

# Universidad Nacional de Río Negro

## Física III B – 2018

- **Unidad** 02
- **Clase** U02 C03 - 09
- **Fecha** 19 Abr 2018
- **Cont** Ciclos
- **Cátedra** Asorey
- **Web** [github.com/asoreyh/unrn-f3b](https://github.com/asoreyh/unrn-f3b)
- **YouTube** <https://goo.gl/nNhGCZ>



# Contenidos: Termodinámica, alias F3B, alias F4A

Unidad 1

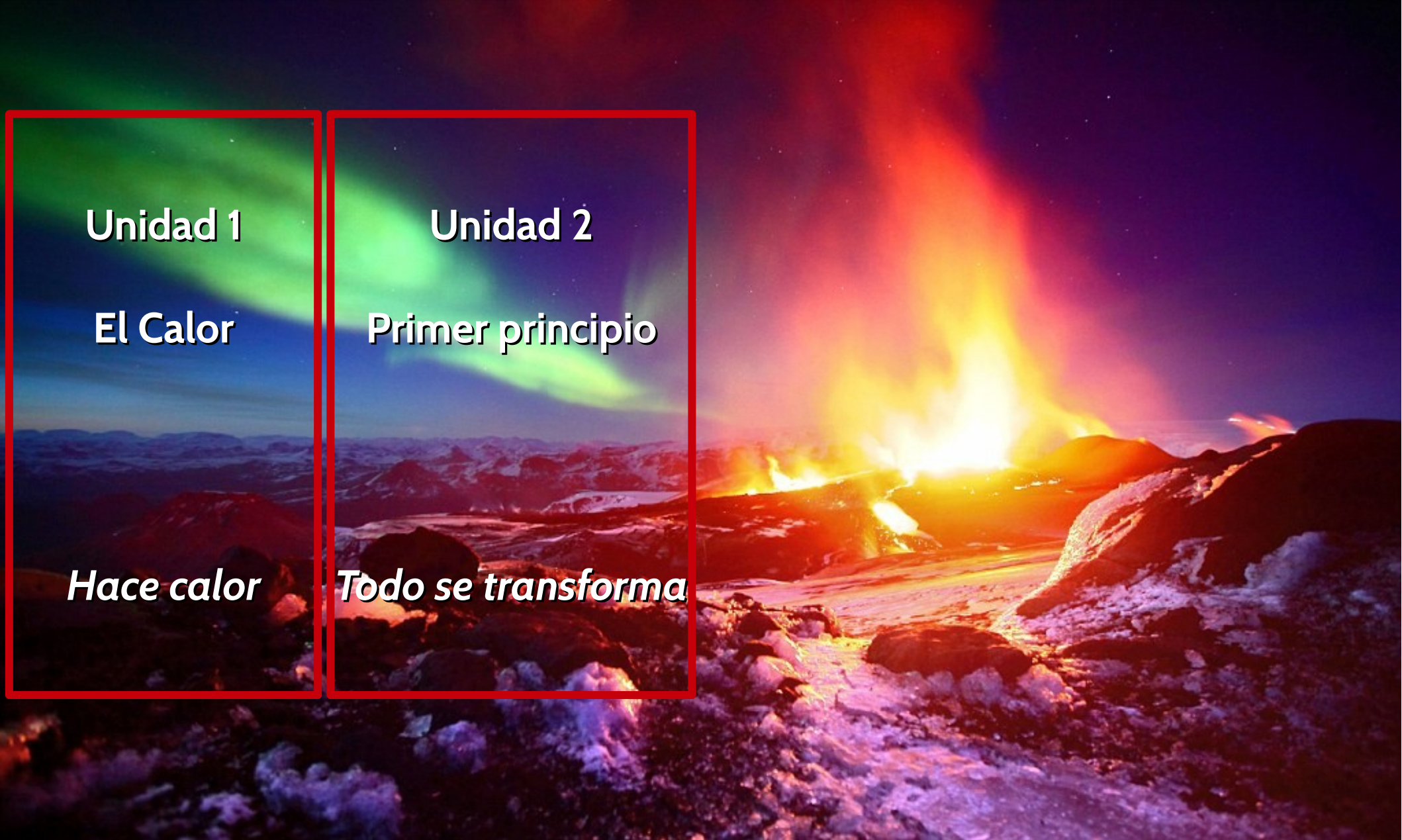
El Calor

*Hace calor*

Unidad 2

Primer principio

*Todo se transforma*





# Módulo 1 - Unidad 2: primer principio

## Del 05/Abr al 26/Abr (7 encuentros)

- **Calor y trabajo. Equivalente mecánico del calor.** Experimento de Joule. Sistemas. **Fuentes de calor.** **Primer principio. Flujo de calor.** Muerte térmica. Máquinas térmicas.





