

# Universidad Nacional de Río Negro

## Física III B – 2021

- **Unidad** 02
- **Clase** U02 C03 - 09/30
- **Fecha** 15 Abr 2021
- **Cont** Ciclos - Carnot
- **Cátedra** Asorey - Calderón
- **Web** <https://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b>



# Unidad 2: Primer Principio

Unidad 1

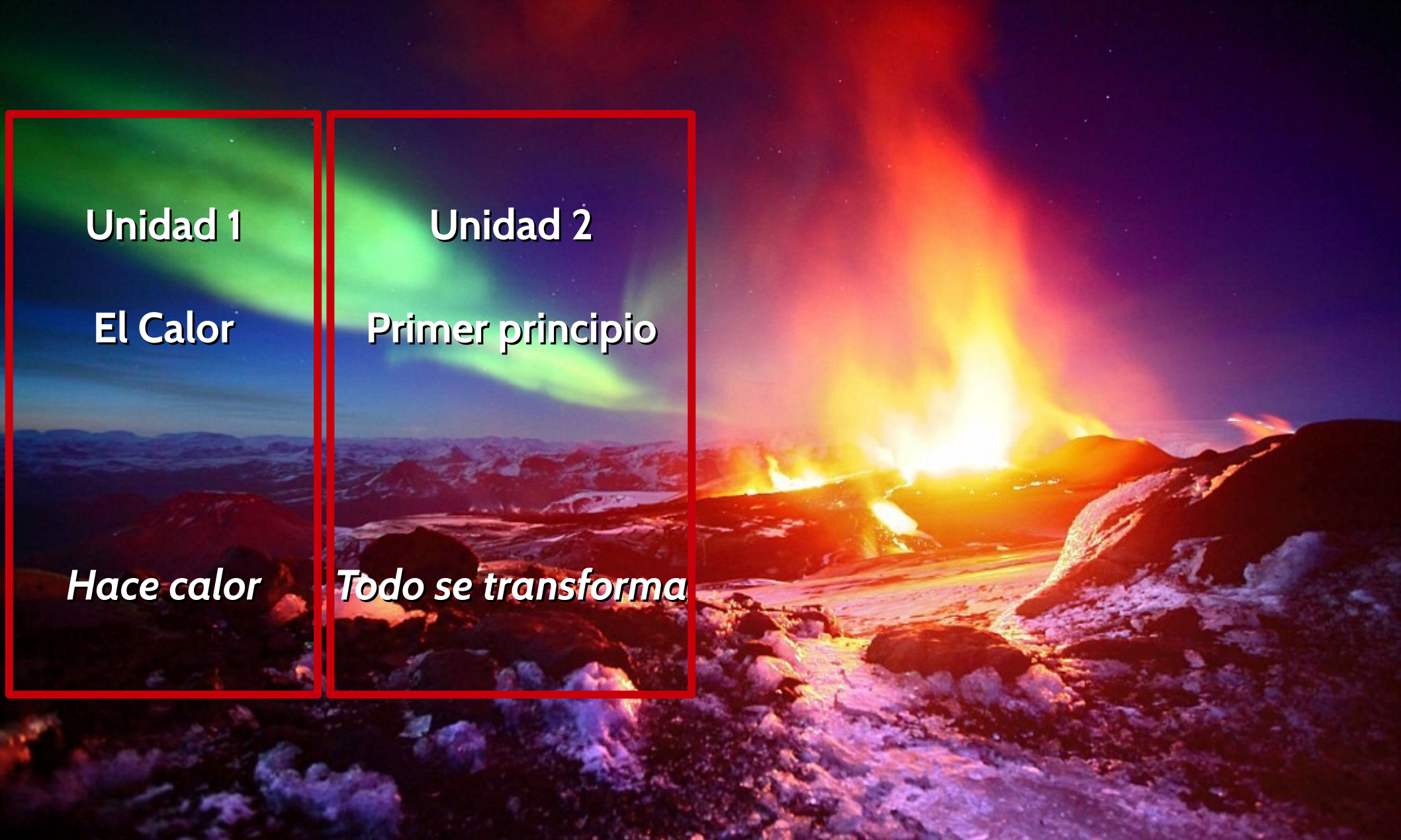
El Calor

*Hace calor*

Unidad 2

Primer principio

*Todo se transforma*





# Módulo 1 - Unidad 2: Primer Principio

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



# Nada se gana, nada se pierde, todo se transforma

- La **conservación de la energía** para un **sistema termodinámico** se expresa de la siguiente forma

$$Q = \Delta U + W$$

**Primer principio  
de la termodinámica**

$Q$  = Calor cedido al sistema (signo de  $\Delta T$ )

