Cambio de las fuerzas inter-moleculares
  - Cambio de energía interna ( $\Delta U$ )
  - Sin cambio de temperatura ( $\Delta T = 0$ )
- ¿Cuánta energía?
  - Depende de la cantidad de materia
    - Diapositiva anterior: en cuanto al número de moléculas
    -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

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



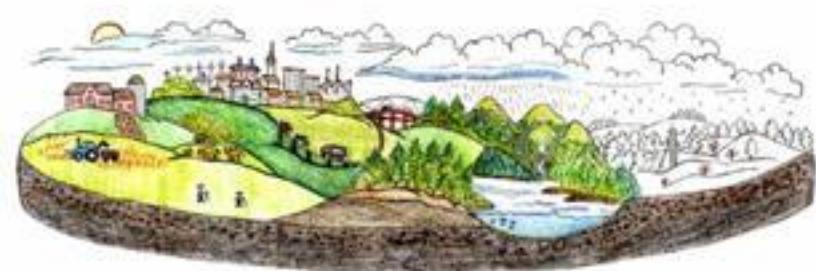
# Ejemplos de Cambio de Fase Entre estados de Agua

- Se derrita un cubo de hielo a  $0^{\circ}\text{C}$ 
  - Agua sólida + calor ----  $0^{\circ}\text{C}$  ----> agua líquida
  - **Calor latente de fusión**; Entalpía de fusión
  - $L_f = 333 \text{ J g}^{-1}$
- Se evapora una gota de líquido a  $100^{\circ}\text{C}$ 
  - Agua líquida + calor ----  $100^{\circ}\text{C}$  ----> 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

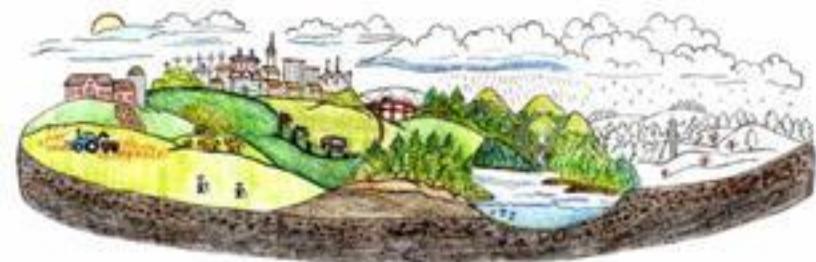
Sustancia	$L_f$ (J g <sup>-1</sup> )	T (°C)	$L_v$ (J g <sup>-1</sup> )	T (°C)
Agua	334	0	2258	100
Etanol	109	-114	838	78
Cloroformo	74	-64	254	62
Mercurio	11	-39	294	357
Azufre	54	115	1406	445
Nitrógeno	25	-210	199	-196



¿Temperaturas aleatorias?

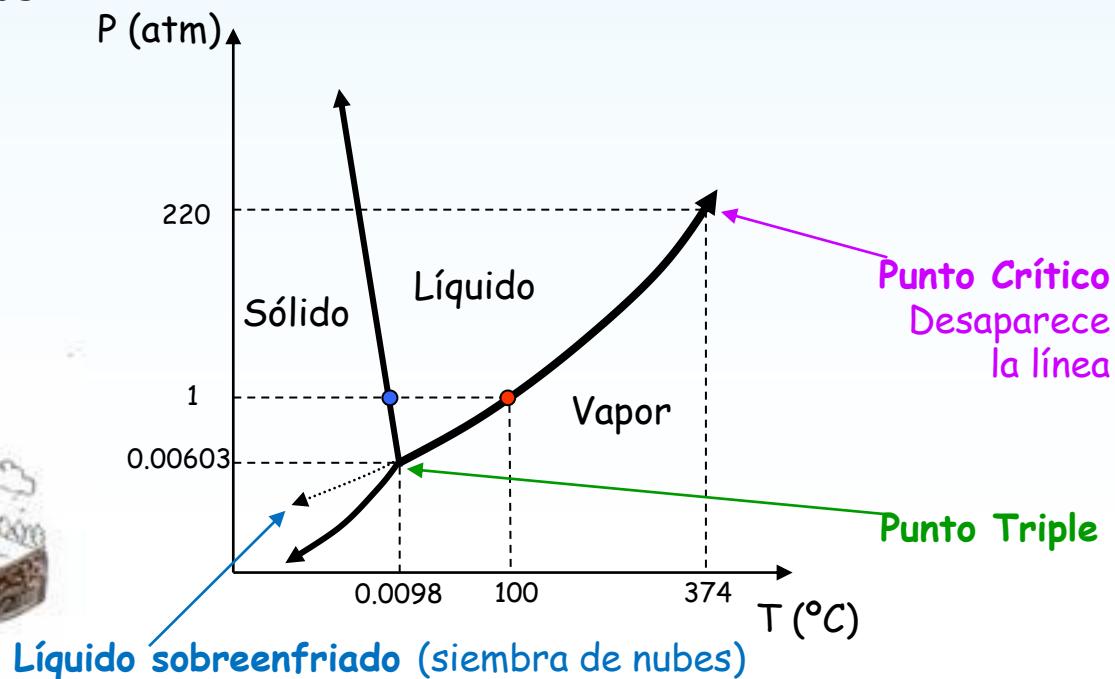
# Programa

- **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.