- ¿Por qué se usa  $U$  para la energía interna?
  - En el Siglo XIX se usaba en general la letra  $V$  como símbolos para las energías potenciales (típicamente por la relación entre la energía potencial electrostática y el Voltaje)
  - Rankine introduce en 1853 el concepto de Energía Interna (W. J. Rankine, *On the general law of the transformation of energy*, Proc. of the Philosophical Society of Glasgow, vol. 3, no. 5, pages 276-280, Feb 1853)
  - Usó la letra  $U$  para esta forma de energía
    - **Error tipográfico:** la  $U$  y la  $V$  eran intercambiables en latín
    - **Pragmatismo:** Para diferenciar del volumen  $V$

# Paréntesis acuoso

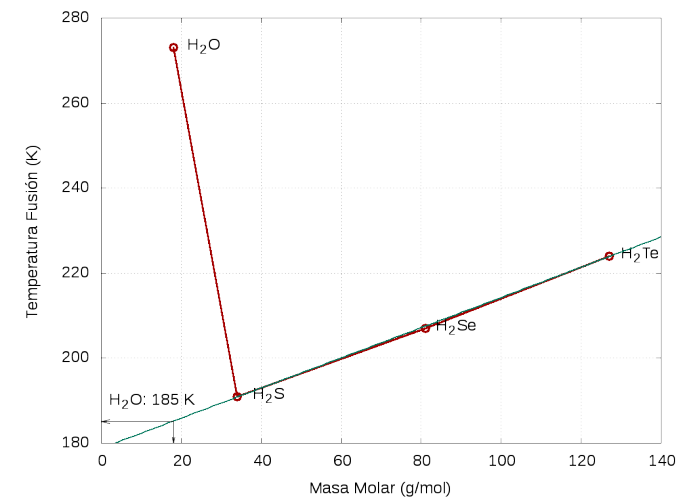
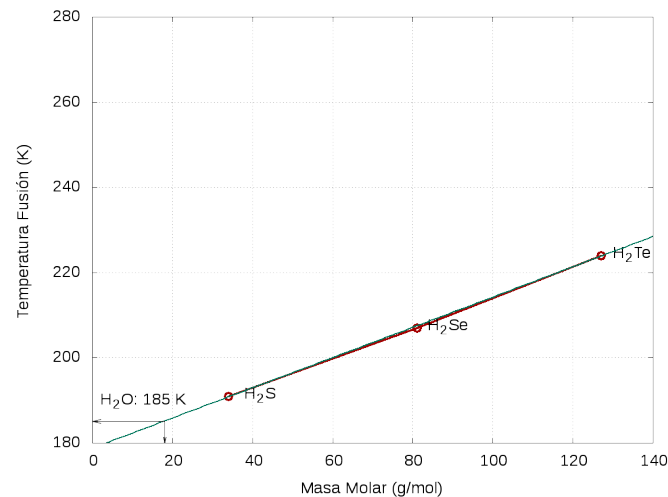
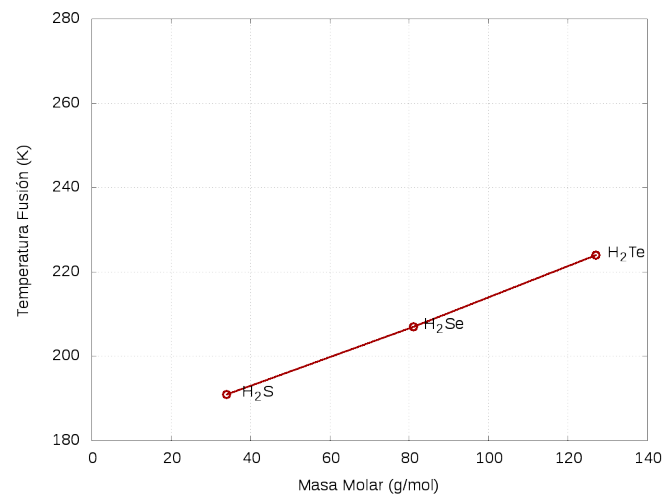
$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \theta = 104,45^\circ \rightarrow M=18 \text{ g/mol} \rightarrow T_f=273 \text{ K}$

$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \theta = 92,1^\circ \rightarrow M=34 \text{ g/mol} \rightarrow T_f=191 \text{ K}$