$\Delta U$  = Cambio de la energía interna del sistema (signo de  $\Delta T$ )

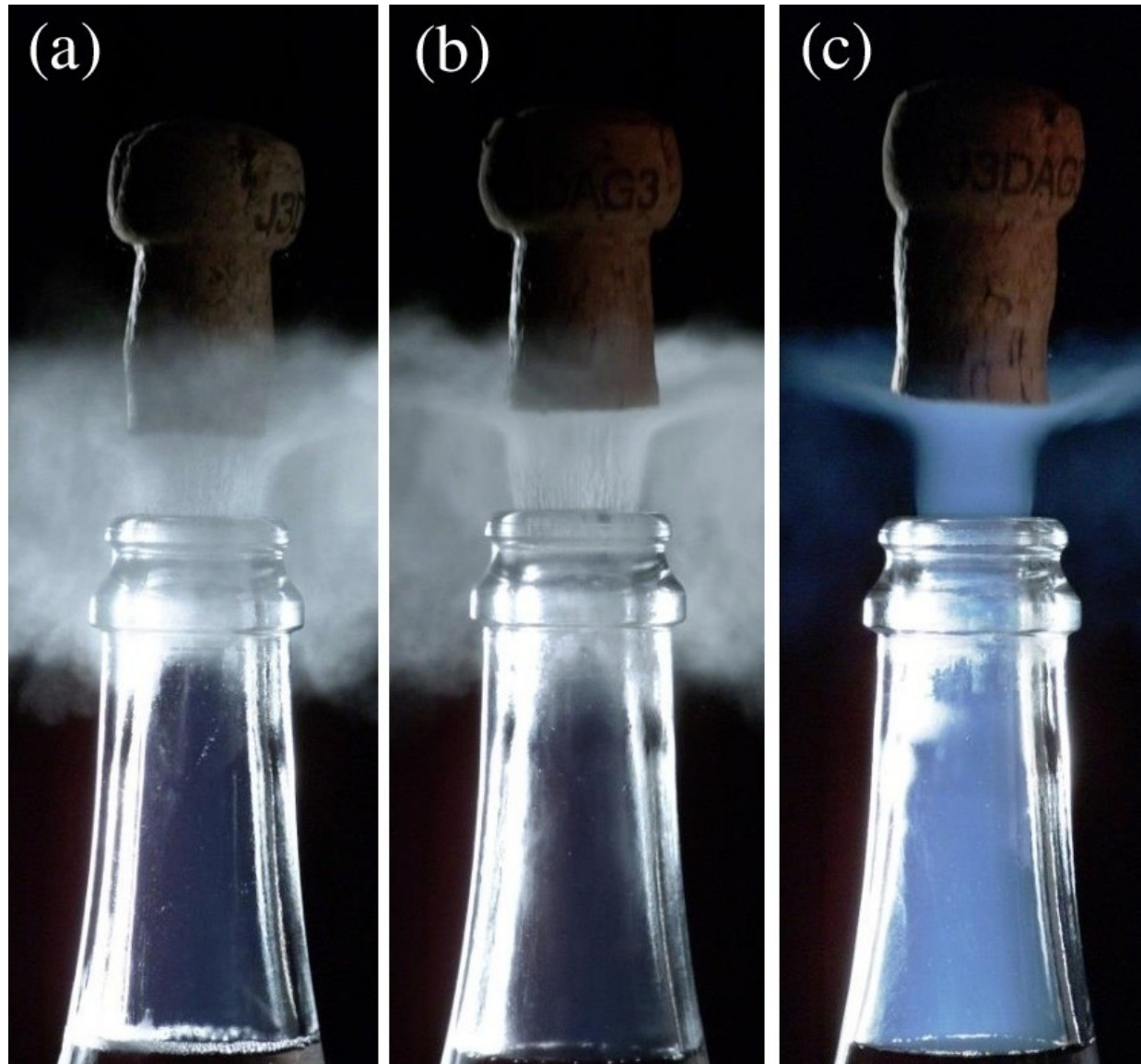
$W$  = Trabajo realizado por el sistema (signo de  $\Delta V$ )