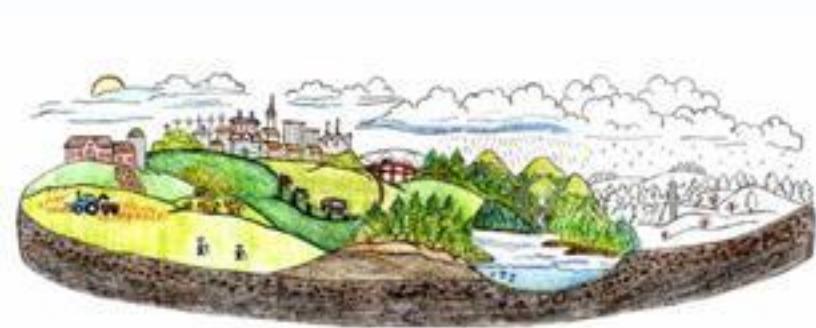
# Diagramas de Fase

- 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

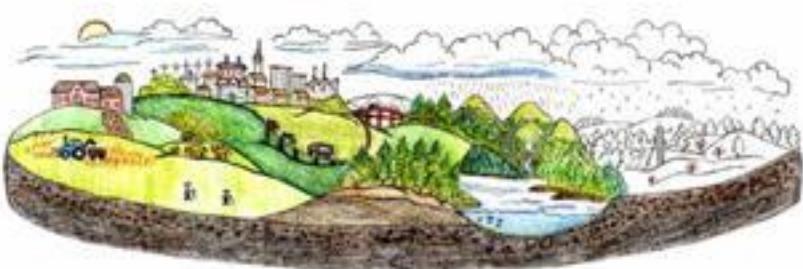
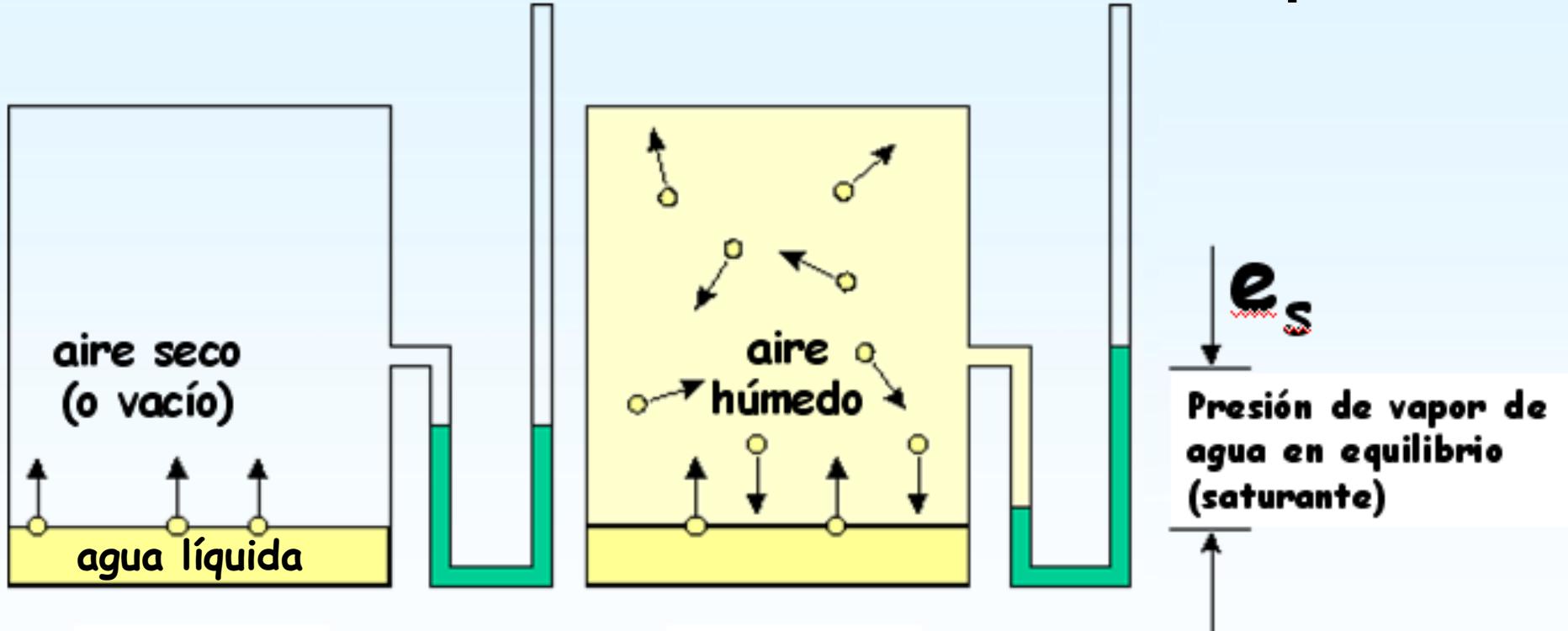


