Universidad Nacional de Río Negro
Física III B – 2022

- **Unidad** 04 – Aplicaciones
- **Clase** U04 C01 - 23+24/29
- **Cont** a
- **Cátedra** Asorey
- **Web** https://campusbimodal.unrn.edu.ar/course/view.php?id=24220

RIO NEGRO

Contenidos: B5331 Física IIIB 2022
alias Termodinámica

Unidad 04: Aplicaciones
Del 07/Jun al 23/Jun (6 encuentros)

Transferencia de calor: radiación, conducción y convección. Ley de Newton. Conductores y aislantes del calor. Ley de Fourier. Aplicaciones hogareñas. Termodinámica de la vida. Energía y humanidad. Efecto invernadero. Cambio climático y calentamiento global.

Entrega guía 04: Jueves 23/Jun 23:59

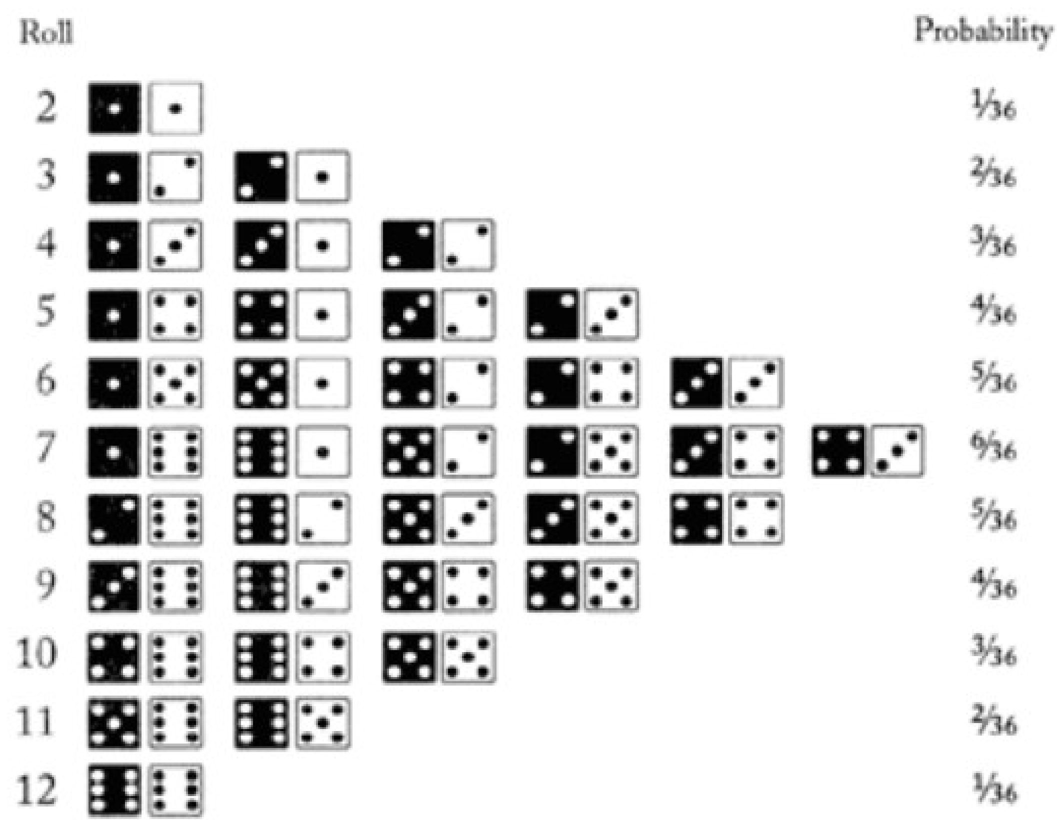
Interpretación microscópica: dos dados

- ¿cuál es la probabilidad de la suma de los dos dados sea un número determinado, P(n)?

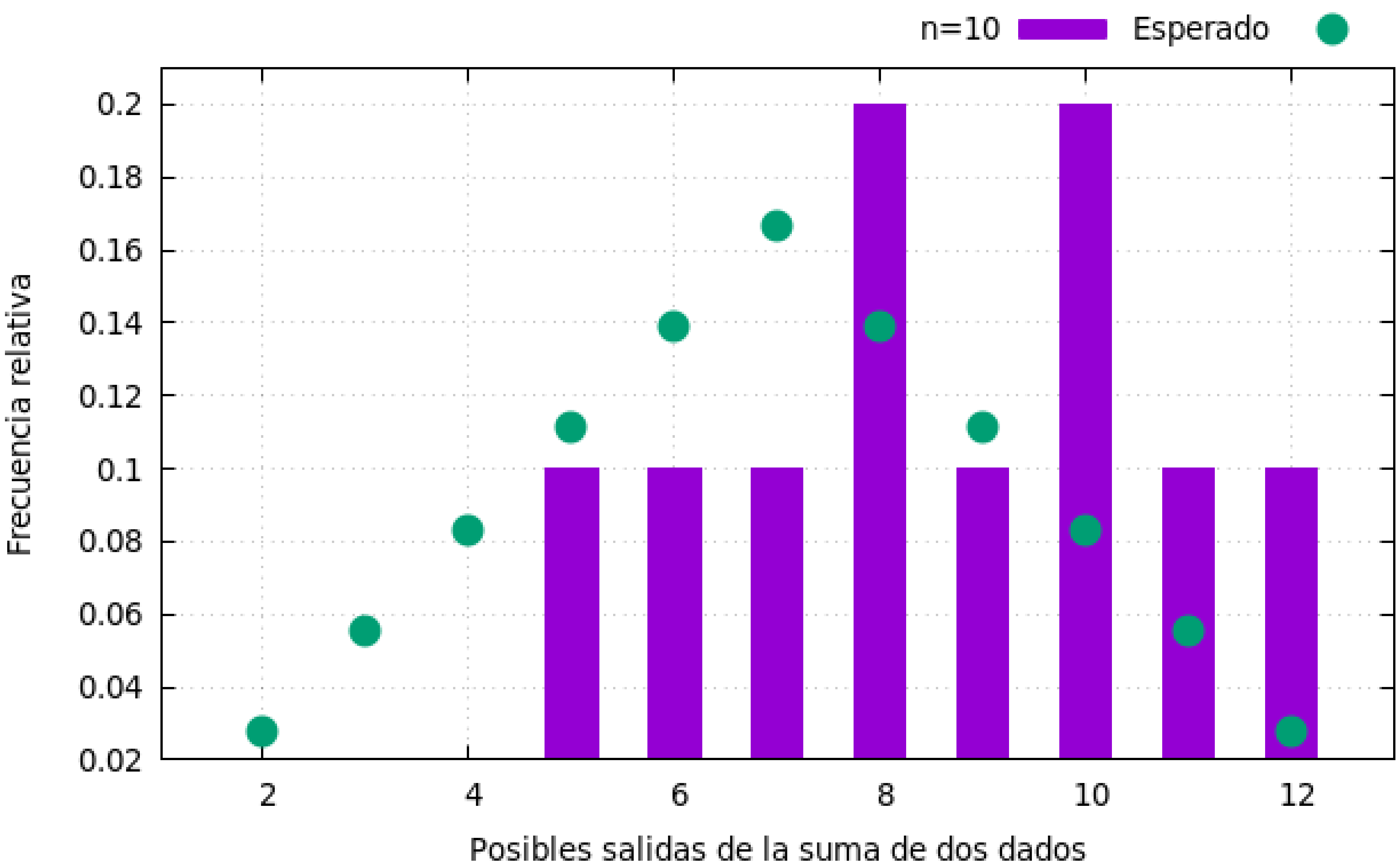
- n no puede valer cualquier cosa: $2 \leqslant n \leqslant 12$