# Último caso: No hay intercambio de calor

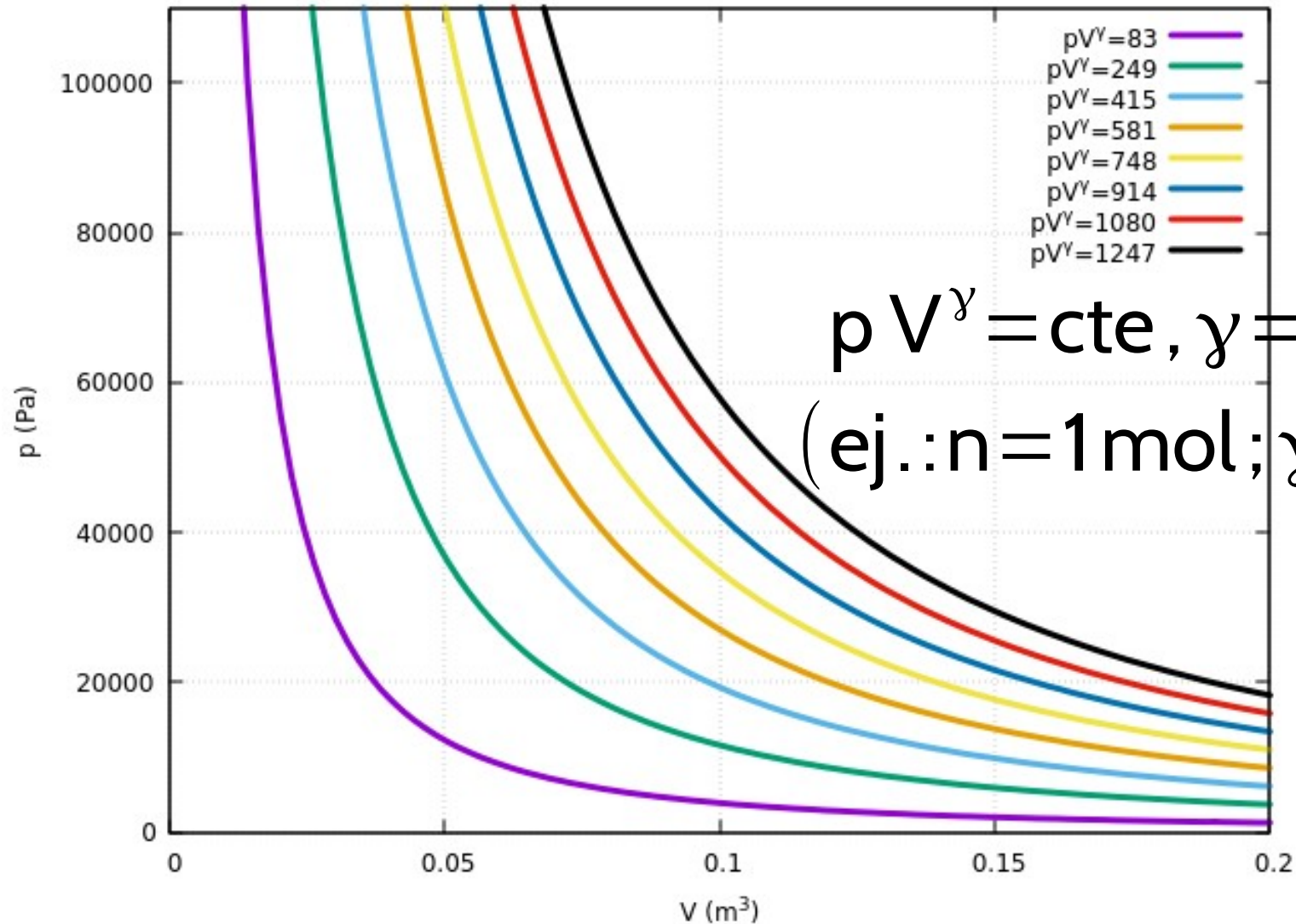
- No hay intercambio de calor con el medio
  - Recipiente muy aislado (calorímetro); ó
  - Transformación muy rápida (abriendo una Coca Cola)
- En este caso:  **$Q = 0$  ← Transformación Adiabática**
- $Q = \Delta U + W \rightarrow 0 = \Delta U + W \rightarrow \mathbf{W = - \Delta U}$
- **En una expansión adiabática, el trabajo se realiza a costa de la energía interna del gas**
- Expansión adiabática → Brusco descenso de T  
**Y viceversa: en una compresión adiabática, todo el trabajo se convierte en energía interna (Zonda)**

# Sepa física y sea el alma de la fiesta



# Transformación Adiabática

## Curvas adiabáticas



$$p V^\gamma = \text{cte}, \gamma = C_p / C_v$$

(ej.:  $n = 1 \text{ mol}; \gamma = 5/3$ )