# Programa

- **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

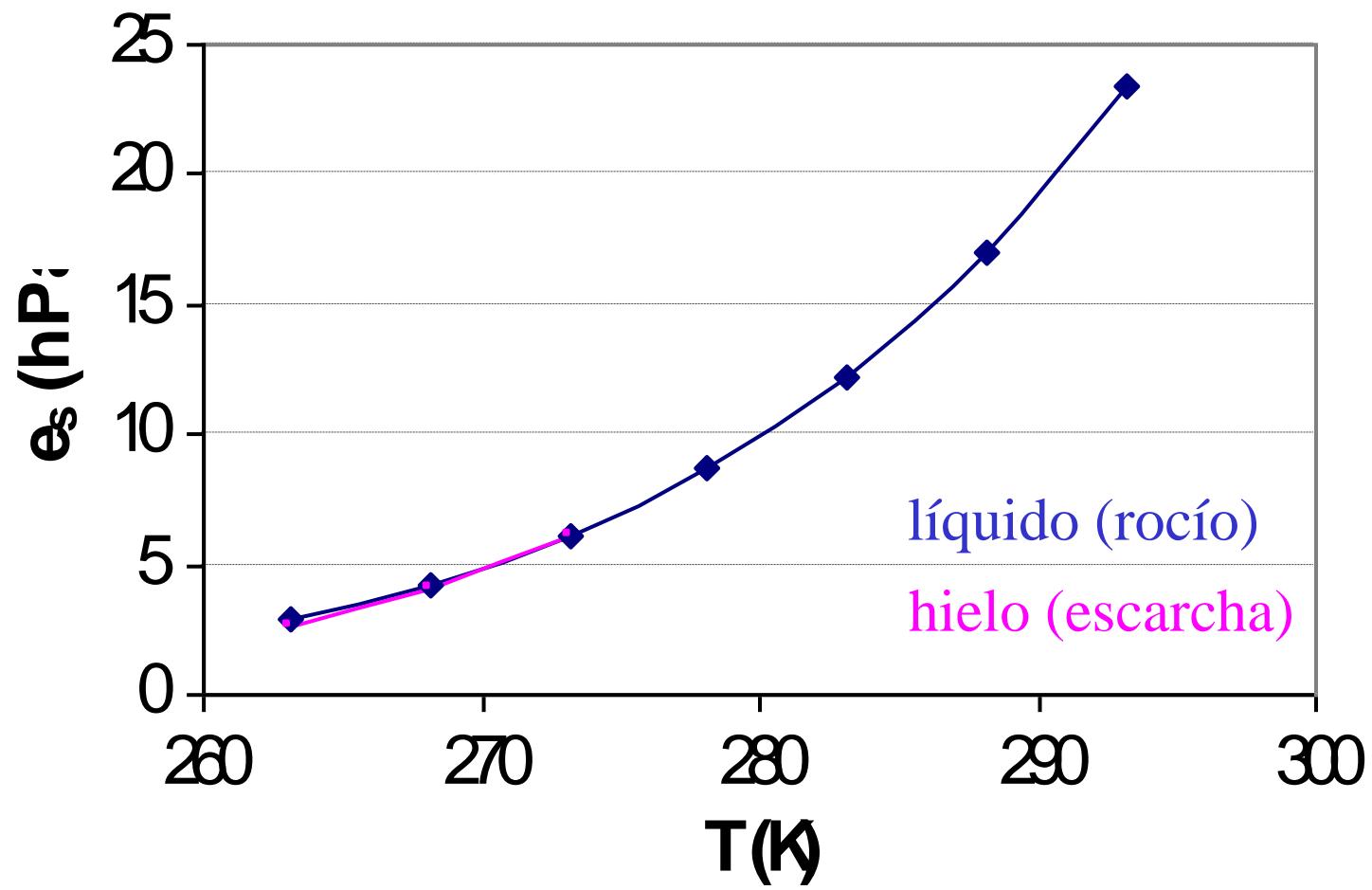


# Equilibrio

- **Condiciones**
  - Contenedor cerrado
  - Tiempo para que se establece 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...)