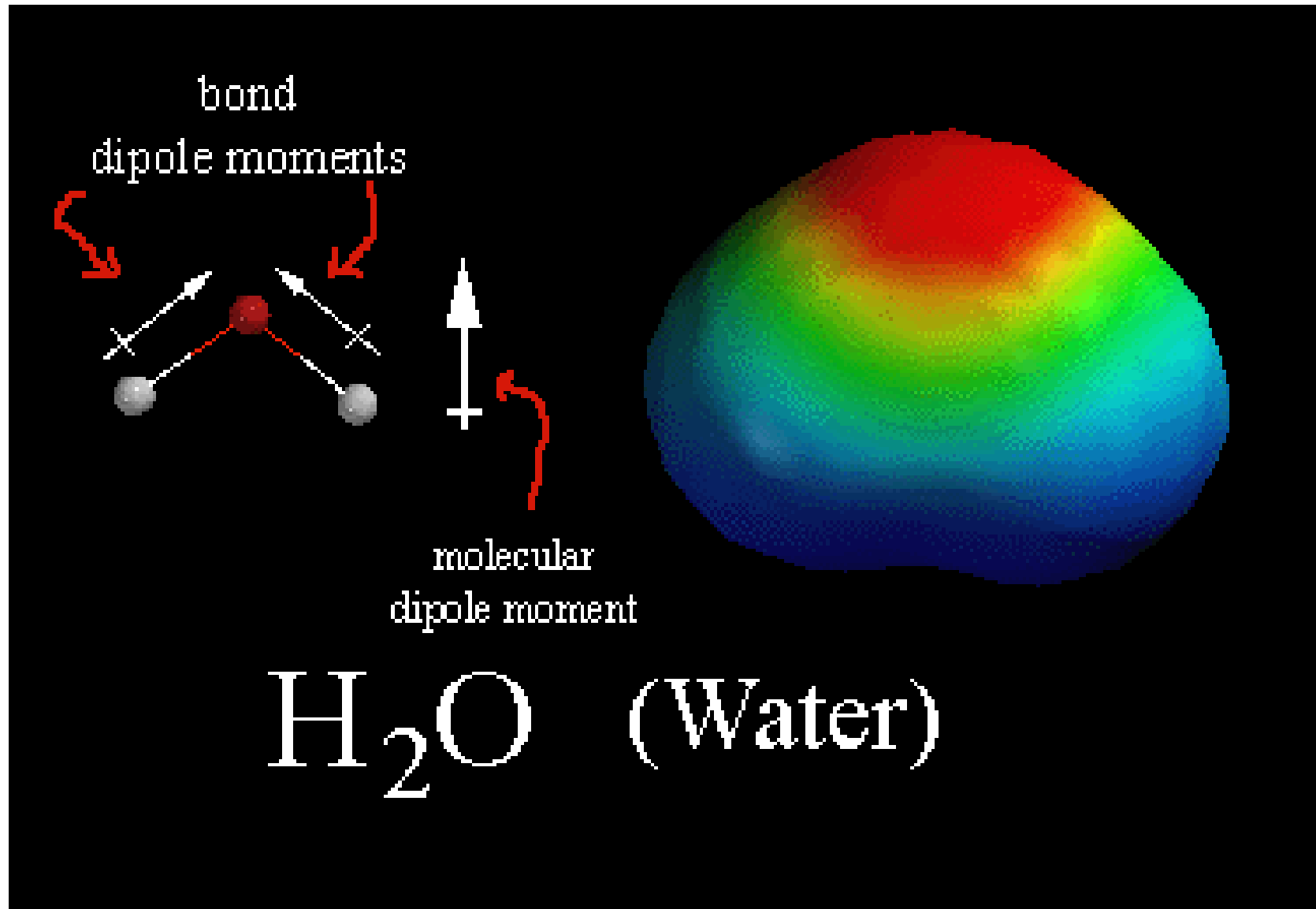
$\text{H}_2\text{Se} \rightarrow \theta = 91^\circ \rightarrow M=81 \text{ g/mol} \rightarrow T_f=207 \text{ K}$

$\text{H}_2\text{Te} \rightarrow \theta = 90^\circ \rightarrow M=127 \text{ g/mol} \rightarrow T_f=224 \text{ K}$

$$T \sim E_k \sim mv^2$$



# Momento dipolar de la molécula de agua





# Trabajo en el pizarrón

- Trabajamos con ejercicio de calor latente Guía 02

- **Isobara:**

- $W = p \Delta V$
- $\Delta U = (z/2) n R \Delta T$
- $Q = \Delta U + W$

- **Isoterma:**

- $W = n R T \ln (V_f / V_i)$
- $\Delta U = 0$
- $Q = \Delta U + W \rightarrow Q = W$