- **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:**

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

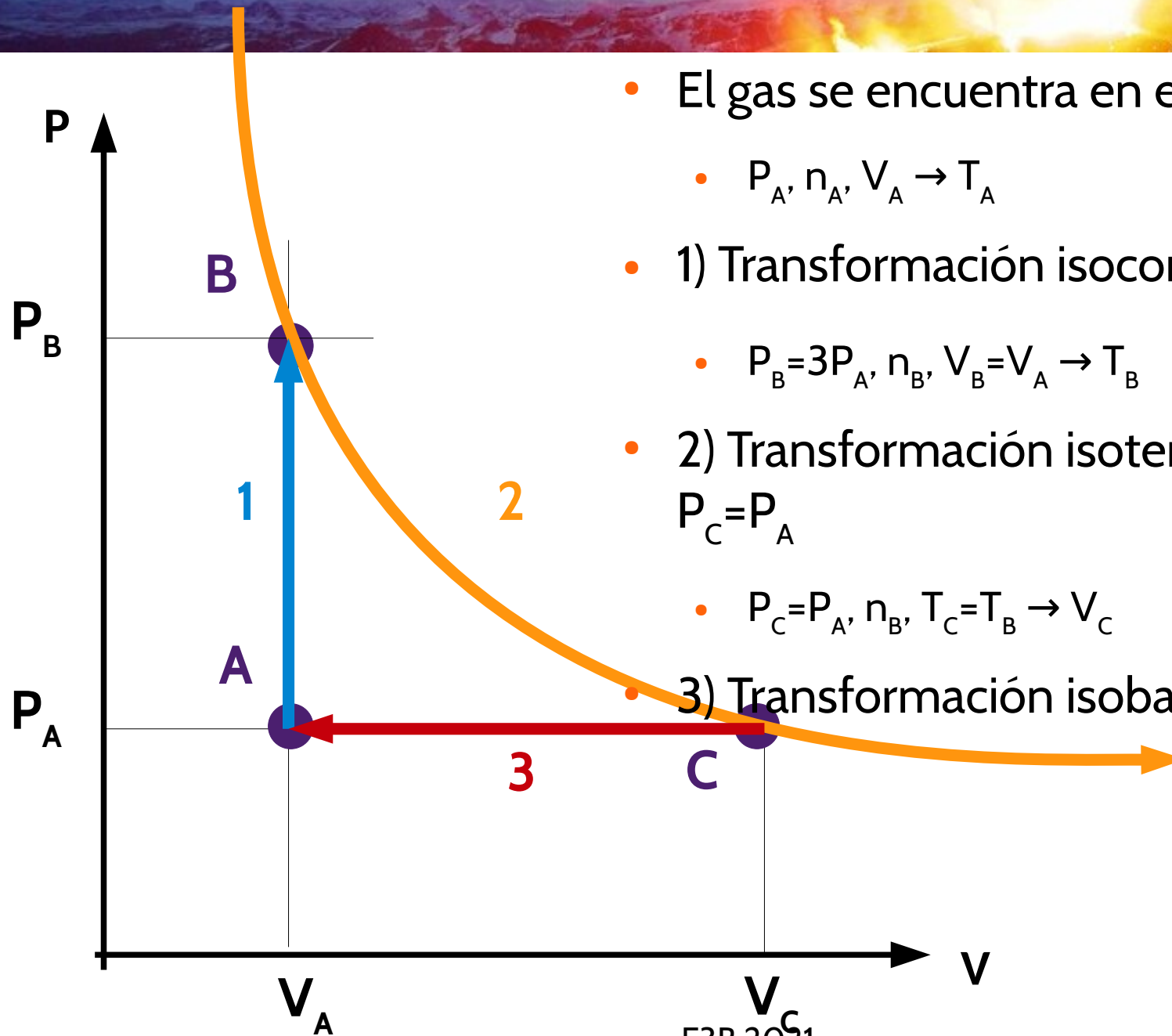
- **Adiabática**

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

$$PV = n R T$$

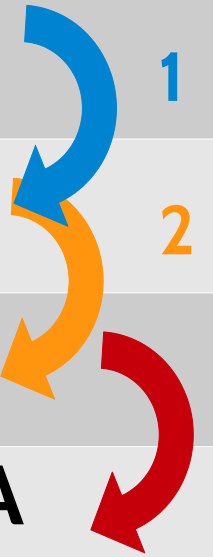


# Sucesión de transformaciones



- 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

# Cuadro de estados



Estado	p	V	T	n
A	$p_A$	$V_A$	$T_A$	$n_A$
B	$p_B = 3p_A$	$V_B = V_A$	$T_B$	$n_A$
C	$p_C = p_A$	$V_C$	$T_C = T_B$	$n_A$
→ A	$p_A$	$V_A$	$T_A$	$n_A$

- Identificar los datos en el problema
- Determinar datos faltantes con las transformaciones
- Calcular datos faltantes con ec. de estado  $\rightarrow pV=nRT$