$$P(n<2)=0 \qquad P(n>12)=0$$

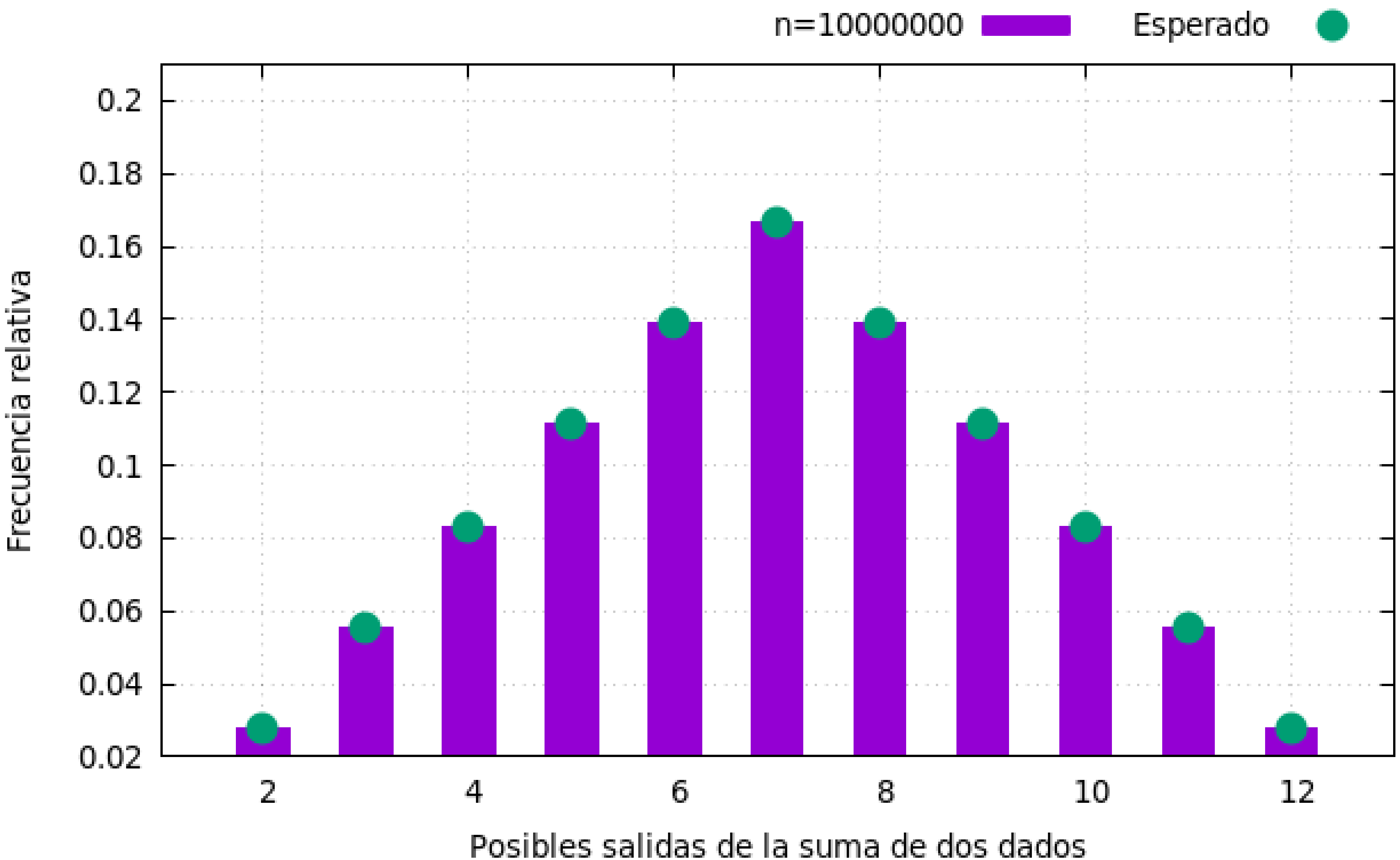
- Para el resto de los valores de n, la cosa es más compleja



Algunos experimentos aleatorios, $n=10^1$



Algunos experimentos aleatorios, $n=10^7$



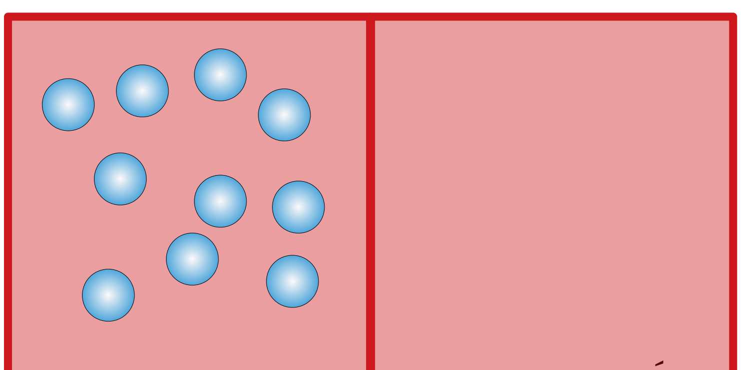
Si arrojo dos dados...

- **Macroestados:** configuración del sistema (n)
- **Microestados:** distintas configuraciones de los constituyentes del sistema que llevan a un macroestado. P. ej: n=3 → (1,2) ó (2,1)
- **Multiplicidad:** cantidad de microestados que conducen al mismo macroestados final (p. ej, n=3 → Ω_3=2)
- El sistema "dos dados" puede existir en alguno de esos 11 posibles valores (2→12) **macroestados**, y en ningún otro
- Cada **macroestado** puede alcanzarse mediante distintos **microestados**
- Cuando mayor sea la **multiplicidad Ω**, es más probable que el sistema se encuentre en ese macroestado.
- ¿macroestado más probable? → 7
  ¿macroestado menos probable? → 2 ó 12