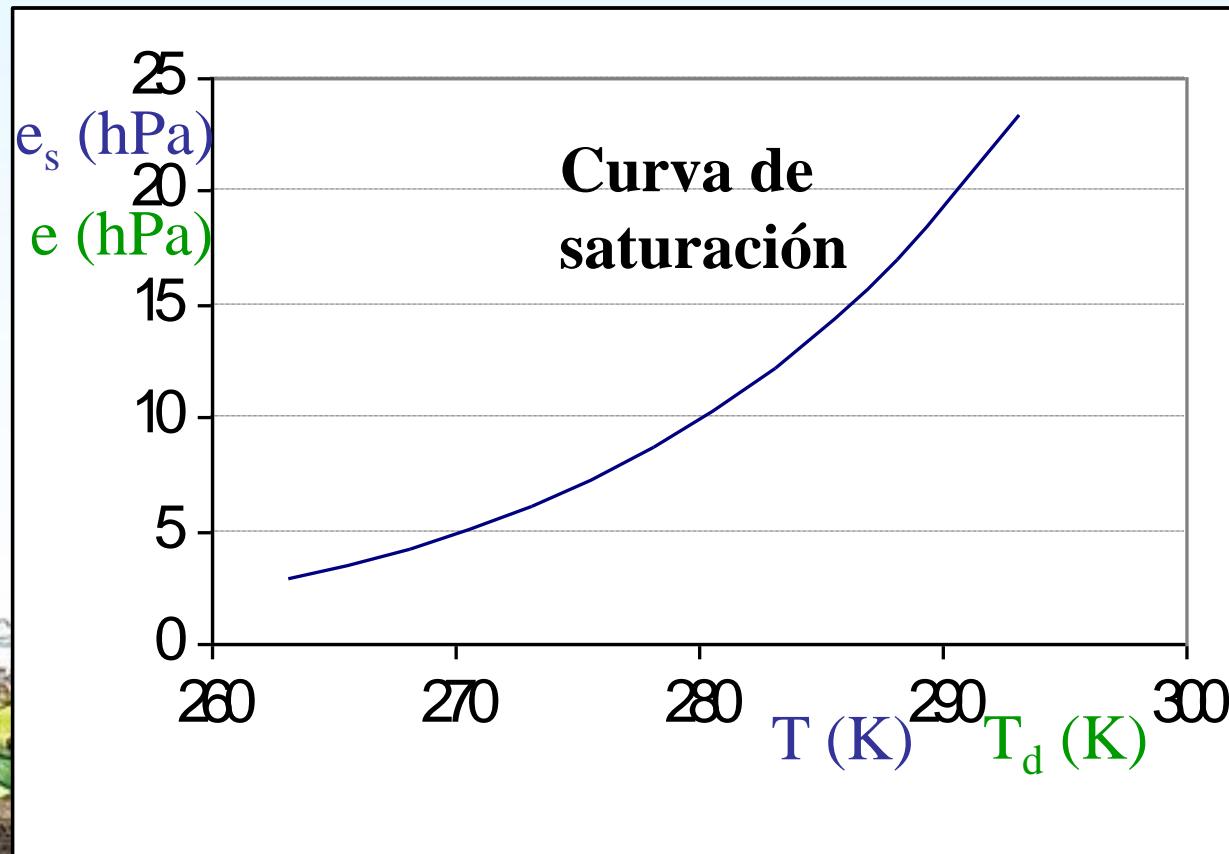
$$e_s = f(T)$$



# PUNTO DE ROCIO

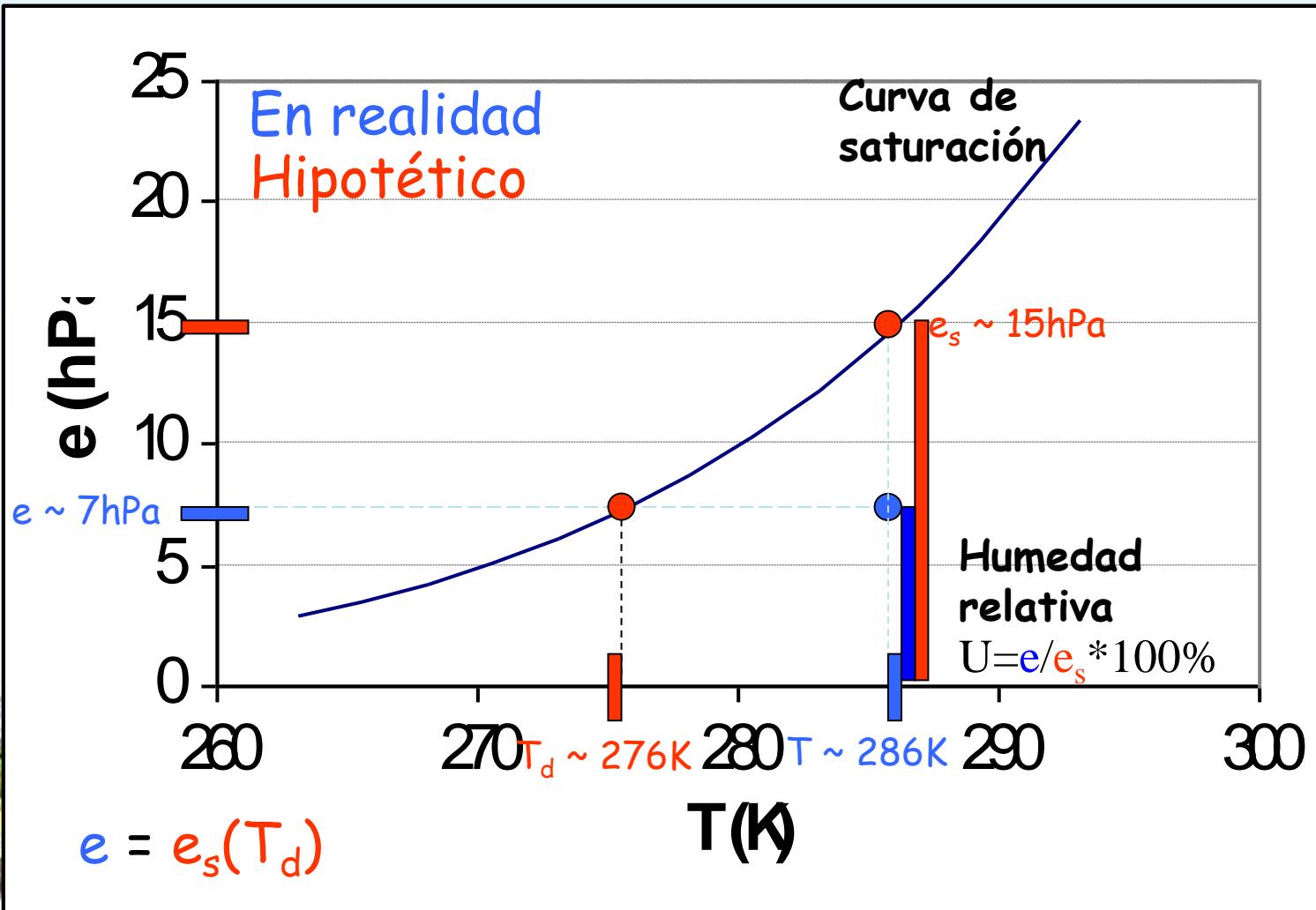
El aire alcanza esta **temperatura** cuando se enfria **isobáricamente** hasta alcanzar la **saturación sin intercambiar vapor** con el aire de alrededor.