# Cuadro de transformaciones

Transf	Q	W	$\Delta U$
1: isocora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_B - T_A)$
2: isoterma	$= W$	$= nRT \ln(V_C/V_A)$	0
3: isobara	$= \Delta U + W$	$= P(V_A - V_C)$	$=(z/2) n R (T_A - T_C)$

- Identificar aquellos valores que no cambian en cada transformación
- Dejar el calor Q para el final (evita confusiones)
- En un ciclo  $\Delta U_{\text{total}} = 0 \leftarrow$  El gas vuelve a su estado inicial  $U_f = U_i$



# Entendiendo el ciclo

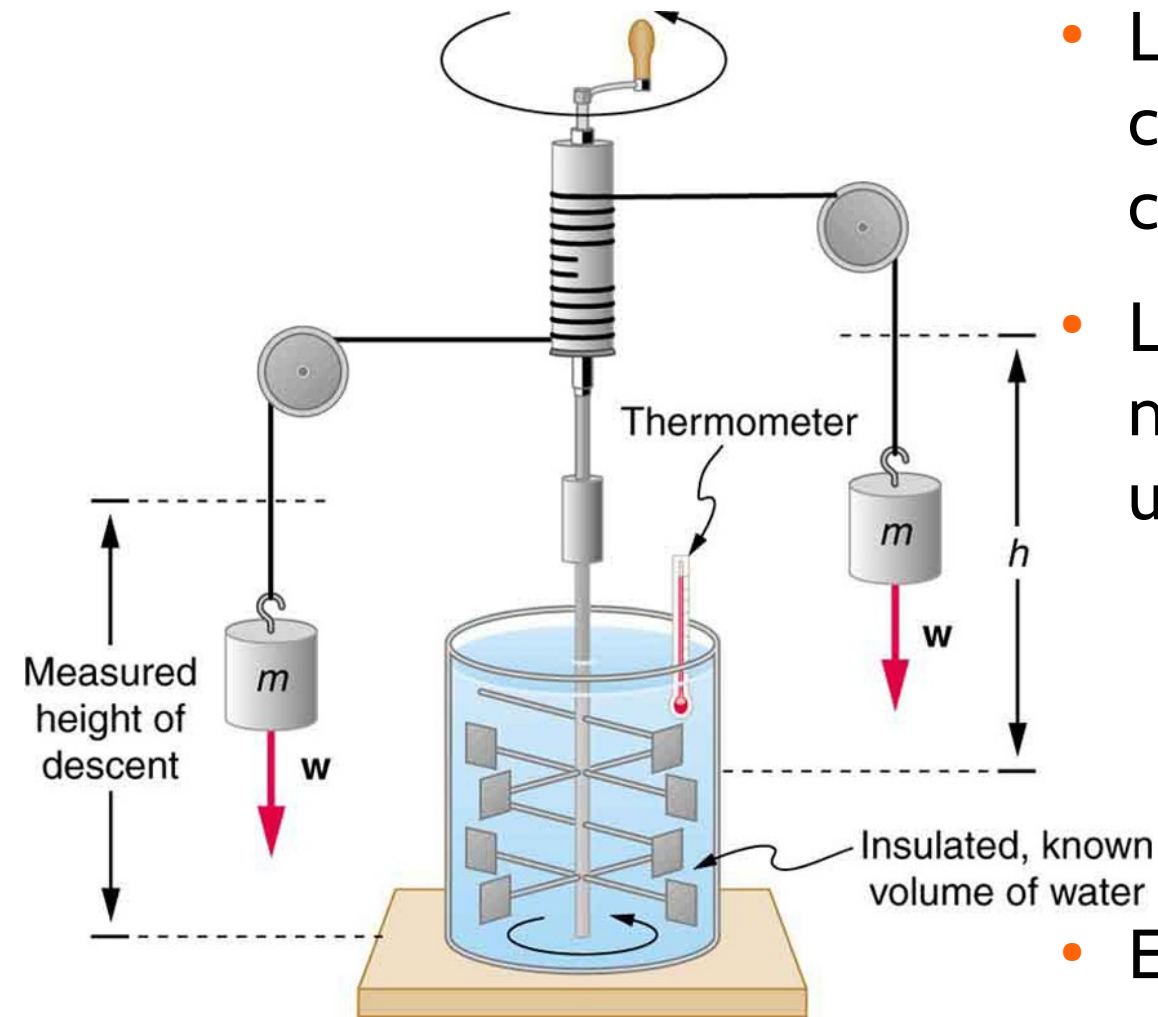
- A medida que el ciclo avanza, el sistema intercambia calor ( $Q$ ) y trabajo mecánico ( $W$ ) con el medio
- El sistema “almacena” energía en forma de energía interna ( $\rightarrow$  Temperatura  $\rightarrow$  Energía Cinética)
- Al finalizar el ciclo,  $U_f = U_i \rightarrow \Delta U = 0$
- Para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

