

# Universidad Nacional de Río Negro

## Física III B – 2019

- **Unidad** 03
- **Clase** U03 C01
- **Fecha** 23 Abr 2019
- **Cont** Segundo principio
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <http://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b>



# Contenidos: Termodinámica, alias F3B, alias F4A

## Unidad 1

El Calor

*Hace calor*

## Unidad 2

Primer principio

*Todo se transforma*

## Unidad 3

Segundo Principio

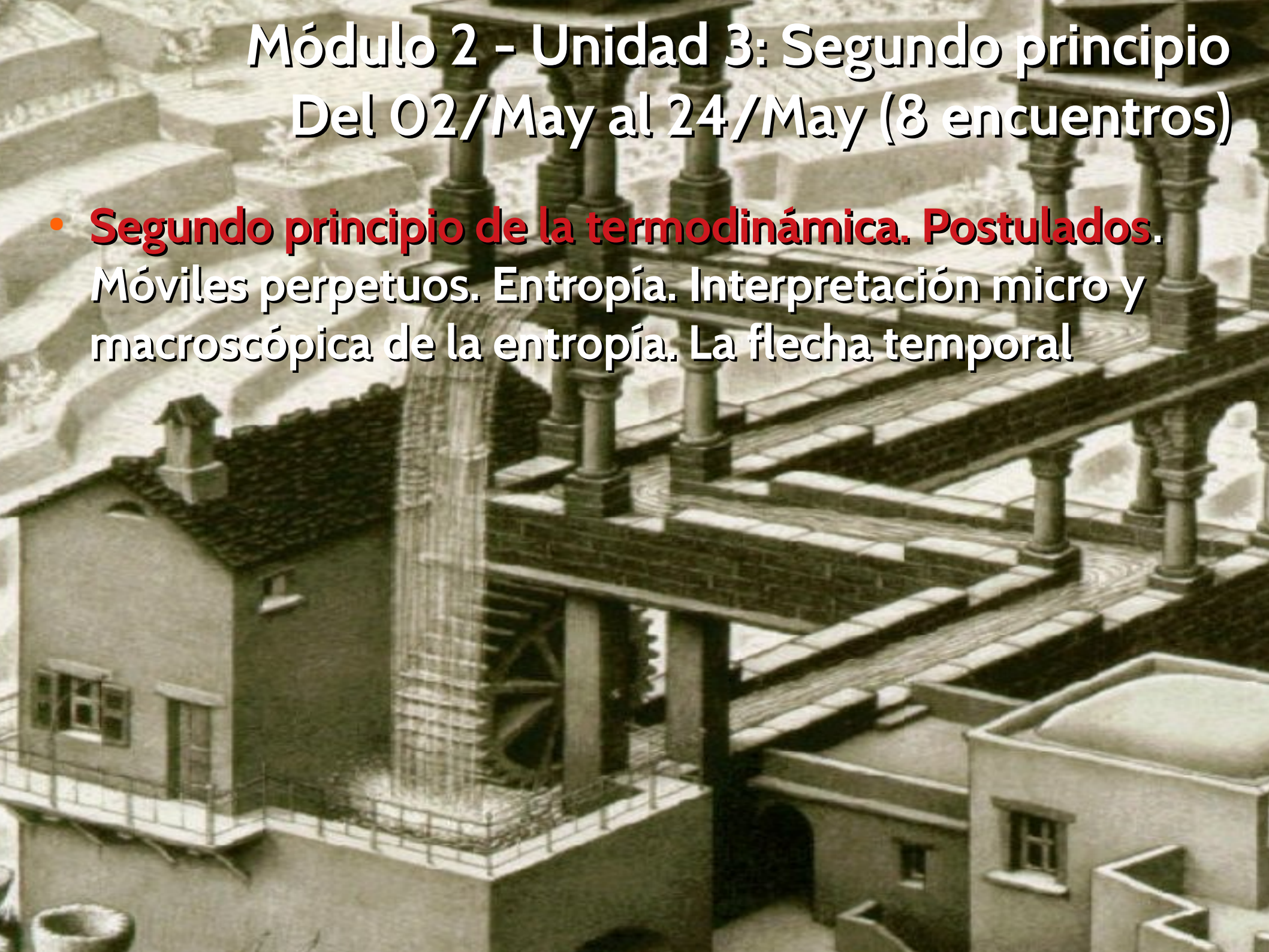
*Nada es gratis*



# Módulo 2 - Unidad 3: Segundo principio

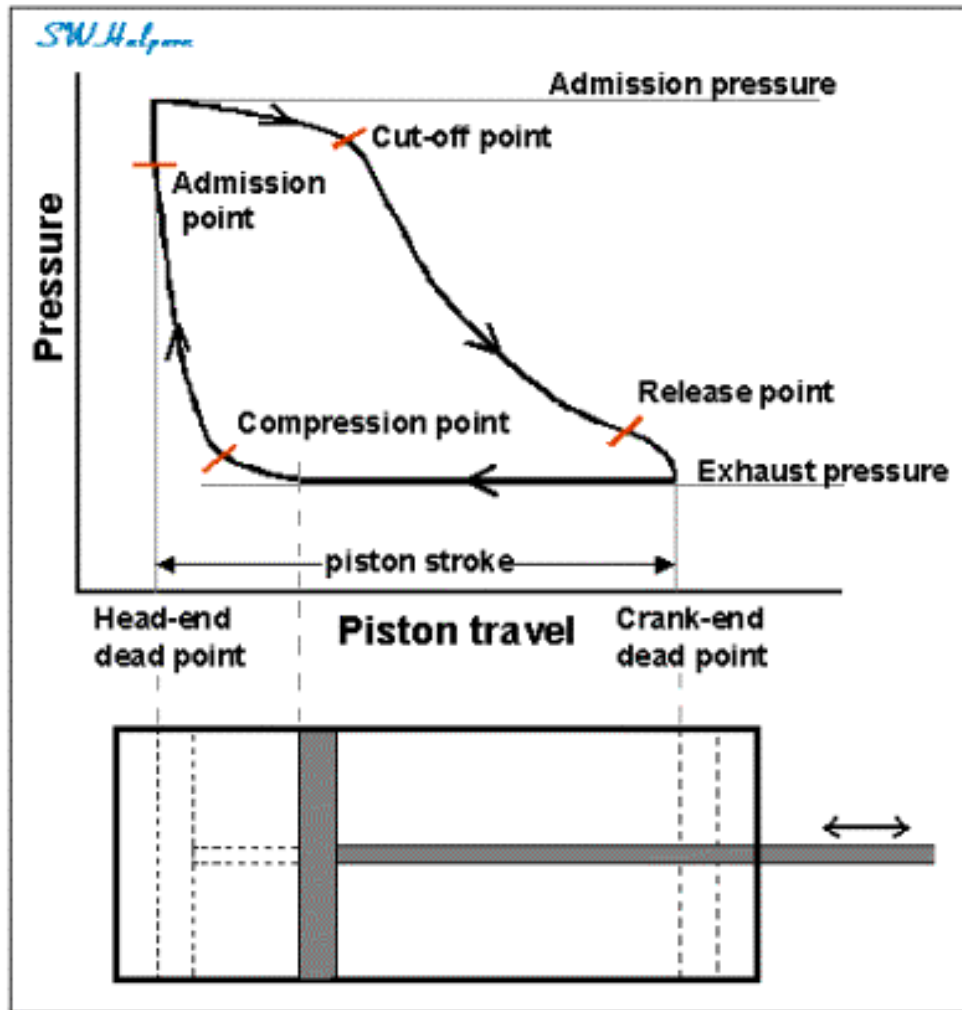
## Del 02/May al 24/May (8 encuentros)