$$Q = \Delta U + W$$

- **Isocora:**

- $W = 0$
- $Q = C_v n \Delta T$
- $Q = \Delta U$

- **Adiabática**

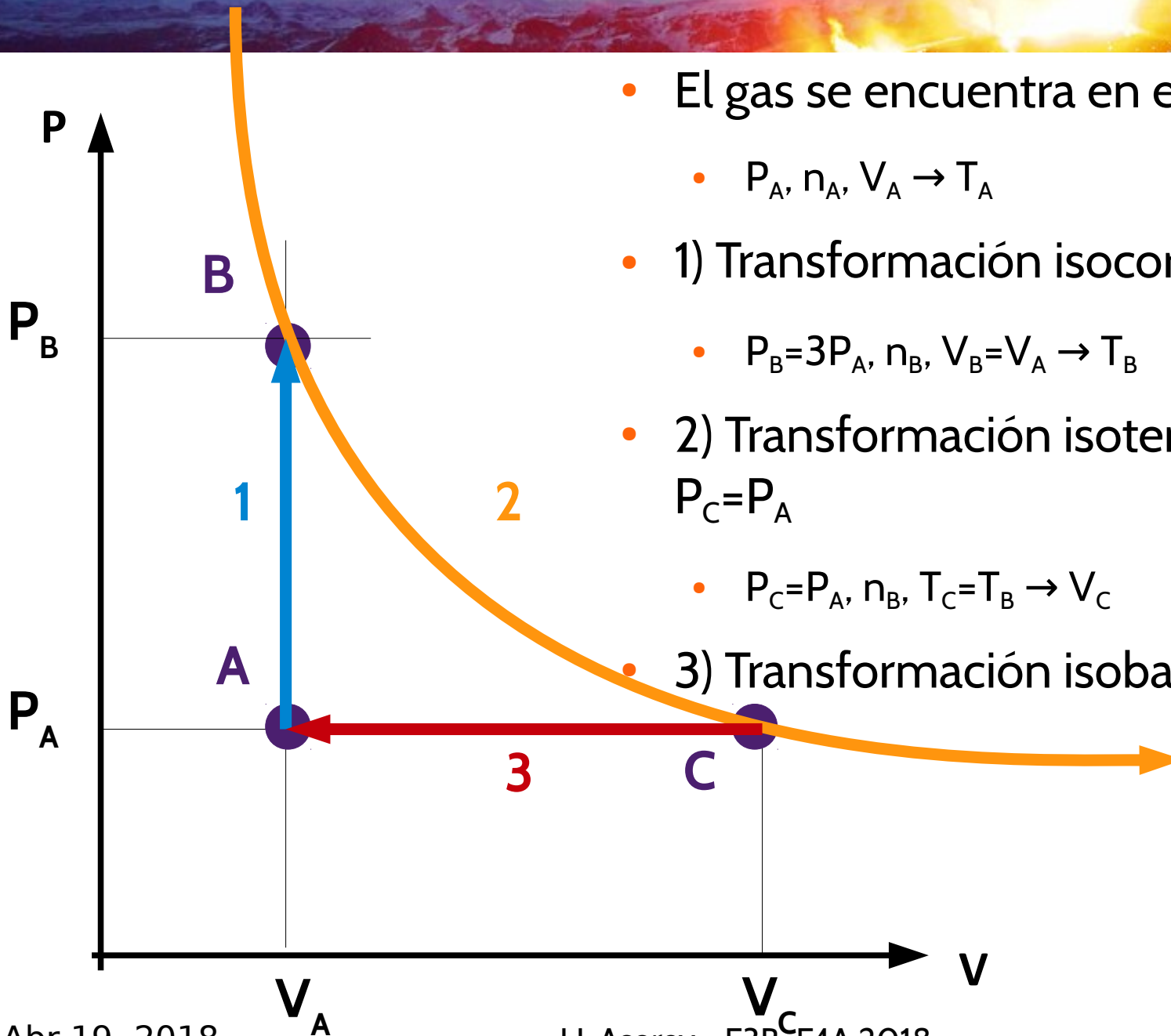
- $W = -\Delta U$
- $\Delta U = (z/2) n R \Delta T$
- $Q = 0 \rightarrow W = -\Delta U$

$$PV = n R T$$



# Sucesión de transformaciones

- El gas se encuentra en estado A
  - $P_A, n_A, V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isocora hasta B,  $P_B = 3 P_A$ 
  - $P_B = 3P_A, n_B, V_B = V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isoterma hasta C,  $P_C = P_A$ 
  - $P_C = P_A, n_B, T_C = T_B \rightarrow V_C$
- 3) Transformación isobara hasta A