# Equivalente mecánico del calor

- Es una expresión histórica de la conservación de la energía aplicada a la termodinámica
- La equivalencia explicita que calor y trabajo mecánico son intercambiables
- El calor es una forma de energía
- Las primeras observaciones se dieron por el trabajo de fricción y el calentamiento
- Los trabajos de Joule llevaron al establecimiento de:

**caloría (“calor”)  $\leftrightarrow$  joule (“energía”)**

# Experimento de Joule



- Las dos pesas de masa  $m$  conocida, caen una distancia  $h$  conocida
- La fricción de las palas en la masa  $M$  de agua aislada genera un incremento de  $T$

$$2(mgh) = cM\Delta T$$

$$c = \frac{2(mgh)}{M\Delta T}$$

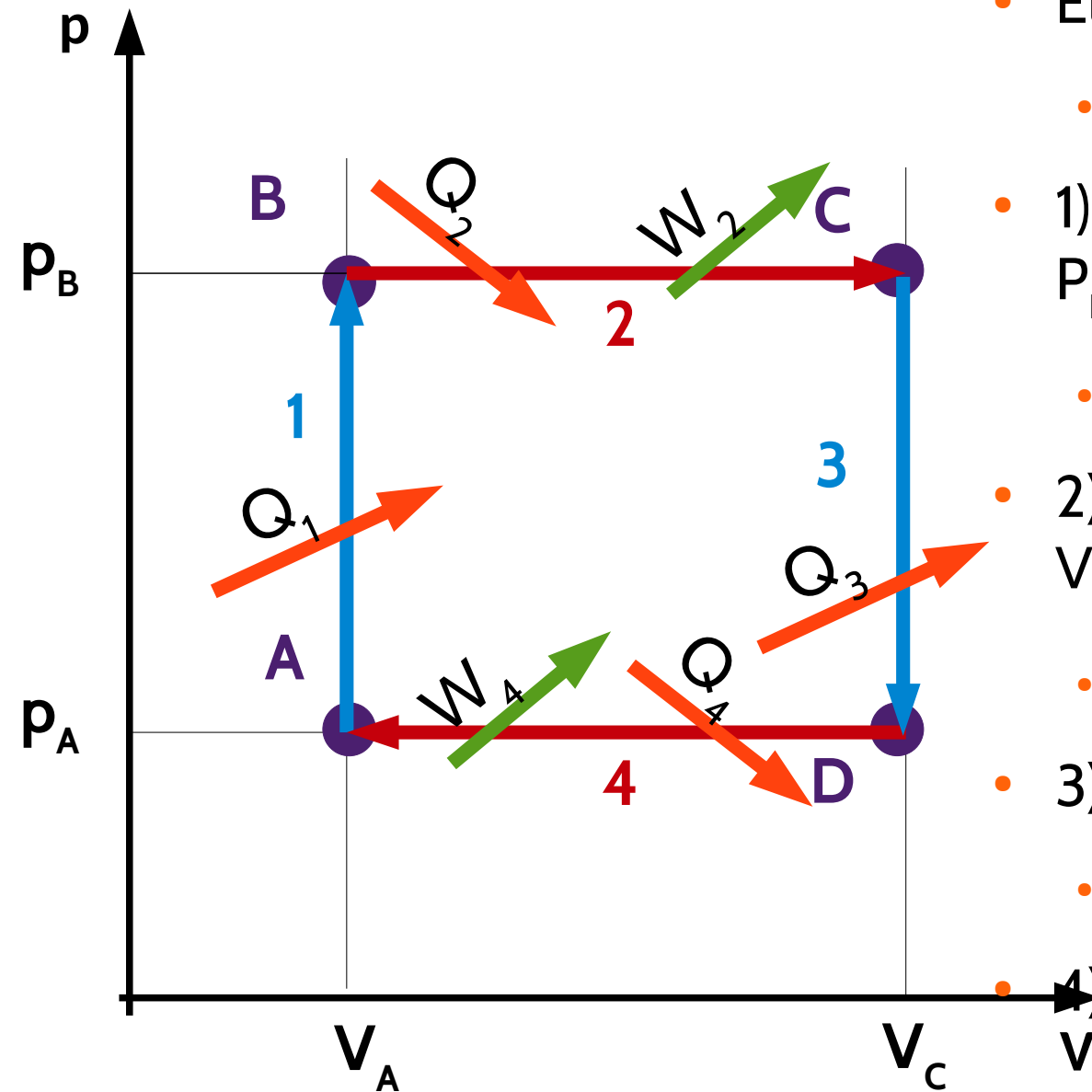
- Equivalente mecánico del calor:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$