- **Segundo principio de la termodinámica. Postulados.** Móviles perpetuos. Entropía. Interpretación micro y macroscópica de la entropía. La flecha temporal



# Un ciclo que funciona

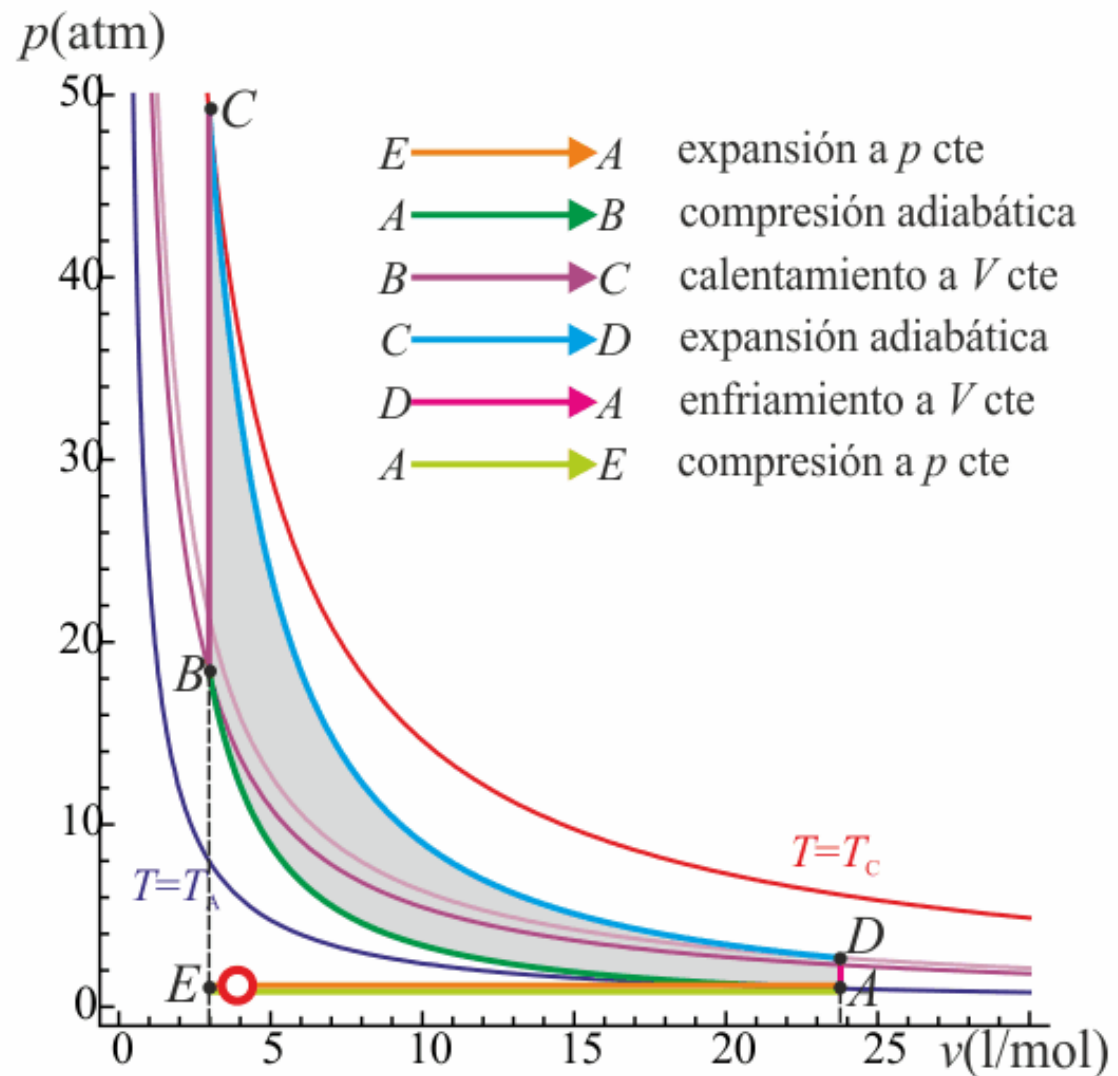
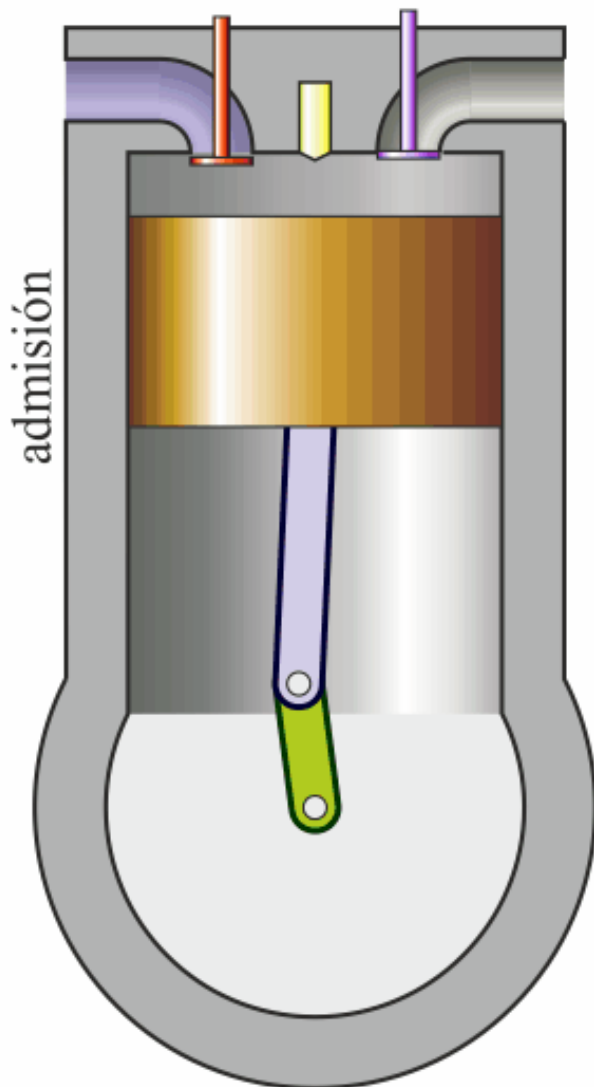
## El inicio de la revolución industrial