# Entendiendo el ciclo

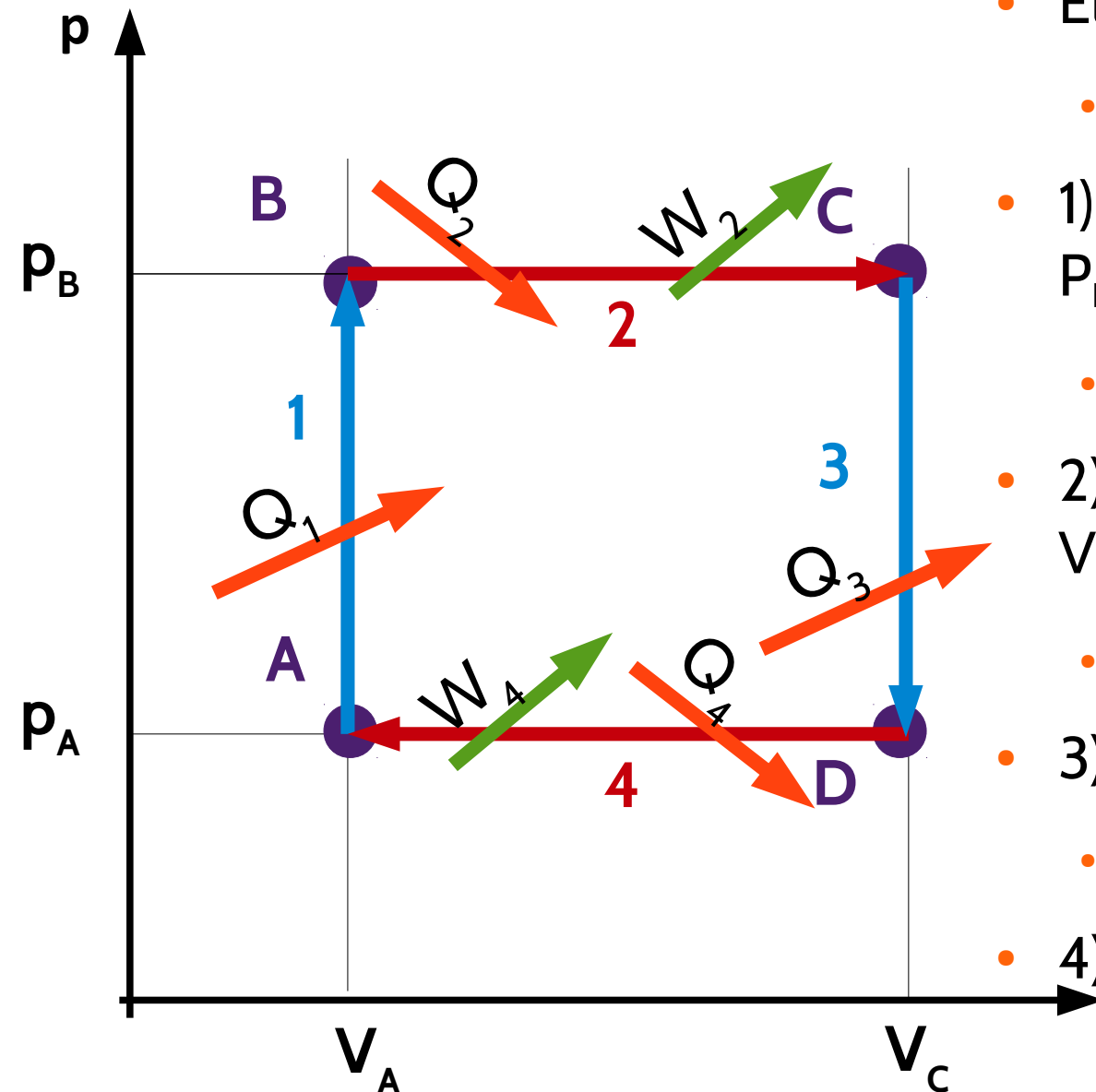
- A medida que el ciclo avanza, el sistema intercambia calor ( $Q$ ) y trabajo mecánico ( $W$ ) con el medio
- El sistema “almacena” energía en forma de energía interna ( $\rightarrow$  Temperatura  $\rightarrow$  Energía Cinética)
- Al finalizar el ciclo,  $U_f = U_i \rightarrow \Delta U = 0$
- Para el ciclo completo, el primer principio garantiza

$$Q = W$$

- Pero esos valores son “netos”

# Otro ciclo, el cuadrado letal

$n = \text{cte}$



- El gas se encuentra en estado A
  - $P_A, n_A, V_A \rightarrow T_A$
- 1) Transformación isócara hasta B,  $P_B = 3 P_A$ 
  - $P_B = 3 P_A, n_A, V_B = V_A \rightarrow T_B$
- 2) Transformación isóbara hasta C,  $V_C = 3 V_A$ 
  - $P_C = P_B, n_A, V_C = 3 V_B \rightarrow T_C$
- 3) Transformación isóbara hasta D
  - $V_D = V_C, n_A, P_D = P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isócara hasta A



# Cuadro de estados

Estado	$p$	$V$	$T$	$n$
A	$p_A$	$V_A$	$T_A$	$n_A$
1:B	$p_B = 3p_A$	$V_B = V_A$	$T_B$	$n_A$
2:C	$p_C = p_B$	$V_C = 3V_B$	$T_C$	$n_A$
3:D	$p_D = p_A$	$V_D = V_C$	$T_D$	$n_A$
4:A	$p_A$	$V_A$	$T_A$	$n_A$

# Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	$\Delta U$
<b>1<sub>A→B</sub>:isócora</b>	$= \Delta U$	<b>0</b>	$=(z/2) n R (T_B - T_A)$
<b>2<sub>B→C</sub>:isóbara</b>	$= \Delta U + W$	$= p_B (V_C - V_B)$	$=(z/2) n R (T_C - T_B)$
<b>3<sub>C→D</sub>:isócora</b>	$= \Delta U$	<b>0</b>	$=(z/2) n R (T_D - T_C)$
<b>4<sub>D→A</sub>:isóbara</b>	$= \Delta U + W$	$= p_D (V_D - V_A)$	$=(z/2) n R (T_A - T_D)$