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



# Saturación = Equilibrio

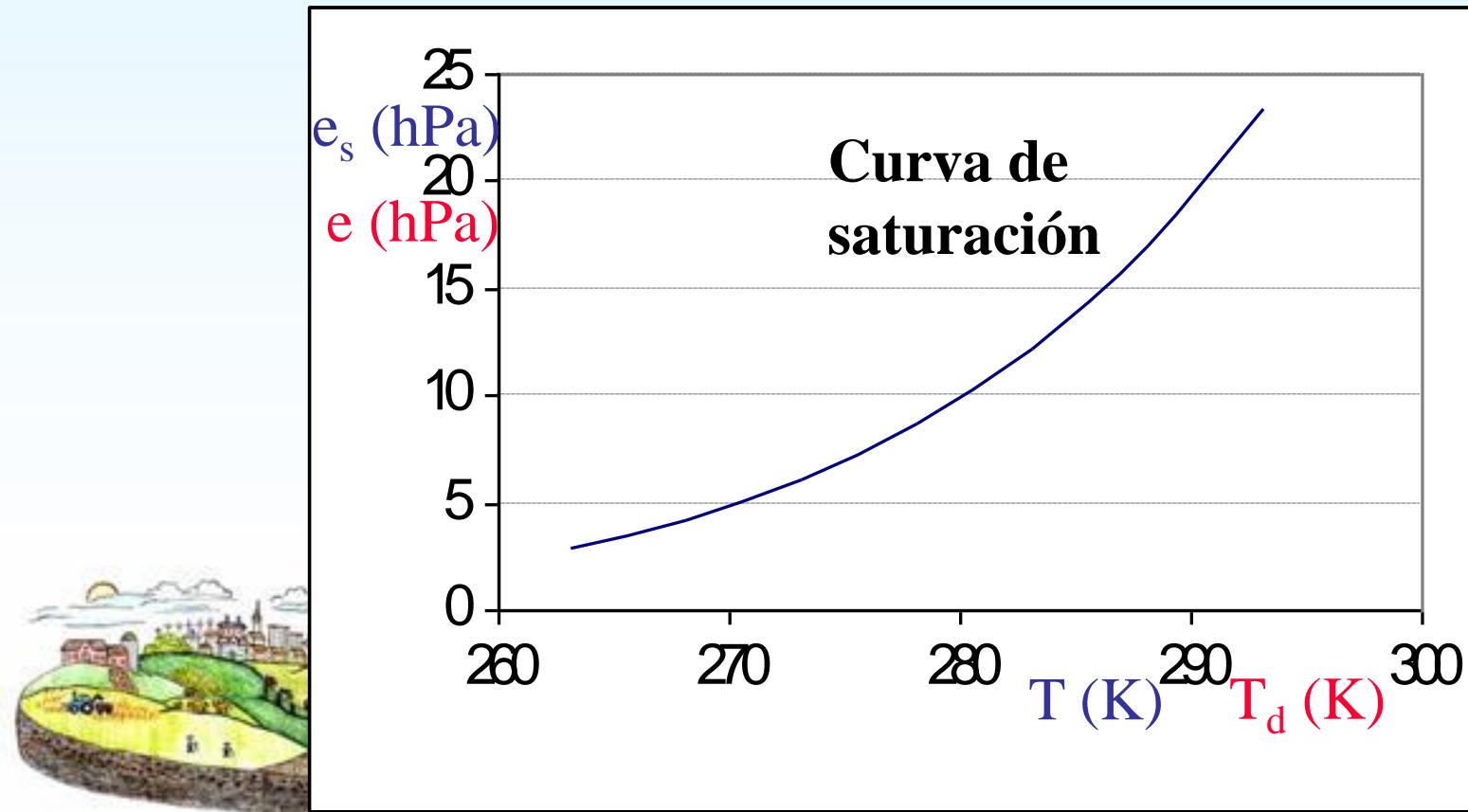
## Fuera de equilibrio



# 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!

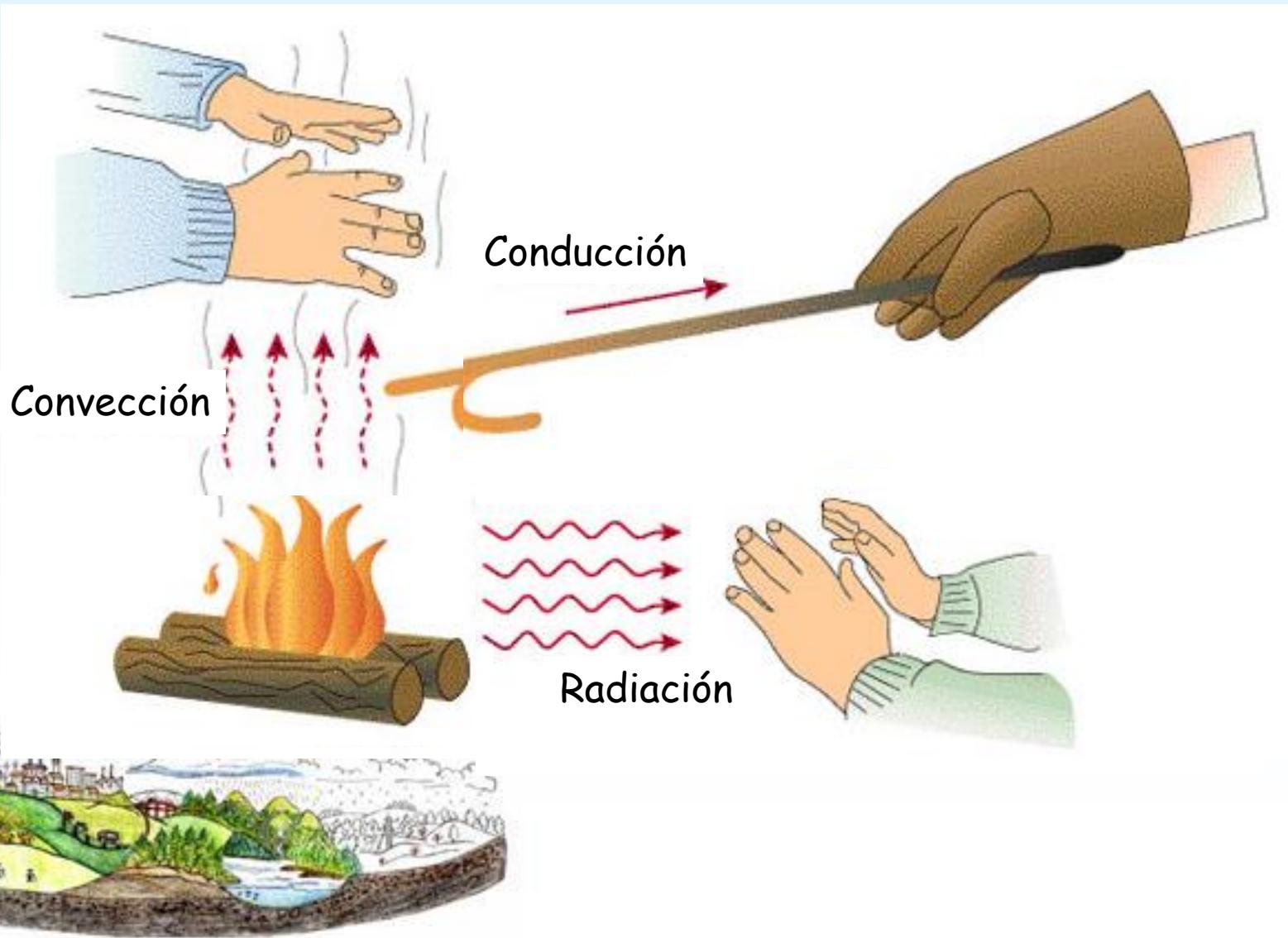


# Programa

- **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

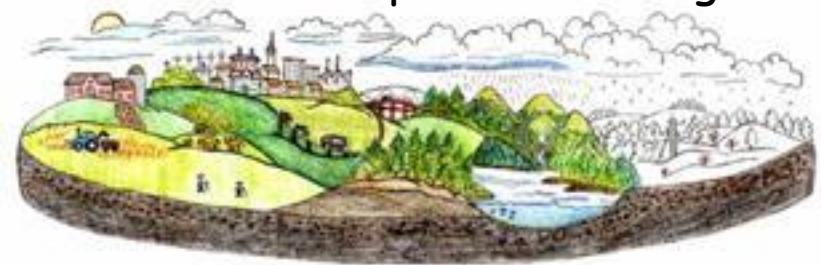
- Conducción Térmica
  - Transferencia por contacto directo
  - Porque usar una manopla de cocina
- Al nivel molecular
  - Definición cinética de la T (Lección VII)
    - Las vibraciones moleculares ----> la Temperatura
    - Transferencia de energía cinética de las moléculas
- Qué determina la conducción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



# Conducción Térmica por materiales

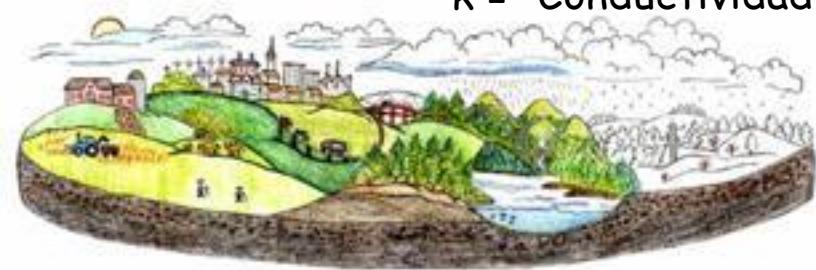
- Podemos sostener una banda de asbestos (amianto) en una llama indefinidamente
- Otros malos conductores (aislar tu casa)
  - Gases (distancias intramoleculares)
  - Madera, ladrillo, fibra de vidrio
- Buenos conductores (para un sartén)
  - Plata, Cobre, y Oro, Aluminio
- ¿Porqué?
  - Vibración de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