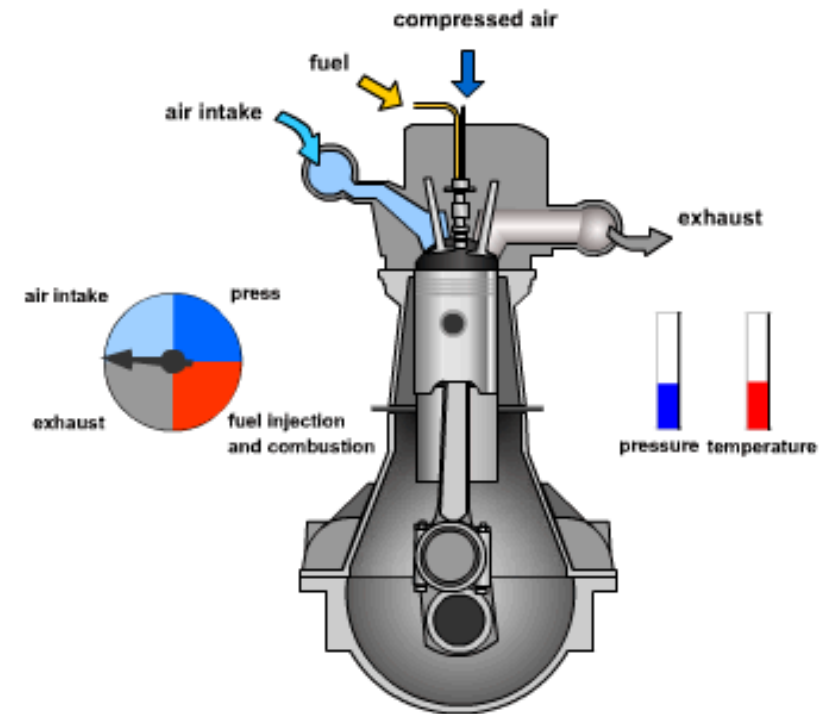
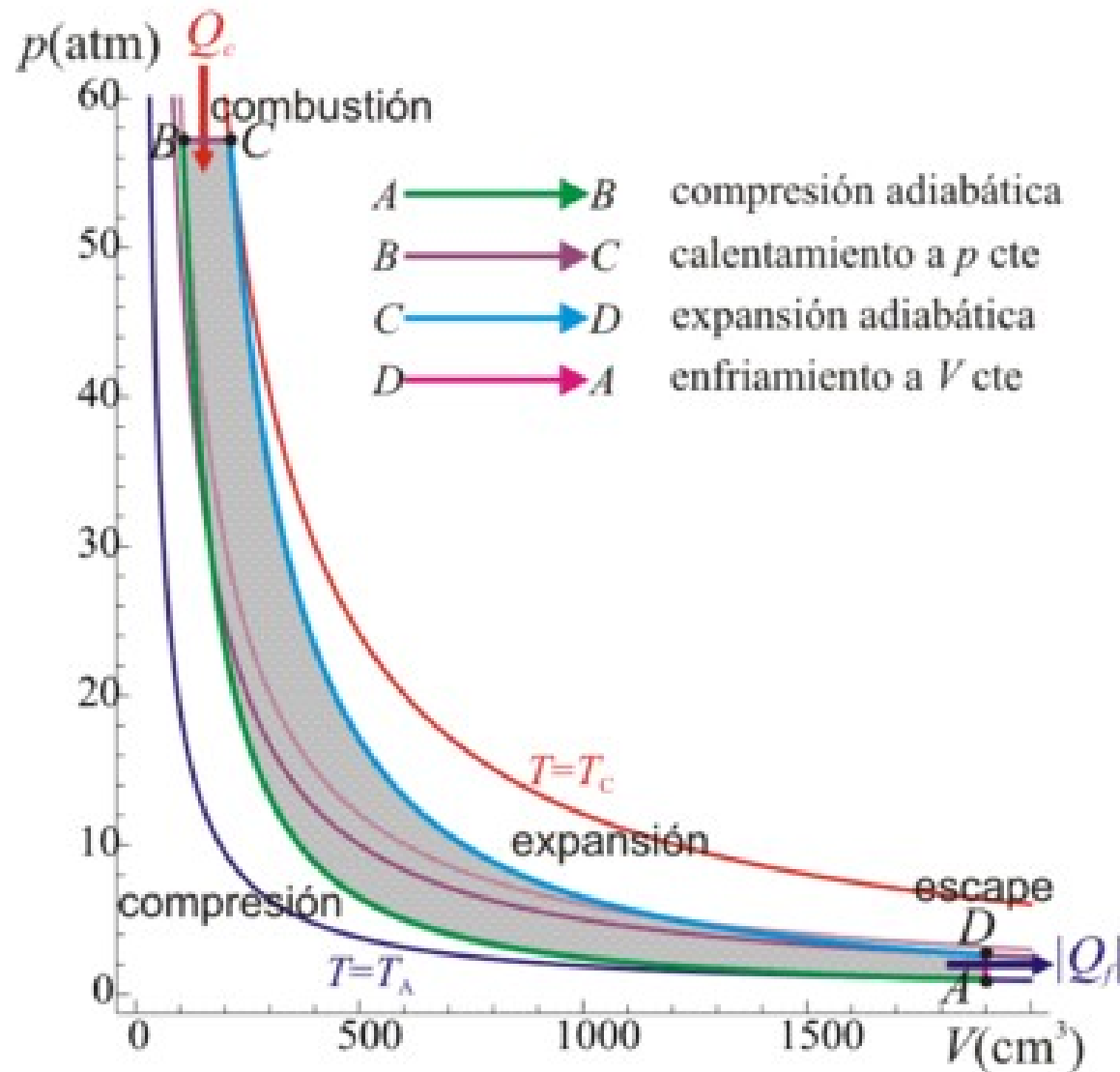
- **Admisión:**  
el vapor de alta presión ingresa (ingreso de energía desde la fuente caliente)
- **Expansión:**  
comienza la expansión del vapor desplazando al pistón y produciendo trabajo mecánico
- **Escape:**  
Rápida salida de vapor de baja presión hacia la fuente fría
- **Compresión:**  
La admisión de vapor del otro lado del cilindro comprime el remanente y ecualiza las presiones para la nueva admisión