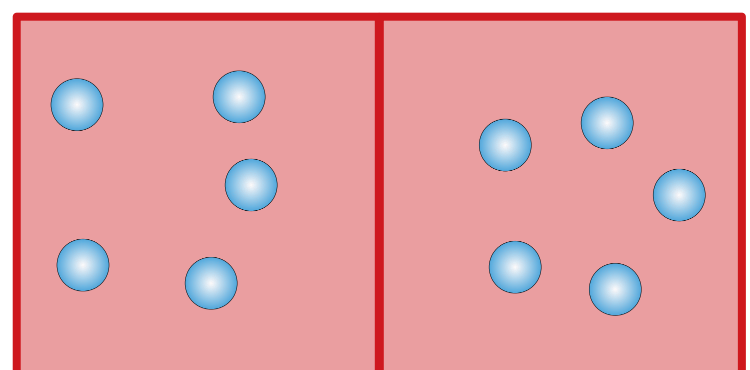
Ponemos más

- Para 10 moléculas, $n=2^{10}=1024$.
  - Todas de un lado: la probabilidad es 1/1024
  - 5 y 5: $\Omega=252$. La probabilidad de este estado es $252/1024 \sim 25\%$
- Para 100, $n=2^{100} \sim 1{,}3 \times 10^{30}$. Todas de un lado, $P=1/2^{100} \sim 0$
- Imaginen para el número de Avogadro

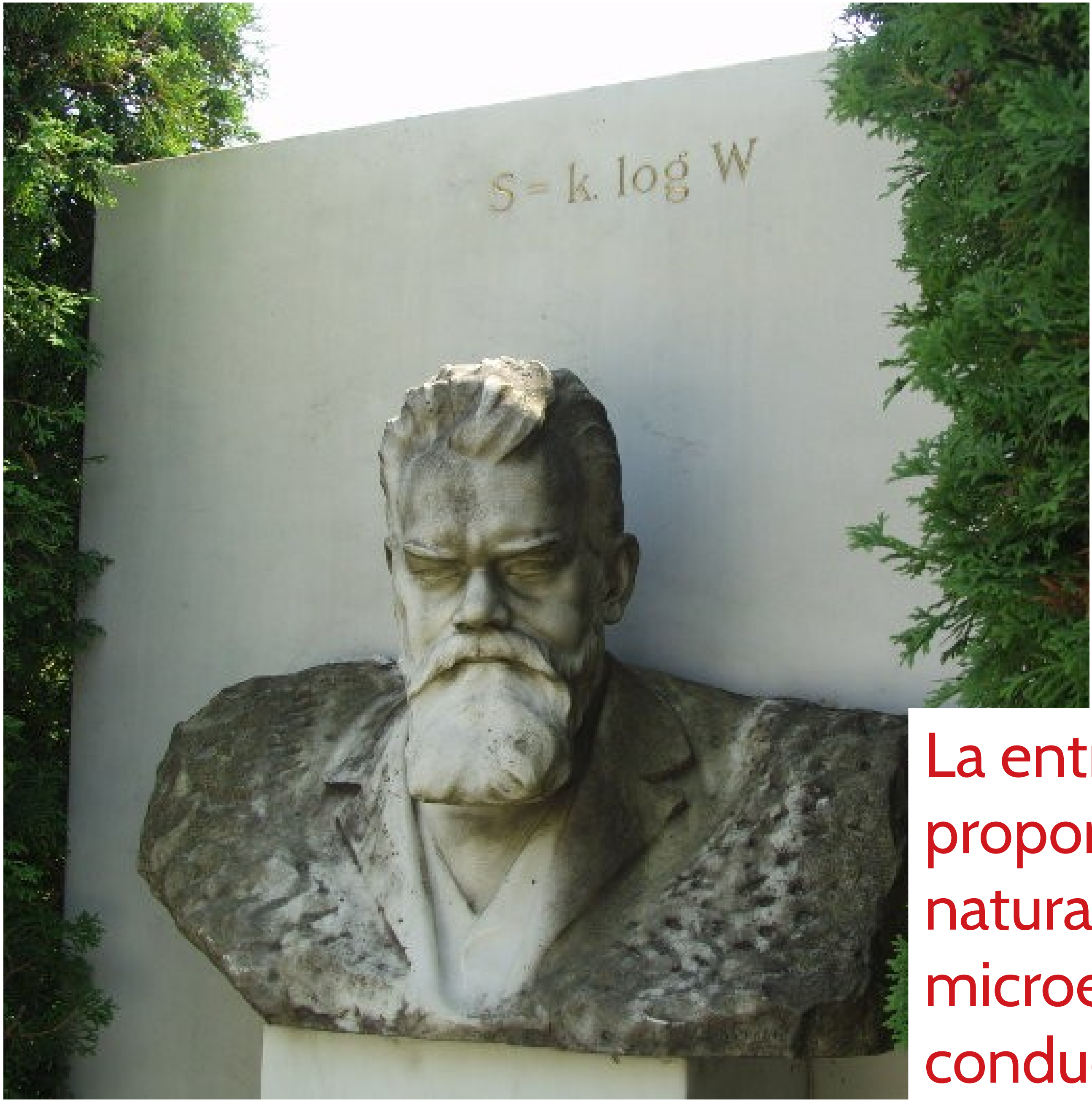
P=1/1024



P=252/1024



Ludwig Boltzmann propone que la entropía es



$$S = k_B \ln \Omega$$

La entropía de un sistema es proporcional al logaritmo natural del número de microestados posibles que conducen a ese macroestado

Entropía y desorden

- Describir el macroestado del sistema a partir de los microestados implica describir estos de manera individual,y **son iguales y equiprobables** **aleatoriedad**
- A mayor multiplicidad, **más cantidad de información es necesaria** para describir al macroestado ← **desorden**
- **mayor multiplicidad** **mayor entropía**
- Coloquialmente, se dice por esto que la entropía es una medida del desorden o de la aleatoriedad del sistema

Móviles perpetuos

- **Primera especie**

  Obtienen trabajo mecánico sin consumo de energía externa → **Violan el primer principio**

- **Segunda especie**

  Convierten todo el calor en trabajo mecánico sin pérdidas de ningún tipo → **Violan el segundo principio**

- ***Tercera especie***

  Logran eliminar completamente todas las irreversibilidades del sistema obteniendo una máquina reversible

De la U01: Principio Cero de la Termodinámica

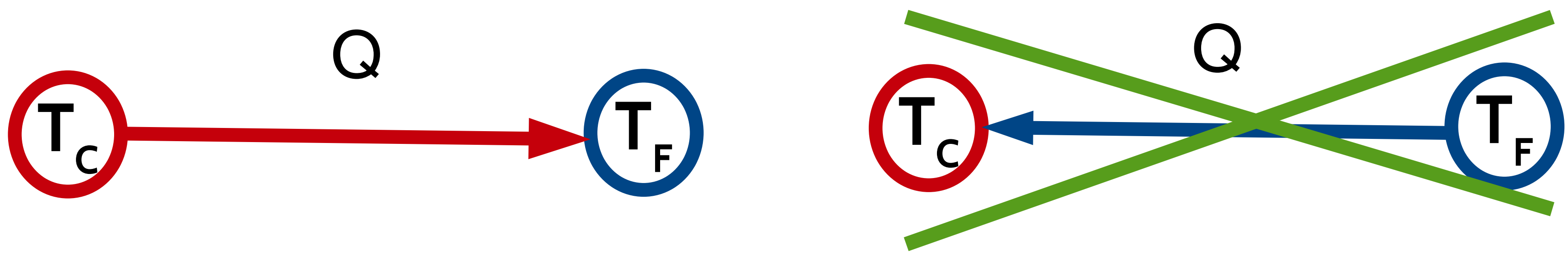
- **Principio** → es una **regla** que cuyo cumplimiento **se verifica experimentalmente** y que **aún** no ha podido **refutarse,** pero tampoco probarse
- **Principio cero:**