[http://www.marvel.com/universe/Asbestos\\_Man](http://www.marvel.com/universe/Asbestos_Man)



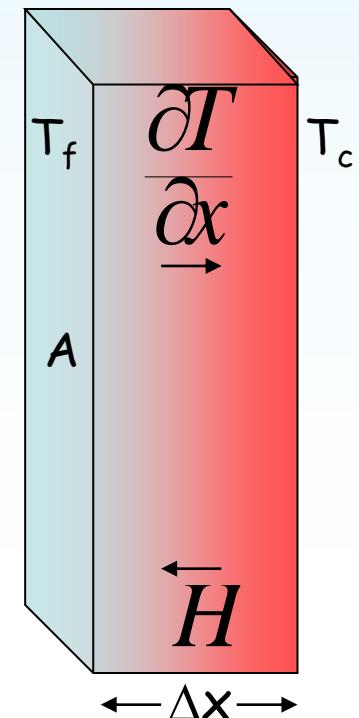
# Transferencia de Calor por Conducción

- La conducción requiere un gradiente de T
- Consideramos un bloque de materia con
  - Anchura  $\Delta x$ , y superficie transversal A
  - Temperaturas por cara
    - Cara fria:  $T_f$
    - Cara caliente:  $T_c$
- El flujo de calor,  $H = \frac{Q}{\Delta t}$  ( $\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$ )
  - Calor por unidad de tiempo, depende de
    - La diferencia de temperatura,  $T_c - T_f$
    - La superficie, A
    - La  $\Delta x$  anchura (inversamente)
    - La materia
      - $k$  = "Conductividad"



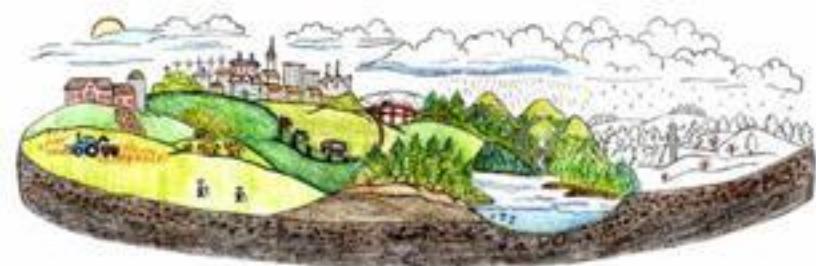
$$H = k A \frac{T_f - T_c}{\Delta x}$$

$$H = -k A \frac{\partial T}{\partial x}$$



# Conductividades de algunas materias

<b>Metales (25°C)</b>	<b>K (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)</b>	<b>No Metal</b>	<b>K (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)</b>	<b>Gases (20°C)</b>	<b>K (W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>)</b>
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		