- **Calor**

- $Q > 0 \leftarrow$  Calor entra al sistema desde una fuente
- $Q < 0 \leftarrow$  Calor sale del sistema  $\rightarrow$  No es aprovechable

- **Trabajo**

- $W > 0 \leftarrow$  Trabajo producido por el sistema  $\rightarrow$  Útil
- $W < 0 \leftarrow$  Trabajo realizado sobre el sistema  $\rightarrow$  Costo
- ¿Qué obtuve luego de un ciclo?  $\rightarrow$  Trabajo Neto
- ¿Que tuve que poner para lograr el ciclo?  $\rightarrow$  Calor  $Q > 0$



- Definimos al rendimiento como

Lo que obtuve

$$\eta = \frac{\text{Lo que obtuve}}{\text{Lo que tuve que poner}}$$

Lo que tuve que poner

- En términos del ciclo,

$W_{\text{neto}}$

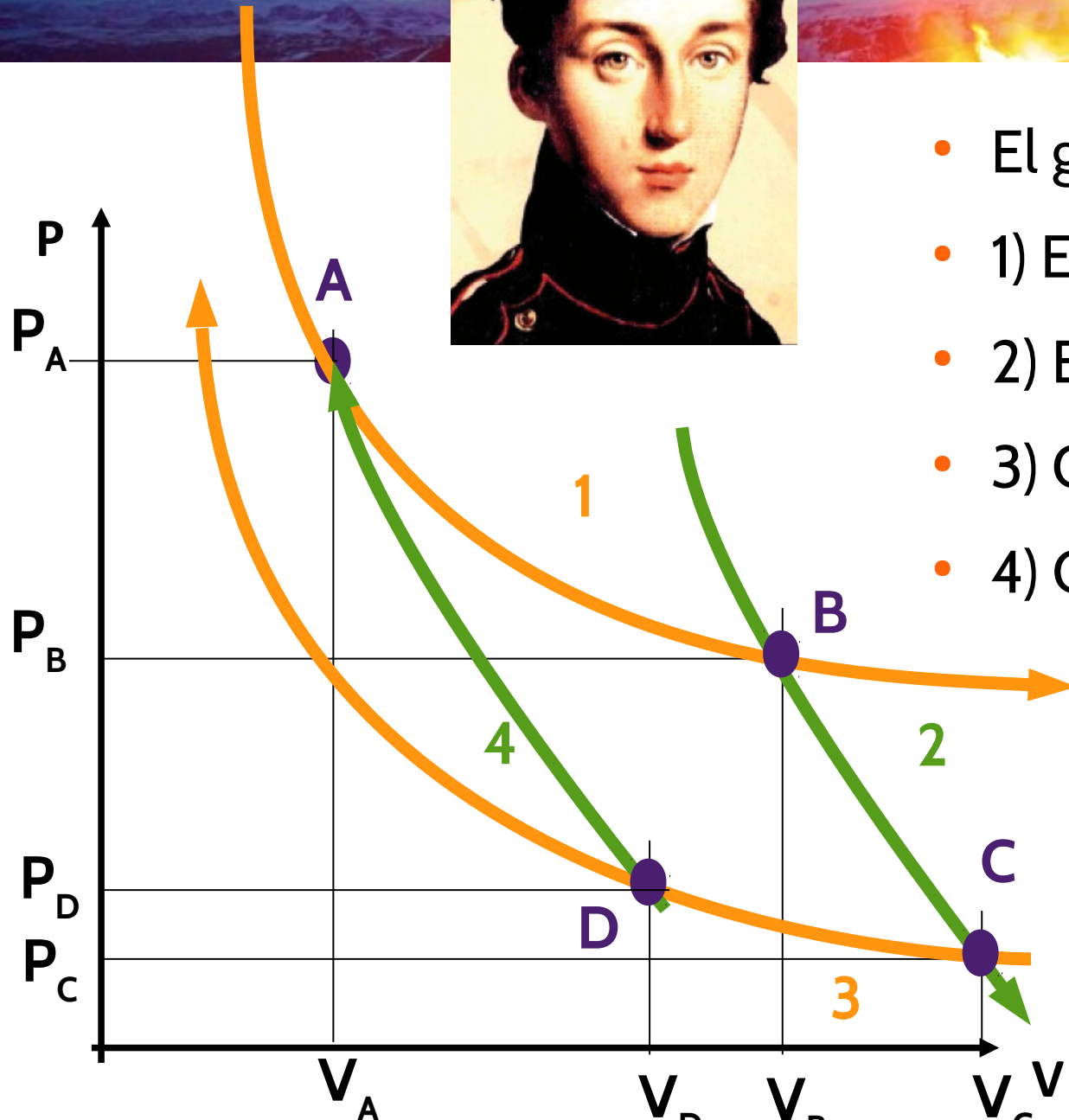
$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{>0}}$$