# El ciclo Otto - realista

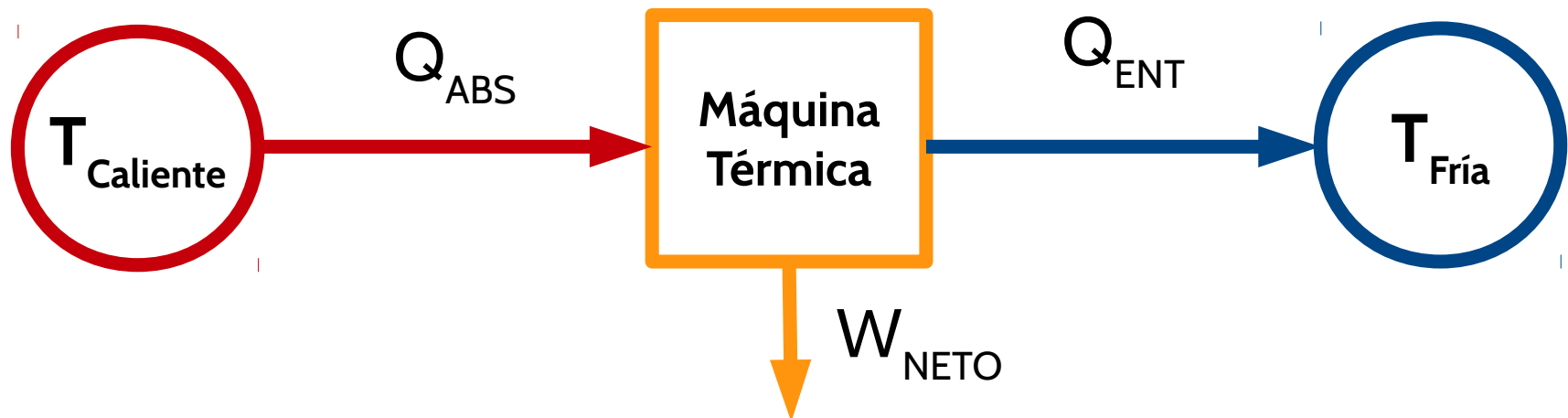


# Ciclo Diésel o ciclo de combustión isóbara

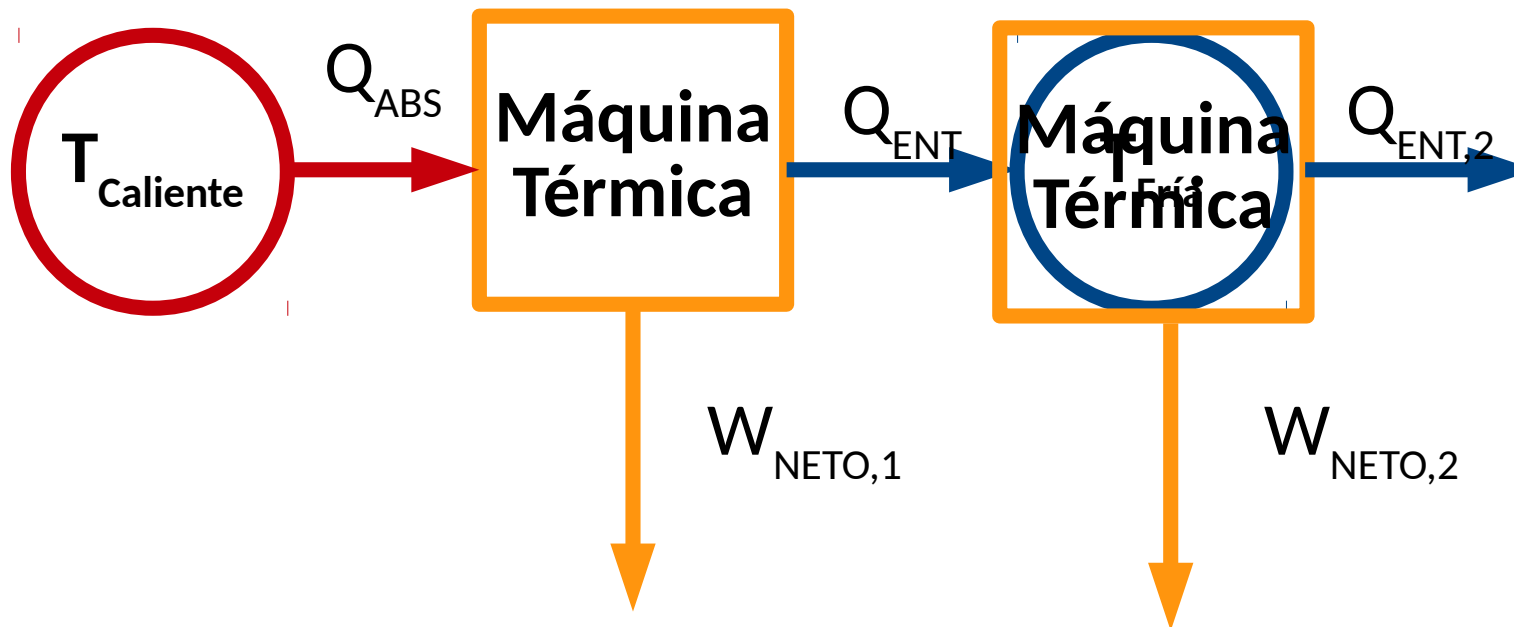


# Máquinas térmicas

- Máquina térmica: obtengo trabajo mecánico a partir de la transferencia de calor de la fuente caliente a la fuente fría...