> **Si dos objetos están en equilibrio térmico con un tercer objeto, entonces los tres están en equilibrio térmico entre sí.**

- Esta definición → **escala de temperaturas**

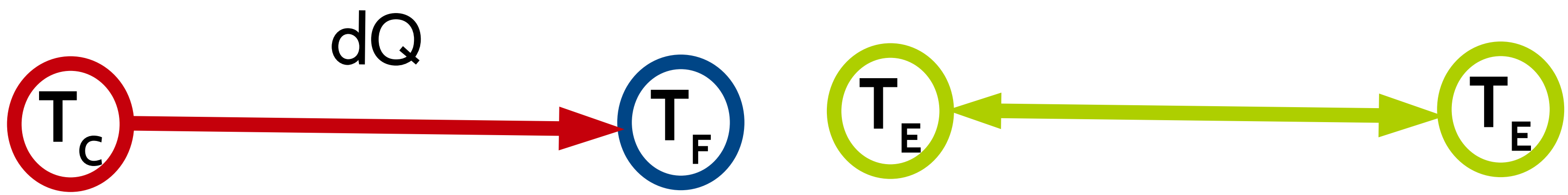
- **Enunciado de Clausius**
  No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente.

- Expresa un hecho empírico, y va por la negativa: nos dice lo que no es posible hacer



- **Establece un sentido para el flujo espontáneo de calor de los focos calientes a los focos fríos y no al reves**

Observaciones empíricas



- El cuerpo caliente (emisor) entrega calor y se enfría. El cuerpo frío (receptor), recibe calor y se calienta

$$T_C \equiv T_c(t), \frac{dT_c}{dt} < 0 \qquad T_f \equiv T_f(t), \frac{dT_f}{dt} > 0$$

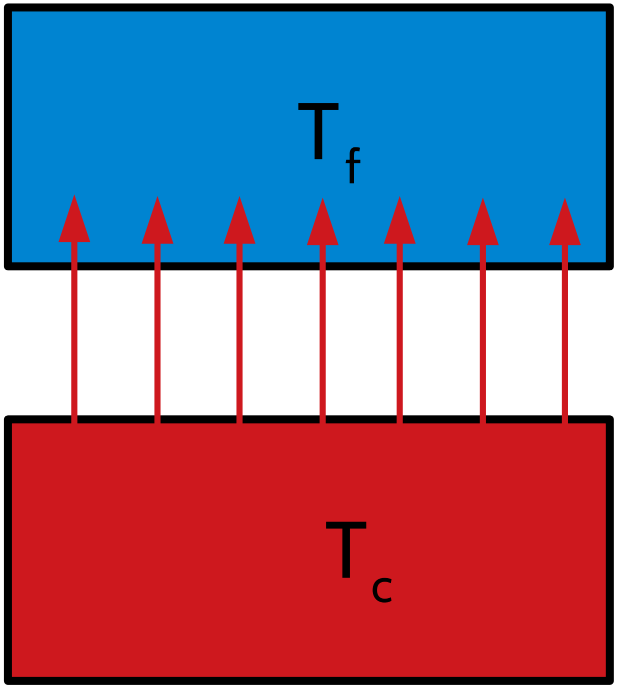
- Mientras exista diferencia de temperatura entre objetos vecinos, la transferencia de calor no puede detenerse.

$$\text{Sí} \quad \Delta T(t) \stackrel{\text{def}}{=} T_c(t) - T_f(t) > 0 \rightarrow dQ > 0$$

- La velocidad de transferencia tiende a cero a medida que las temperaturas de ambos cuerpos se igualan:

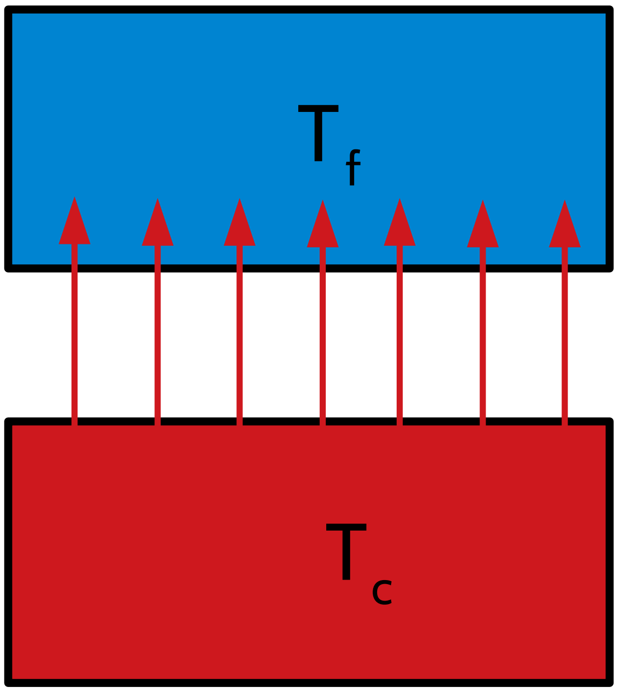
$$\lim_{\Delta T(t) \to 0} \frac{dQ}{dt} = 0$$

Ley de enfriamiento



- Imaginemos una región caliente y una fría
- ¿Qué variables determinan el flujo de calor? $\frac{dQ}{dt}$
  - ¿Área de contacto?
  - ¿Diferencia de temperatura?
  - ¿Materiales?

Ley de enfriamiento



$$\frac{dQ}{dt} \propto A\left(T_c - T_f\right)$$

$$\frac{dQ}{dt} = -hA\left(T_c - T_f\right)$$

- Imaginemos una región caliente y una fría
- ¿Qué variables determinan el flujo de calor? $\frac{dQ}{dt}$
  - ¿Área de contacto? A
  - ¿Diferencia de temperatura?
  - ¿Materiales?
  - h es el coeficiente de transferencia de calor: [h] = W / (m² K)

El signo – aparece porque miramos el enfriamiento!