$Q_{>0}$

# Reversibilidad termodinámica (volveremos)

- **Proceso Reversible** es aquel en el que el sentido puede invertirse mediante un cambio infinitesimal de las condiciones de entorno
  - Idealización
  - Punto a punto → desplazamiento infinitesimal del equilibrio
  - Procesos conservativos
  - Al invertirse el proceso, el sistema regresa al estado inicial
  - Coloquial: procesos muuyyyy lentos
- **Un ciclo reversible** es aquel ciclo en el que todas las transformaciones son reversibles

## Otro ciclo → Carnot



- El gas se encuentra en A
- 1) Expansión Isotérmica  $A \rightarrow B$
- 2) Expansión Adiabática  $B \rightarrow C$
- 3) Compresión Isotérmica  $C \rightarrow D$
- 4) Compresión Adiabática  $D \rightarrow A$

**Ciclo completo  
reversible**  
(fuera de escala)



Transf.	Q	$\Delta U$	W
1) Isoterma $A \rightarrow B$	$=W_1 (>0)$	<b>0</b>	$nRT_A \ln(V_B/V_A)$
2) Adiabática $B \rightarrow C$	<b>0</b>	$(z/2) nR(T_C - T_B)$	$-\Delta U_2 (>0)$
3) Isoterma $C \rightarrow D$	$=W_3 (<0)$	<b>0</b>	$nRT_C \ln(V_D/V_C)$
4) Adiabática $D \rightarrow A$	<b>0</b>	$(z/2) nR(T_A - T_D)$	$-\Delta U_3 (<0)$

- **Verificar**

- $\Delta U=0$   $\leftarrow$  En el ciclo no hay cambio en U
- $Q = W$   $\leftarrow$  Primer principio: El calor neto = El trabajo neto

# Rendimiento de la máquina de Carnot

- Lo que obtuve / Lo que puse
  - Obtuve: Trabajo neto (Suma de los  $W$ )
  - Puse: Calor entrante (Sólo cuento los calores positivos  $Q > 0$ )
- Nos preparamos, respiramos hondo, y vamos...



# Eficiencia del ciclo de Carnot





# Eficiencia del ciclo de Carnot

# Eficiencia de la máquina de Carnot

- Lo que obtuve / Lo que puse
  - Obtuve: Trabajo neto (Suma de los W)
  - Puse: Calor entrante (Sólo cuento los calores positivos  $Q > 0$ )
- Entonces, para el ciclo de Carnot

$$\eta = \frac{\sum_i W_i}{\sum_j (Q_j > 0)} \rightarrow \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- $T_C$ : baño térmico de la transformación 3;  $T_A$ : térmico de la transformación 1  $\rightarrow T_C < T_A$ .
- $T_C \rightarrow$  Baño frío;  $T_A \rightarrow$  baño caliente

# Maldita termodinámica, 1ra parte

- Vemos que a pesar de ser un gas ideal y todas las transformaciones son reversibles,

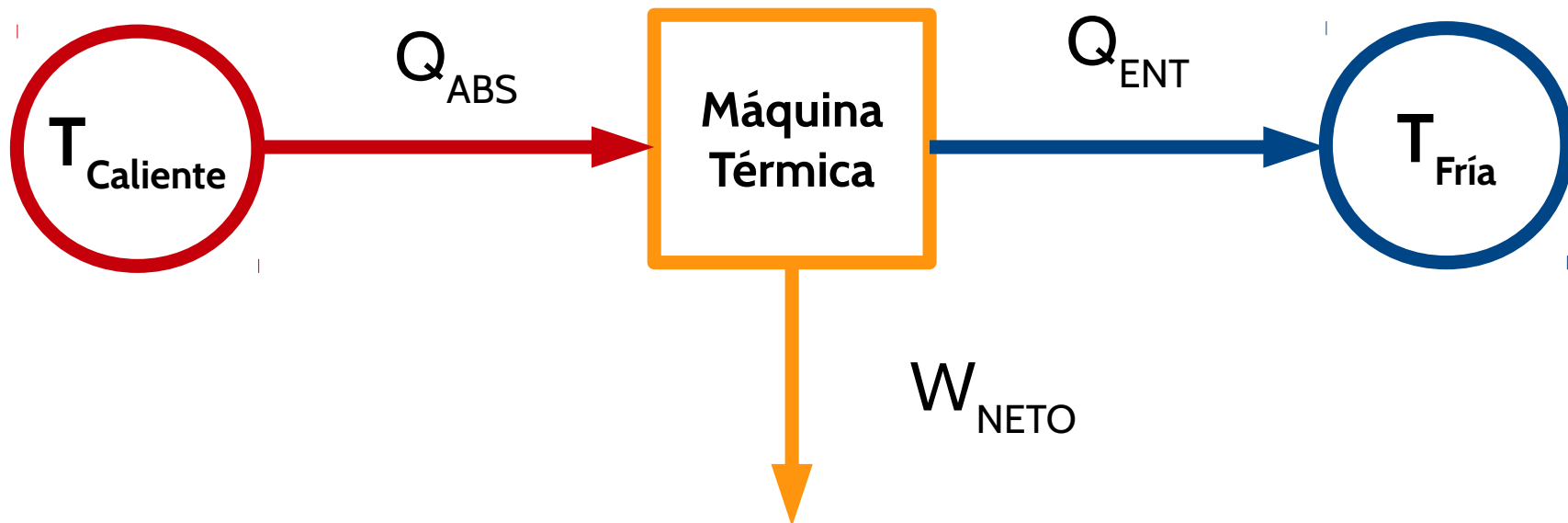
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- El rendimiento de una máquina de Carnot siempre es menor que 1:
- 1<sup>er</sup> Teorema de Carnot (demostración en la próx. unidad)