- Mejora de la eficiencia global

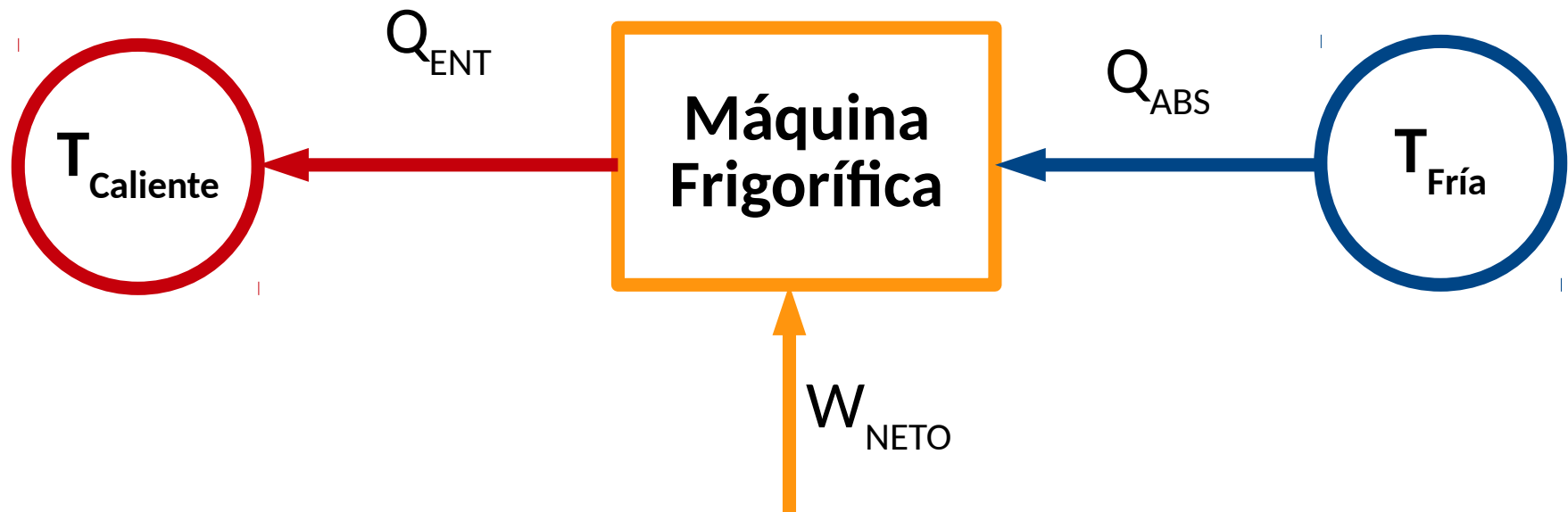


$$\eta = \frac{W_{\text{NETO},1} + W_{\text{NETO},2}}{Q_{\text{ABS}}}$$



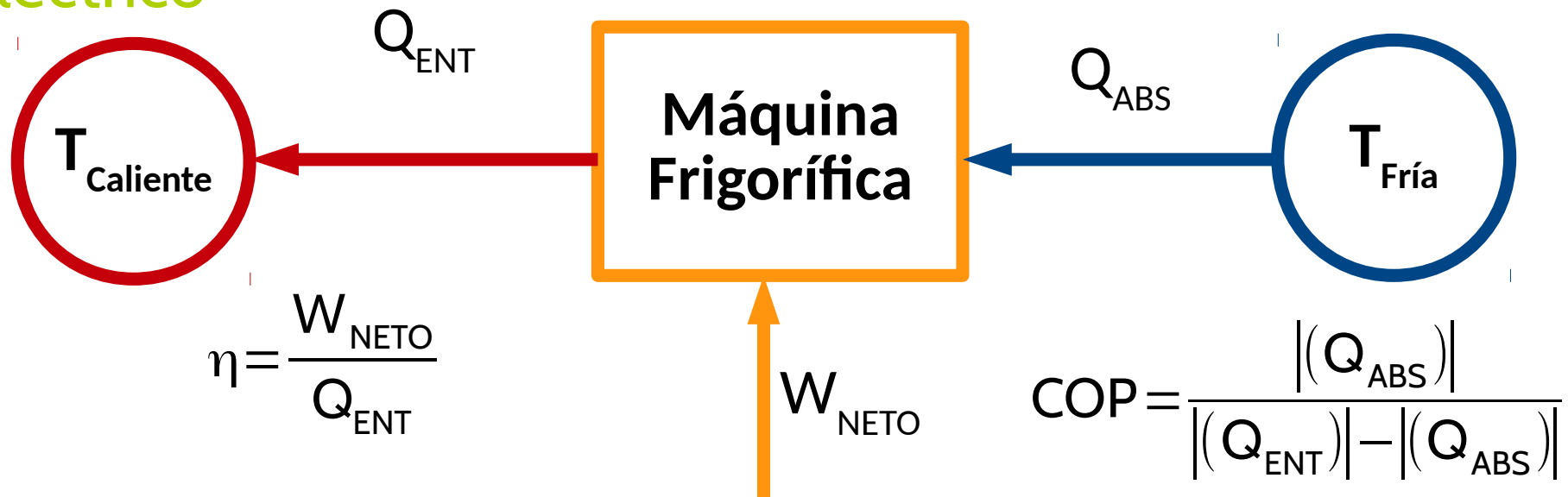
# Ciclo inverso → Máquina frigorífica

- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- Heladera:



# Ciclo inverso → Máquina frigorífica

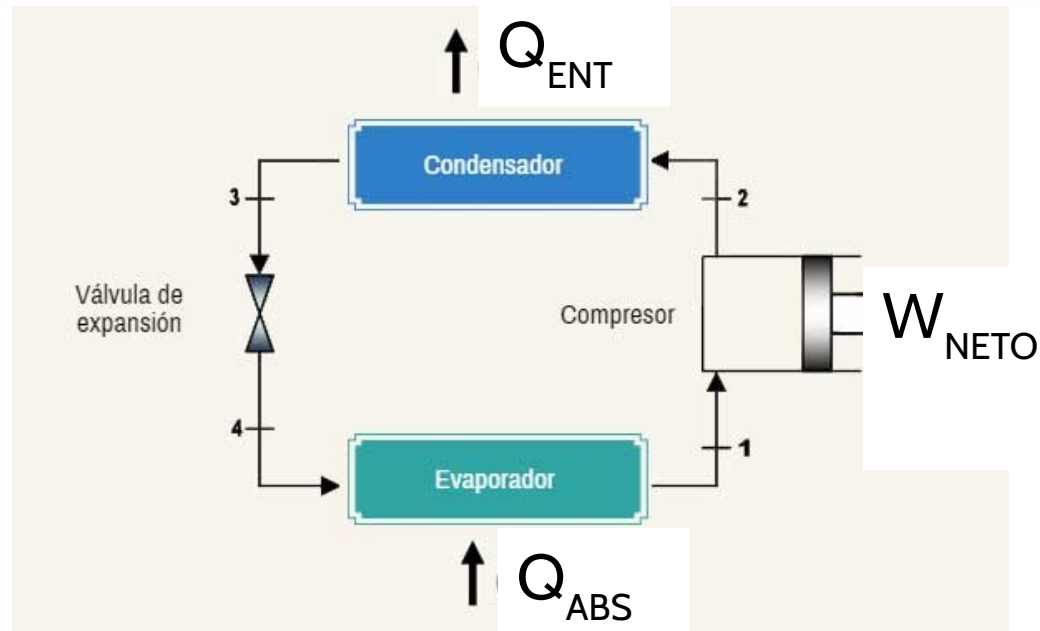
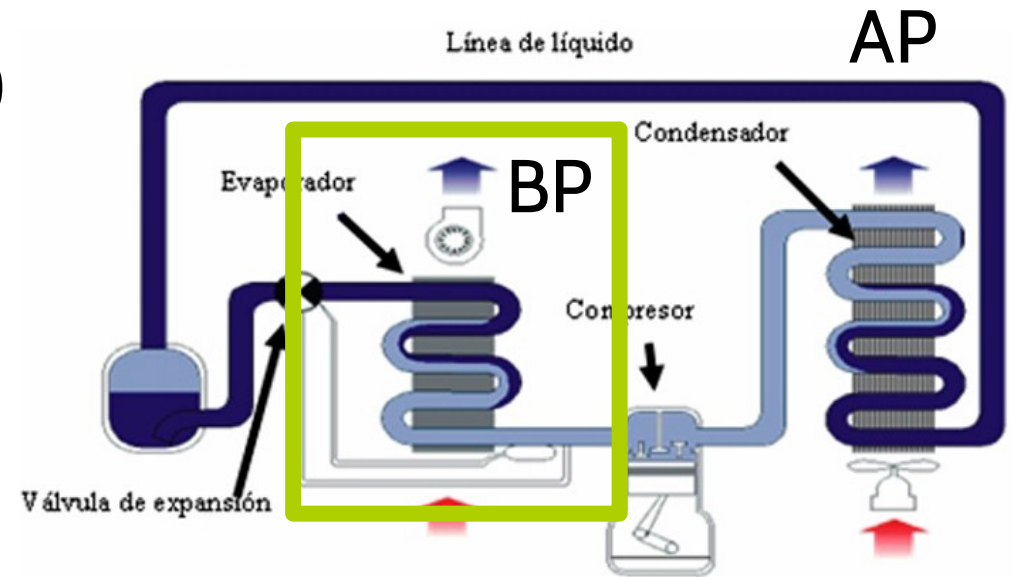
- Si entrego trabajo, es posible transferir calor de la fuente fría a la caliente
- **Heladera:** es una “bomba de calor” que extrae calor de una fuente fría para cederlo a otro a una temperatura mayor, impulsada por un motor externo, usualmente eléctrico



# Funcionamiento: refrigeración por compresión:

Líquido refrigerante: bajo punto de vaporización (típicamente  $-40^{\circ}\text{C}$ )

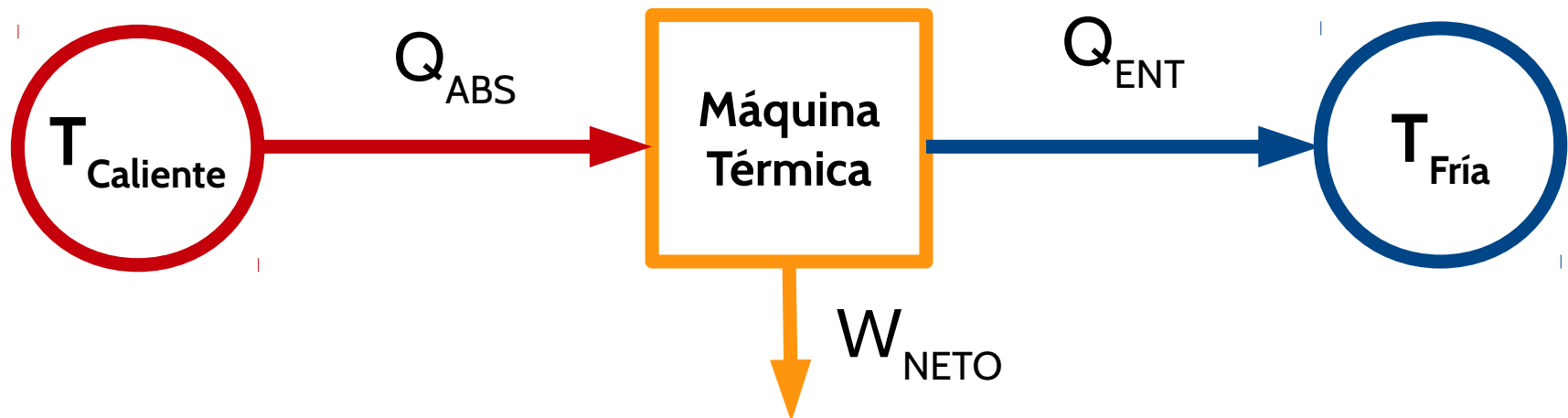
- 1) **Compresor**: el gas se comprime ( $W_{\text{NETO}}$ ) en forma adiabática y, en principio, reversible. Alta Presión (AP)
- 2) **Condensador**: se licúa e intercambia calor con la fuente caliente (Aire,  $Q_{\text{ENT}}$ ). Cambio de estado: calor latente, proceso isotérmico (AP)
- 3) **Válvula de expansión**: descompresión adiabática  $\rightarrow$  enfriamiento del líquido a baja presión (BP)
- 4) **Evaporador**: el líquido frío absorbe calor de la fuente fría (heladera,  $Q_{\text{ABS}}$ ) y se vaporiza: calor latente, proceso isotérmico (BP)
- Se reinicia el ciclo en el compresor