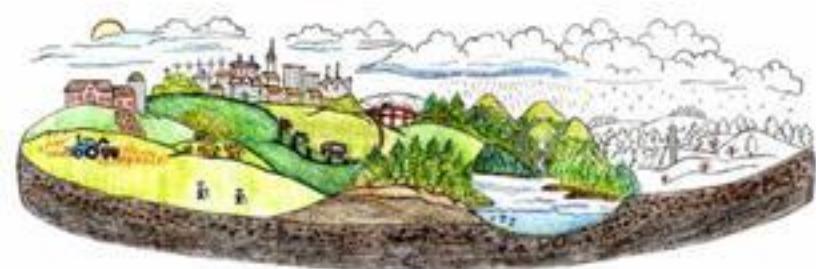
# Aislamiento en Construcción

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

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

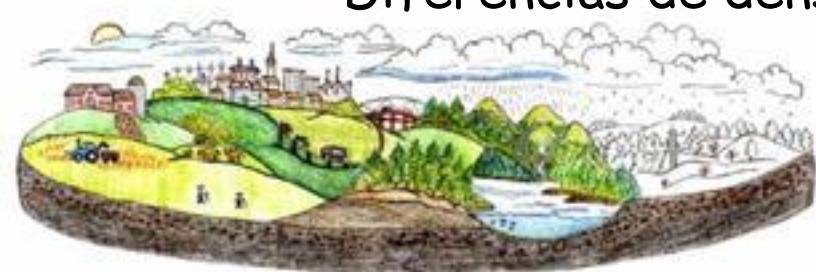
- La importancia del aislamiento
  - Tejado con mal aislamiento
  - Buhardilla bien aislada
- Coeficiente de un material compuesto

$$H = A \frac{T_f - T_c}{R} \quad R = \sum_i R_i$$
$$R_i = \frac{\Delta x_i}{k_i}$$



# 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)



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

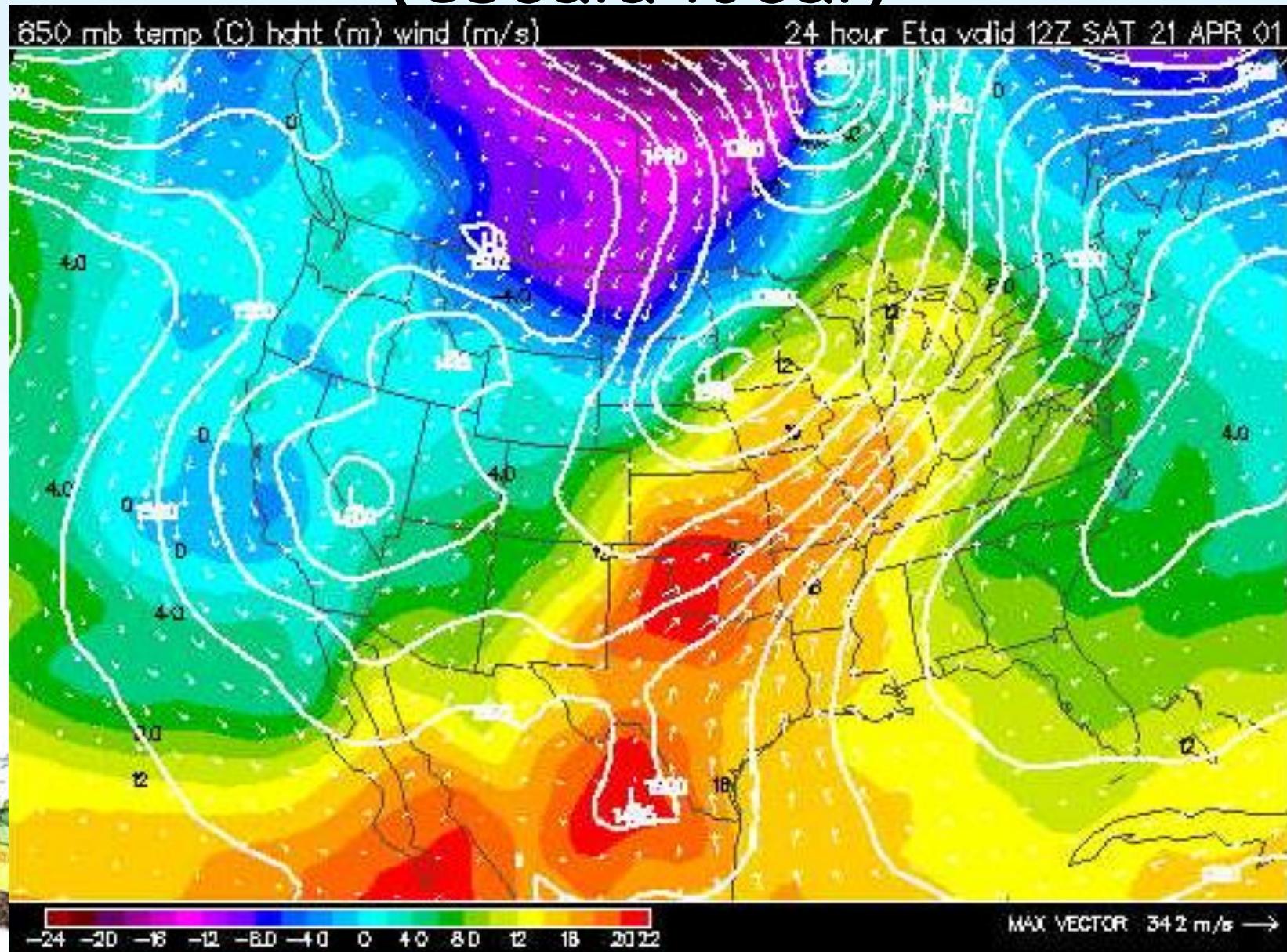
inconveniente

# 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 ( $\sigma$ )
  - La emisividad ( $\varepsilon$ ), 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  
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