Ley de enfriamiento

El flujo de calor de la fuente caliente a la fría.

$$\frac{dQ}{dt} = -hA\left(T_c - T_f\right)$$

Ese calor enfría la fuente caliente:

$$dQ = m C_v \, dT \longrightarrow \frac{dQ}{dt} = m C_v \frac{dT}{dt}$$

Luego la tasa de enfriamiento será:

$$m C_v \frac{dT}{dt} = -hA\left(T_c - T_f\right) \Rightarrow \frac{dT}{dt} = -\overbrace{\left(\frac{hA}{mC}\right)}^{r}\left(T_c - T_f\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{dT}{dt} = -r\left(T_c - T_f\right)}$$

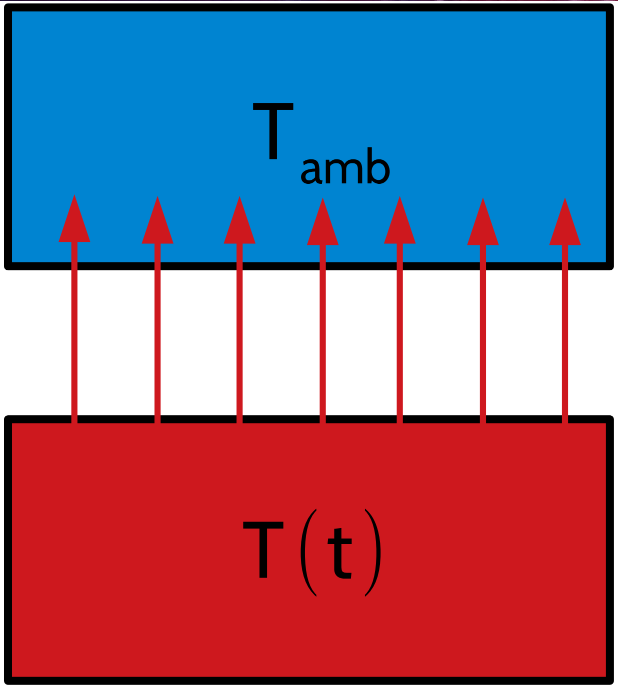
donde T_f es usualmente el ambiente y T_c es la fuente ⇒.

r depende del sistema → $\frac{1}{r}$ = tiempo característico

$T_f = cte \equiv T_{amb}$

$T_c = T_c(t) \equiv T \Rightarrow \boxed{\frac{dT}{dt} = -r\left(T - T_{amb}\right)}$

Ley de enfriamiento de Newton



$$\frac{dT(t)}{dt} = -r\left(T(t) - T_{amb}\right) = -r\,\Delta T(t)$$

$$r = \left(\frac{hA}{mC_V}\right) > 0 \qquad \tau \stackrel{def}{=} r^{-1} = \left(\frac{mC_V}{hA}\right)$$

$$[r] = s^{-1} \qquad [\tau] = s$$

τ es un tiempo característico

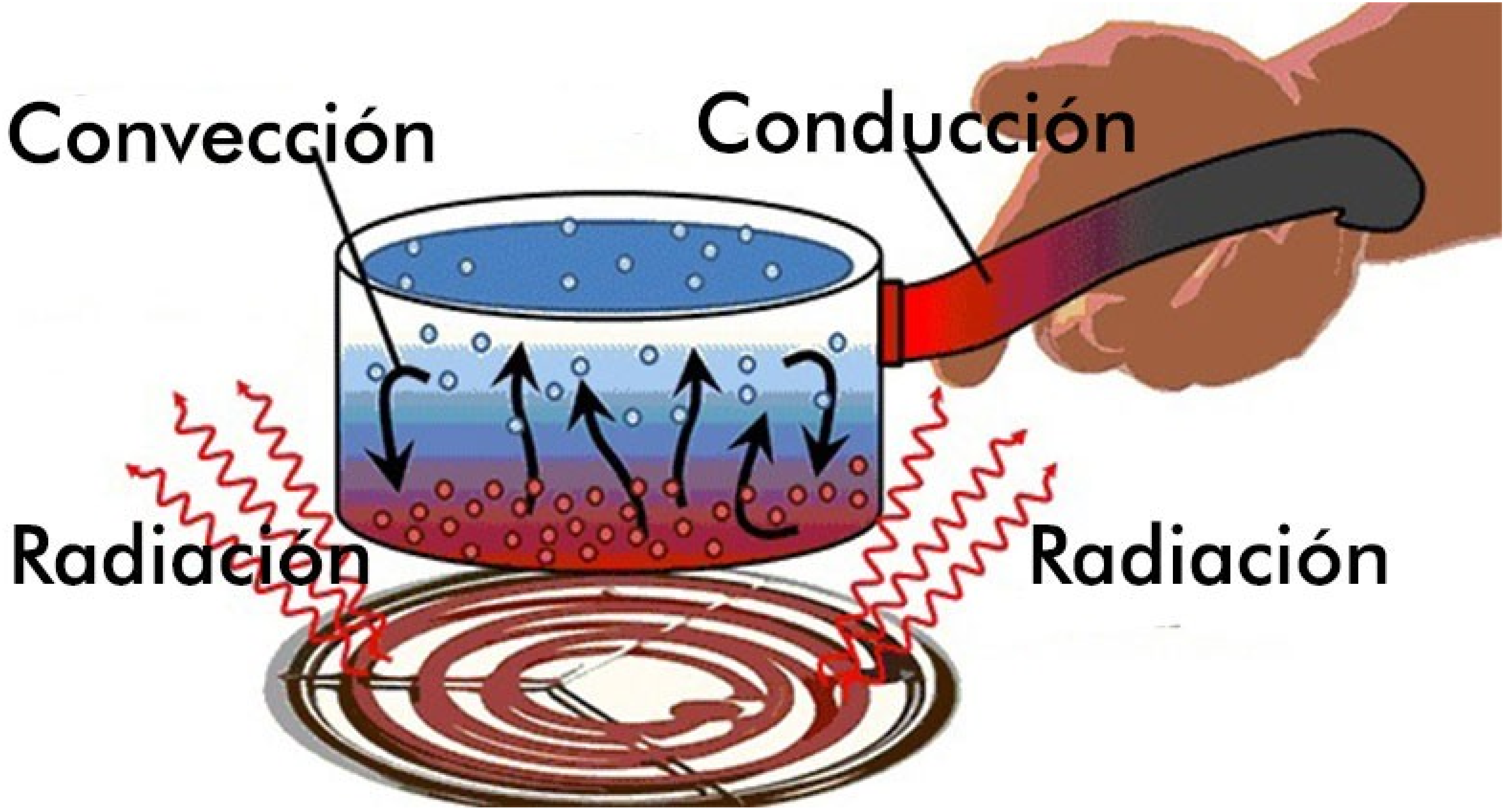
(depende del sistema)

$$\frac{dT(t)}{dt} = -r\,\Delta T(t)$$

$$\boxed{\Delta T(t) = \Delta T(0)\, e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

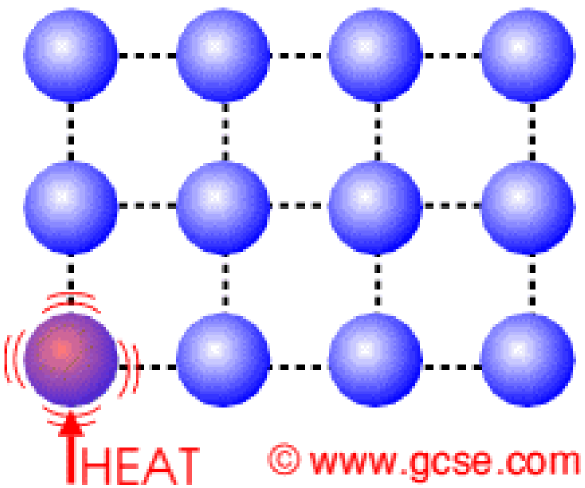
$$\boxed{T(t) = T_{amb} + \left(T(0) - T_{amb}\right) e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