# 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



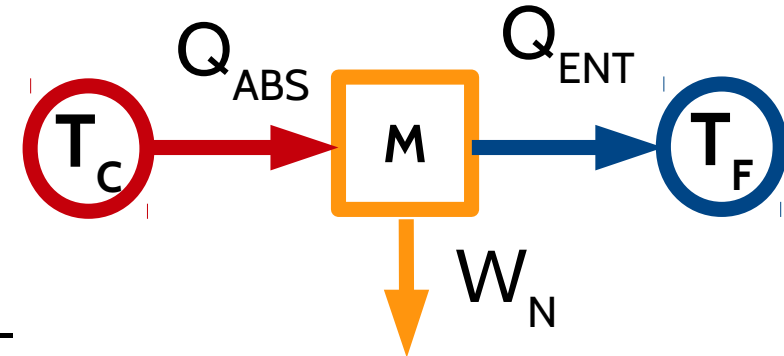
Abr

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

# ¿Por qué no puede ser 1?

- Hemos dicho

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



- Para que el rendimiento sea 1 debería pasar que  $Q_{\text{ENT}}=0$
- **Esto implicaría una conversión total del calor entregado por la fuente caliente en trabajo ← Esto no es posible**

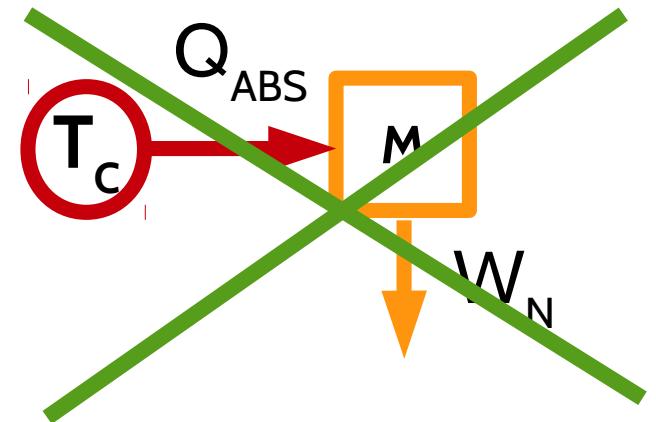
# Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Kelvin-Planck (K-P)**

*No es posible construir una máquina térmica que, operando en forma cíclica, produzca como único efecto la absorción de calor procedente de un foco y la realización de una cantidad equivalente de trabajo.*

- Expresa un hecho empírico, y va por la negativa: nos dice lo que no es posible hacer
- El rendimiento de una máquina térmica siempre será menor que 1

$$\eta < 1$$



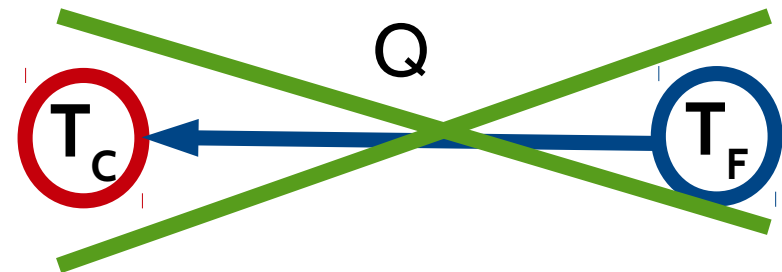
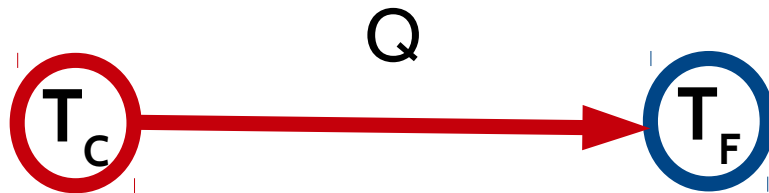


# Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Clausius**

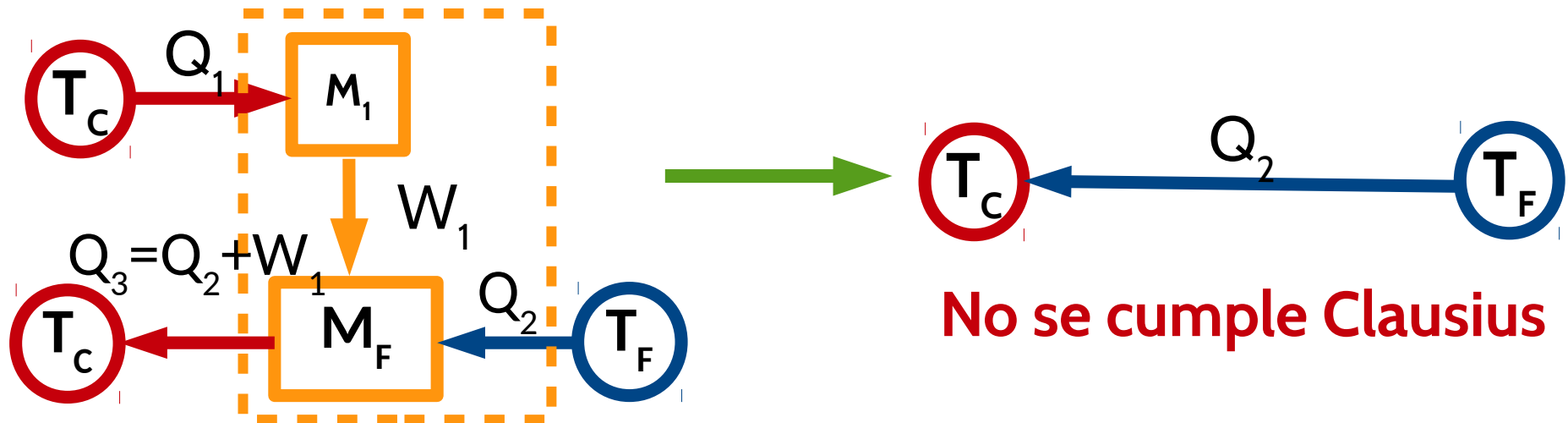
*No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente.*