**No existe una máquina térmica que funcionando entre dos fuentes térmicas dadas tenga un rendimiento mayor que una máquina reversible (de Carnot).**

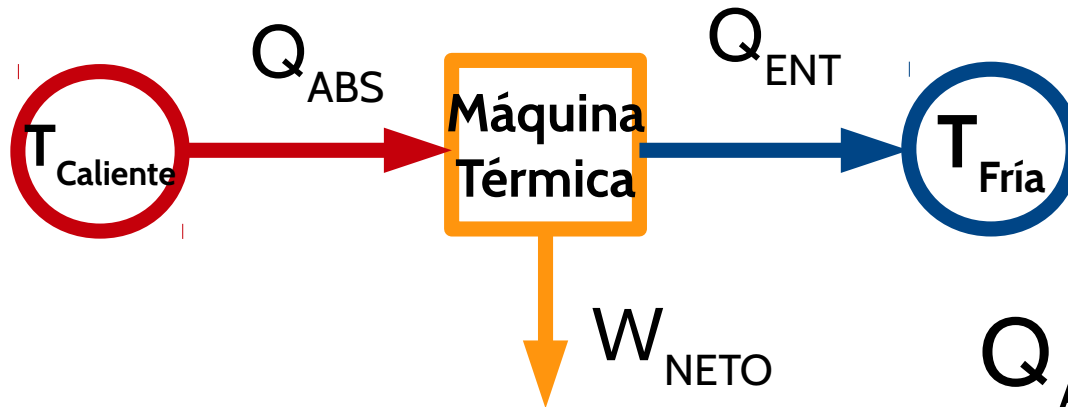
# Máquinas térmicas

- **Máquina térmica:** dispositivo cíclico que absorbe calor de una fuente caliente, realiza un trabajo mecánico y entrega la energía remanente en forma de calor a una fuente fría
- Este calor no es aprovechable por la misma máquina térmica





# Según el primer principio



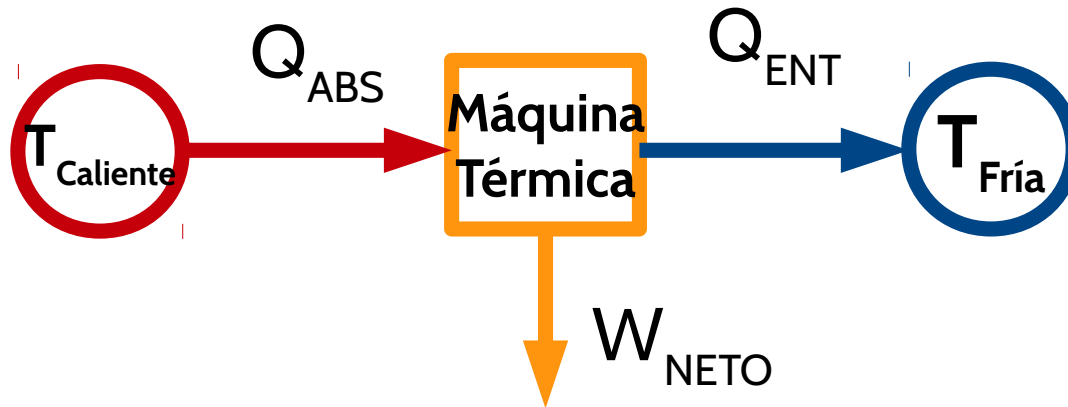
$$Q_{\text{ABS}} = W_{\text{NETO}} + Q_{\text{ENT}}$$

$$W_{\text{NETO}} = Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}$$

$$\eta = \frac{W_{\text{NETO}}}{Q_{\text{ABS}}}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}}$$

# Y según Carnot....



$$\eta = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Caliente}}}{T_{\text{Fría}}}$$