# 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 isócora 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 isócora hasta D
  - $V_D = V_C, n_A, P_D = P_A \rightarrow T_D$
- 4) Transformación isóbara 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	$\Delta U$
1 <sub>A→B</sub> :isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_B - T_A)$
2 <sub>B→C</sub> :isóbara	$= \Delta U + W$	$= p_B (V_C - V_B)$	$=(z/2) n R (T_C - T_B)$
3 <sub>C→D</sub> :isócora	$= \Delta U$	0	$=(z/2) n R (T_D - T_C)$
4 <sub>D→A</sub> :isóbara	$= \Delta U + W$	$= p_D (V_D - V_A)$	$=(z/2) n R (T_A - T_D)$



- **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

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

- En términos del ciclo,

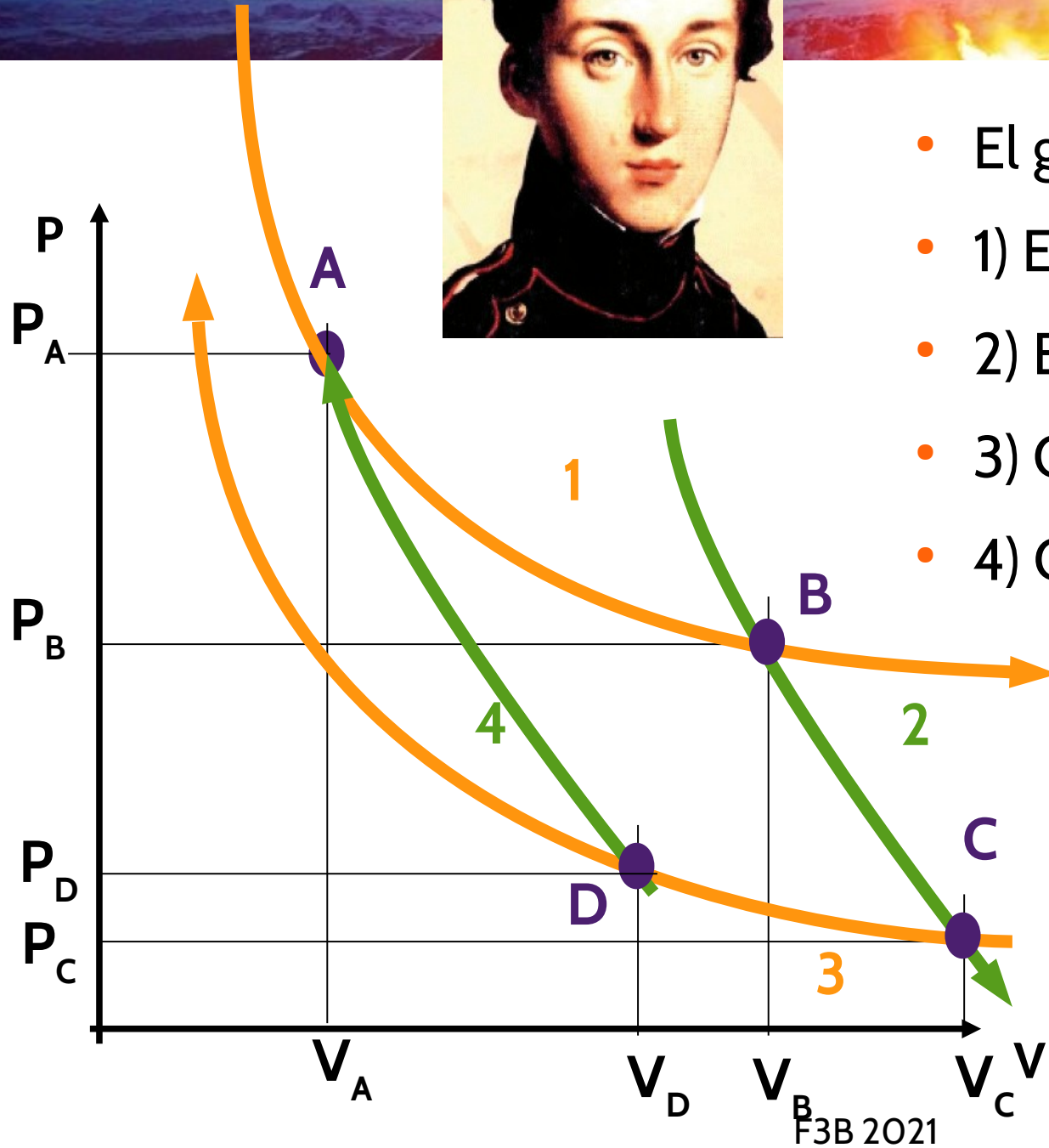
$$\eta = \frac{W_{\text{neto}}}{Q_{>0}}$$