Conducción, convección y radiación

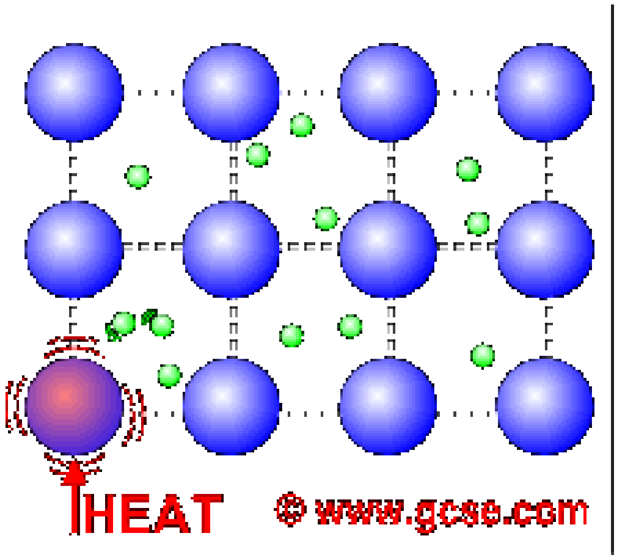


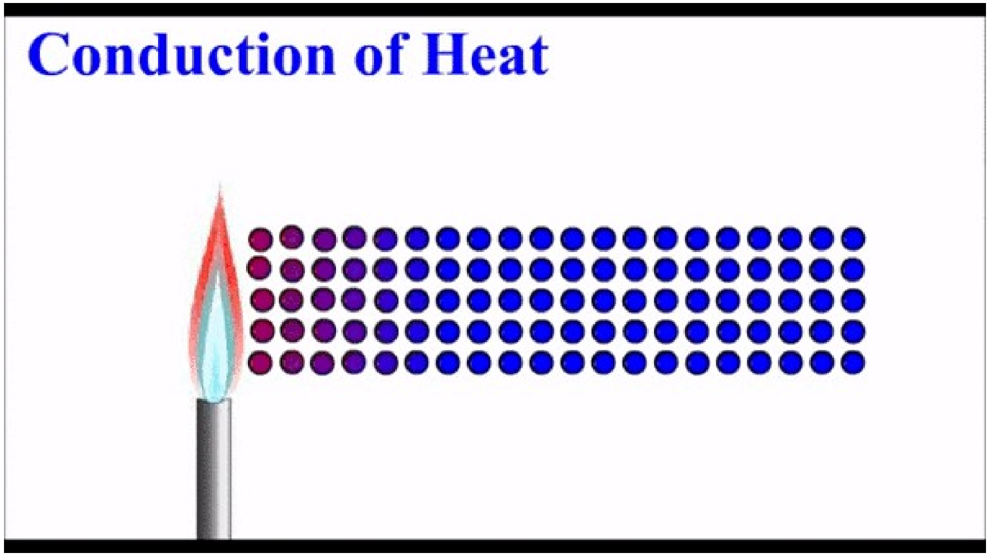
Conducción

Aislante



Conductor



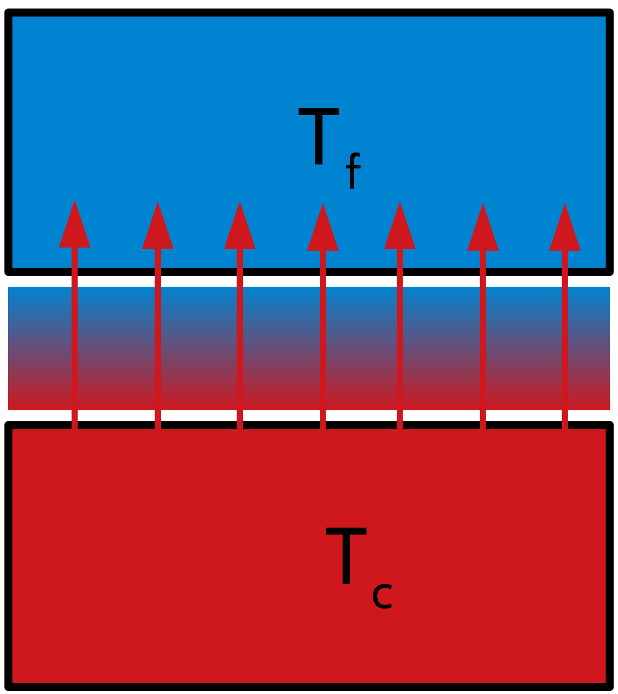


Conducción de calor

En gases

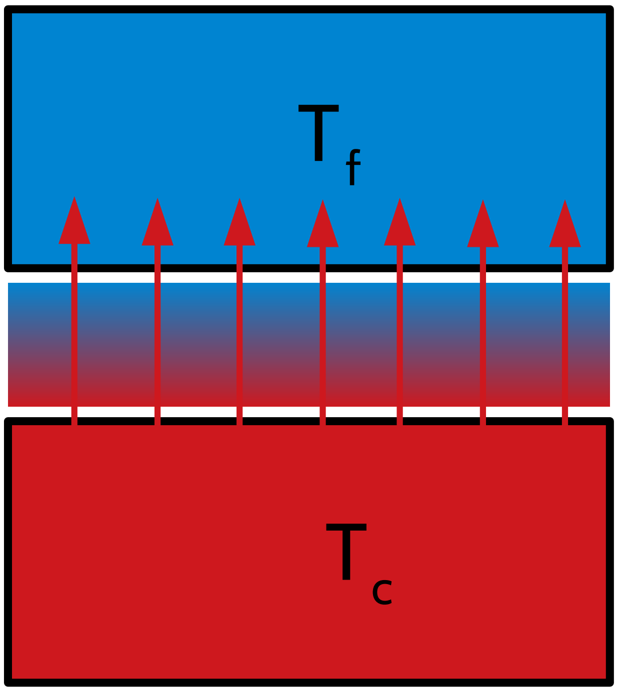
- La distancia entre las moléculas o átomos es mayor que en otros medios →
  - menor tasa de colisiones → menor conducción.
- Aumenta con la temperatura.
- Aumenta con la presión, hasta un punto crítico:
  - Cuando la densidad del gas es muy alta las moléculas están inhibidas de transferir calor.
  - Más allá de ese punto la conductividad aumenta sólo ligeramente al aumentar la presión y la densidad.