# Intercambio de energía por radiación

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

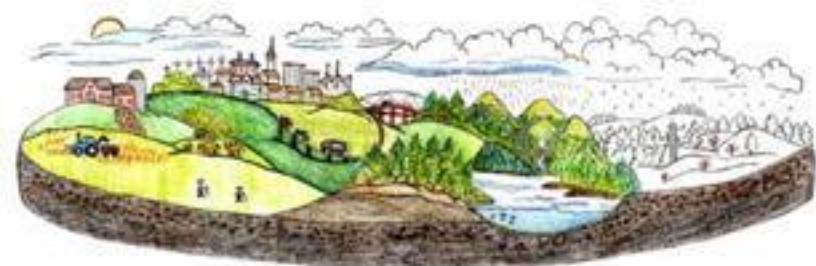
$$H_{neto} = \sigma A (T^4 - T_0^4)$$

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



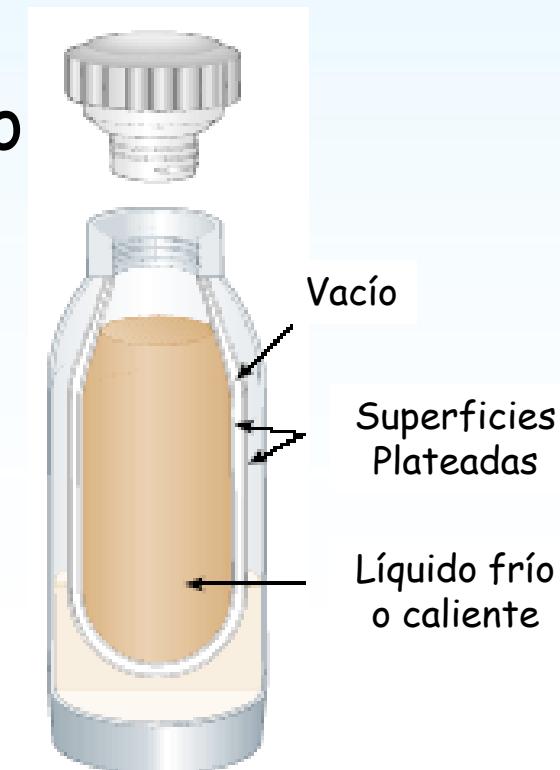
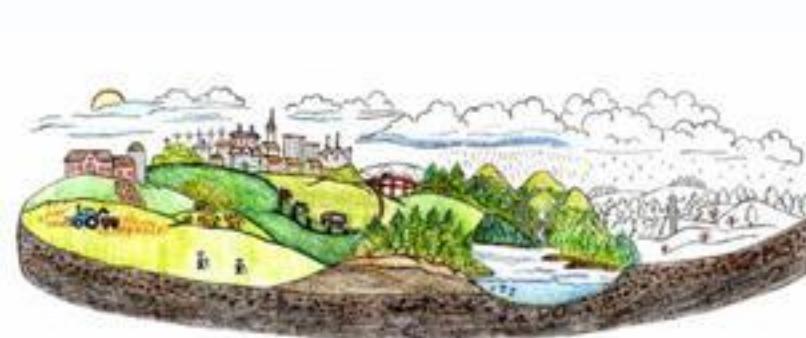
# Radiación de un Cuerpo Negro

- La ley de Stefan-Boltzman  $H = \sigma A T^4$   $(\text{kg m}^2 \text{s}^{-3})$   
 $\sigma = 5.67 \cdot 10^8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
- 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  $\text{CO}_2 / \text{H}_2\text{O}/\text{etc.}$  : como cuerpo negro más frío)



# El Vaso de Dewar

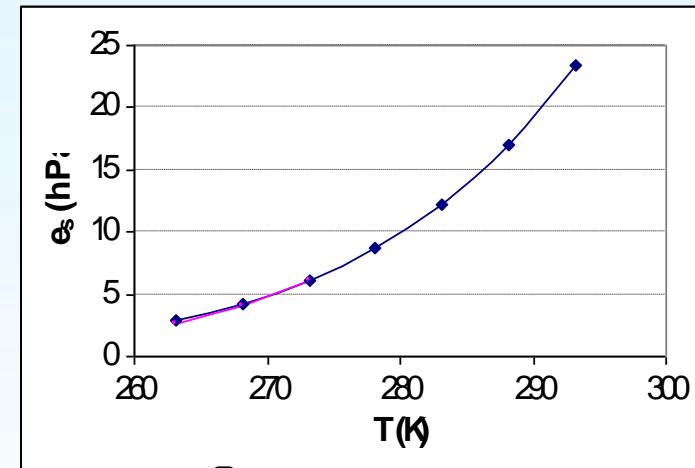
- Diseñado para minimizar los intercambios
  - **Conducción**
  - **Convección**
  - **Radiación**
- Como un termo (sofisticado), pero
  - **Vacio** entre las dos paredes
  - **Plateada** (plata tiene  $\varepsilon \rightarrow 0$ )



# Conceptos/Ecuaciones a Dominar

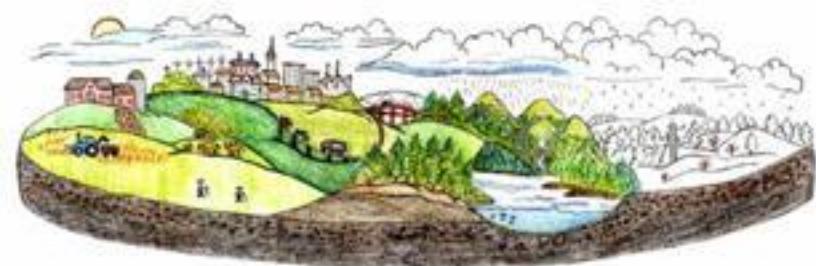
- Dilatación térmica
- Calor latente
- Diagramas de Fase
  - Punto triple
  - Punto crítico
- Humedad
  - Presión (saturante) de vapor de agua
  - Punto de rocío, humedad relativa
- Procesos de transferencia de energía
  - Conducción
  - Convección
  - Radiación

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



$$H = mc_p u \frac{dT}{dx} \quad H = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$H = \sigma A T^4$$



Fjord