# 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→B
- 2) Expansión Adiabática B→C
- 3) Compresión Isotérmica C→D
- 4) Compresión Adiabática D→A

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

# 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,

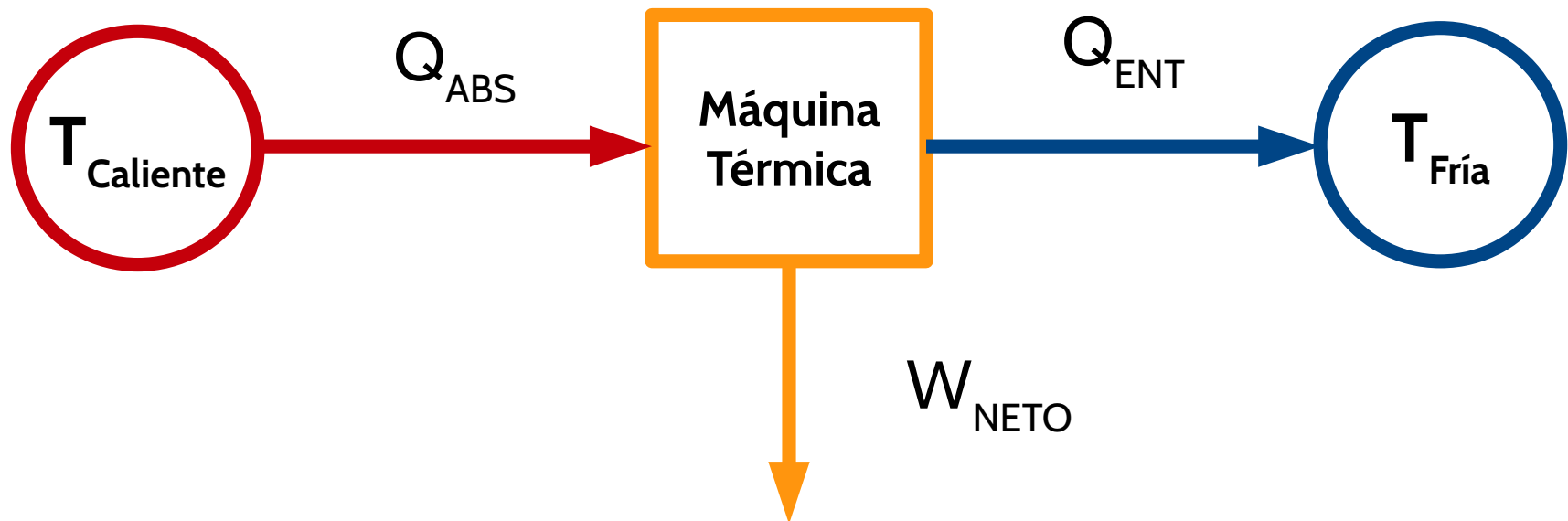
$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_A} < 1$$

- 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).**

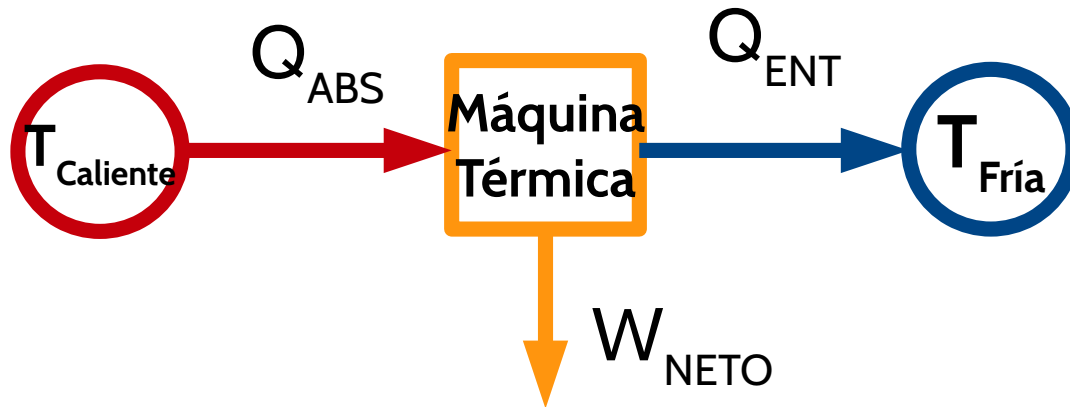
# Máquinas térmicas

- **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





# Y según Carnot....



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

# Máquina térmica – un poco más realista