Conductividad térmica



- Imaginemos una región caliente y una fría, separadas por una región de transición
- ¿Qué variables determinan el flujo de calor?
  - ¿Área de contacto? A
  - ¿Diferencia de temperatura? (T_c - T_f)
  - ¿Materiales? (k)
  - ¿Espesor de la transición? (d)

Conductividad térmica



$$\frac{dQ}{dt} \propto \frac{A}{d}\left(T_c - T_f\right)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \kappa \frac{A}{d}\left(T_c - T_f\right)$$

- Imaginemos una región caliente y una fría…

  …separadas por una región de transición
- ¿Qué variables determinan el flujo de calor?
  - ¿Área de contacto? A
  - ¿Diferencia de temperatura? (T_c - T_f)
  - ¿Materiales? (κ)
  - ¿Espesor de la región de transición? (d)

Ley de Fourier

- El flujo de calor por conducción entre una región caliente (T_c) y una fría (T_f) está dado por:

$$I_Q \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dQ}{dt} = \kappa \frac{A}{d}\left(T_c - T_f\right) \rightarrow I_Q = \kappa \frac{A}{d}\left(T_c - T_f\right)$$

- **κ es el coeficiente de conductividad térmica**

$$[\kappa] = \frac{J\,m}{m^2\,s\,K} = \frac{W}{m\,K}$$

- **cantidad de calor transferida por unidad de área, unidad de tiempo por un material de espesor unitario cuando la diferencia de temperatura entre sus caras es de 1 K.**

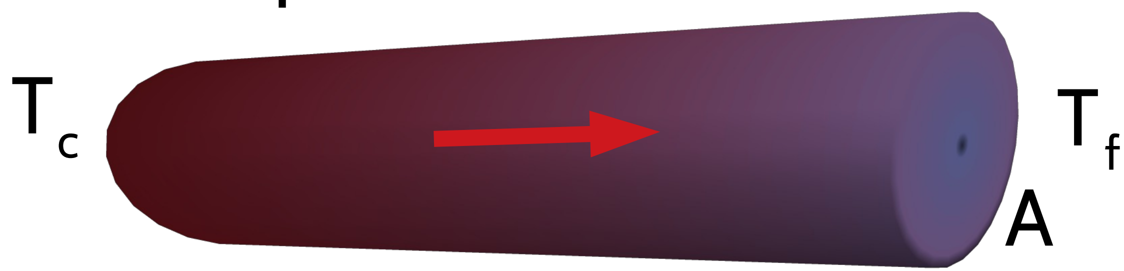
κ → sólo depende del material

k>10 → conductores, k<1 → aislantes

Material	k	Material	k	Material	k
Acero	47-58	**Corcho**	0,03-0,04	**Mercurio**	83,7
Agua	0,58	**Estaño**	64,0	**Mica**	0,35
Aire	0,02	**Lana de vidrio**	0,03-0,07	**Níquel**	52,3
Alcohol	0,16	**Glicerina**	0,29	**Oro**	308,2
Alpaca	29,1	**Hierro**	80,2	**Parafina**	0,21
Aluminio	209,3	**Ladrillo**	0,80	**Plata**	406,1-418,7
Amianto	0,04	**Ladrillo refractario**	0,47-1,05	**Plomo**	35,0
Bronce	116-186	**Latón**	81-116	**Vidrio**	0,6-1,0
Zinc	106-140	**Litio**	301,2	**Cobre**	372,1-385,2
Madera	0,13	**Tierra húmeda**	0,8	**Diamante**	2300

Aplicación: resistencia térmica

- Barra de longitud L, sección A y de conductividad k, aislada en su superficie salvo en los extremos



- El flujo de calor está dado por la Ley de Fourier

$$I_Q \overset{def}{=} \frac{dQ}{dt} = \underbrace{\left(\kappa \frac{A}{L}\right)}_{\overset{def}{=} R^{-1}} \Delta T \rightarrow I_Q = \Delta T \frac{1}{R}$$

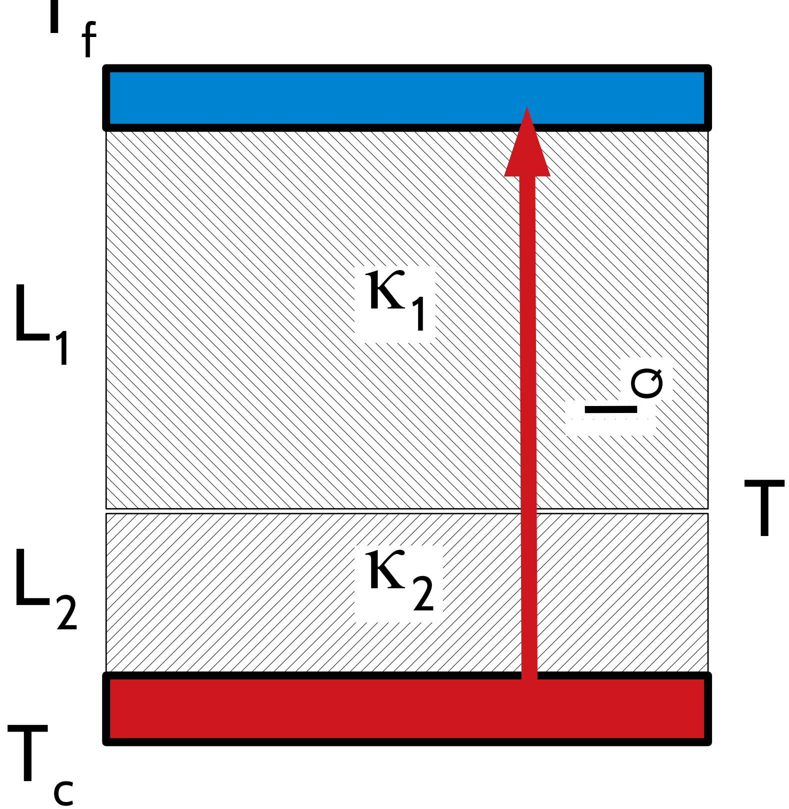
$$\boxed{\Delta T = I_Q R}$$

Ley de Ohm

$$V = iR$$

Aplicación: aislación en paredes

- Pared de área A compuesta por dos placas de espesores L_1 y L_2 y materiales k_1 y k_2., a temperaturas T_c y T_f.



- Las T_c y T_f se mantienen constantes (fuentes de calor)
- ¿Cuál es la temperatura T en la región de transición una vez se alcanzó el estado estacionario?

Resistencia en serie

$$I_{q_1} = \underbrace{\frac{k_1}{L_1} A}_{R^{-1}} \left(T - T_f\right) \qquad I_{q_2} = \frac{k_2}{L_2} A \left(T_c - T\right)$$

En el estacionario: $I_{Q_1} = I_{Q_2} \Rightarrow \frac{k_1}{L_1}\cancel{A}\left(T-T_f\right) = \frac{k_2}{L_2}\cancel{A}\left(T_c - T\right)$

$$\Rightarrow \frac{k_1}{L_1}T - \frac{k_1}{L_1}T_f = \frac{k_2}{L_2}T_c - \frac{k_2}{L_2}T \Rightarrow \left(\frac{k_1}{L_1}+\frac{k_2}{L_2}\right)T = \frac{k_2}{L_2}T_c + \frac{k_1}{L_1}T_f$$

$$\Rightarrow \left(\frac{k_1L_2 + k_2L_1}{\cancel{L_1L_2}}\right)T = \frac{k_2L_1T_c + k_1L_2T_f}{\cancel{L_1L_2}} \Rightarrow \boxed{T = \frac{k_2L_1T_c + k_1L_2T_f}{k_1L_2+k_2L_1}}$$

Otra forma:

$$I_{q_1} = \frac{T-T_f}{R_1} \text{ y } I_{Q_2} = \frac{T_c - T}{R_2} \Rightarrow \frac{T-T_f}{R_1} = \frac{T_c-T}{R_2} \Rightarrow TR_2 - T_fR_2 = T_cR_1 - TR_1$$

$$\Rightarrow T(R_1+R_2) = T_cR_1 + T_fR_2 \Rightarrow \boxed{T = \frac{T_cR_1+T_fR_2}{R_1+R_2}}$$

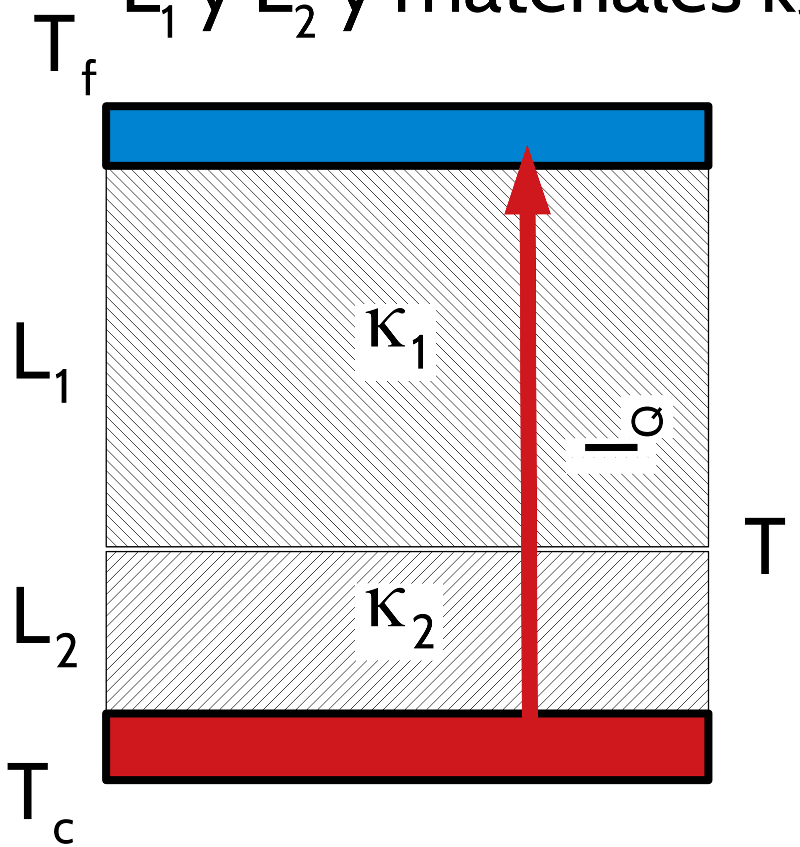
$$\text{y } I_{Q_1} = \frac{1}{R_1}\left[\frac{T_cR_1+T_fR_2}{R_1+R_2} - T_f\right] = \frac{1}{R_1}\left[\frac{T_cR_1 + \cancel{T_fR_2} - T_fR_1 - \cancel{T_fR_2}}{R_1+R_2}\right] = \frac{1}{\cancel{R_1}}\frac{(T_c-T_f)\cancel{R_1}}{R_1+R_2}$$

$$\Rightarrow \boxed{I_{Q_1} = (T_c - T_f)/R_1+R_2} \qquad \Rightarrow \boxed{R_{eq} = R_1+R_2}$$

U04-C03-2

Aplicación: aislación en paredes

- Pared de área A compuesta por dos placas de espesores L_1 y L_2 y materiales k_1 y k_2., a temperaturas T_c y T_f.



$$R_i = \frac{L_i}{\kappa_i A} \rightarrow T = \frac{T_c R_1 + T_f R_2}{R_1 + R_2}$$

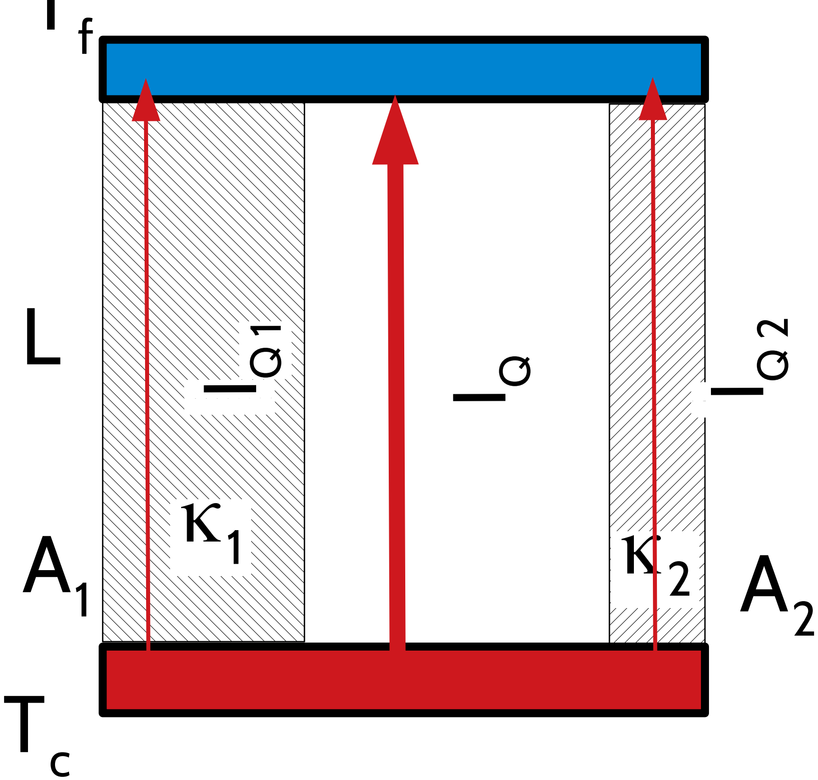
$$I_Q = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2} \rightarrow \Delta T = I_Q R_{eq}$$

Resistencias térmicas en serie

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^{N} R_i$$

Aplicación: conductos de calor

- Conector térmico entre T_c y T_f compuesto por dos barras de longitud L, áreas A_1 y A_2 y materiales k_1 y k_2



$$R_i = \frac{L_i}{\kappa_i A}, \quad I_{Qi} = \frac{\Delta T}{R_i}, \quad I_Q = \sum_{i=1}^{N} I_{Qi}$$

Resistencias térmicas en paralelo

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}$$