- Al igual que K-P, también expresa un hecho empírico, y también va por la negativa



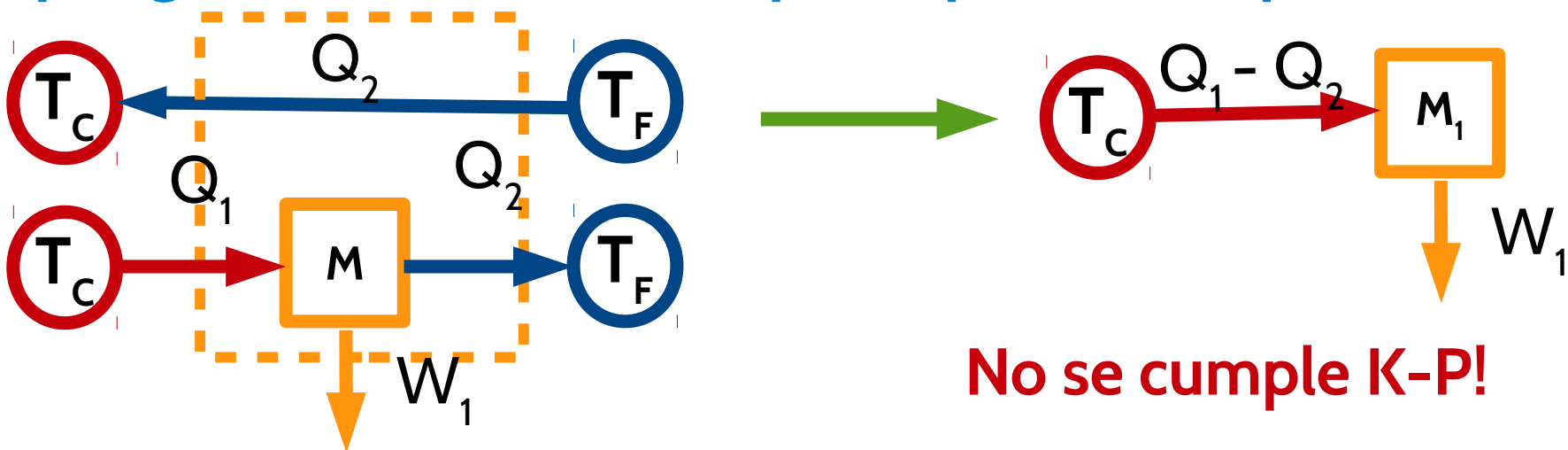
- Establece un sentido para el flujo espontáneo de calor de los focos calientes a los focos fríos y no al revés

- Ambos enunciados son equivalentes:  
Supongamos existe una máquina que no cumple K-P:



- Dado que, por el 1<sup>er</sup> ppio,  $W_1 = Q_1 \rightarrow Q_3 = Q_1 + Q_2$ .
- y puesto que la fuente caliente entrega  $Q_1$  y recibe  $Q_3$ , hay una transferencia neta y espontánea  $Q_2$  de  $T_F$  a  $T_C$

- Ambos enunciados son equivalentes:
- Tengo una máquina térmica normal operando, y supongamos existe una máquina que no cumple Clausius:

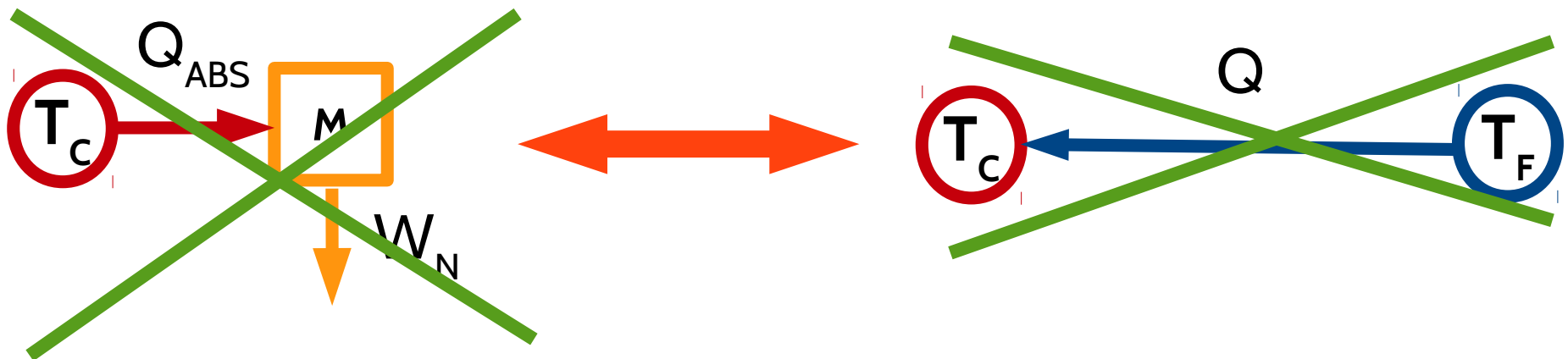


- Por el 1<sup>er</sup> ppio,  $W_1 = Q_1 - Q_2$
- puesto que  $Q_2$  vuelve a la fuente caliente, esta entrega una cantidad de calor  $(Q_1 - Q_2)$  en forma de trabajo  $W_1$ .



# Equivalencia

- Hemos visto que el no cumplimiento de un enunciado implica el no cumplimiento del otro enunciado →  
**Ambos enunciados del 2º principio son equivalentes**

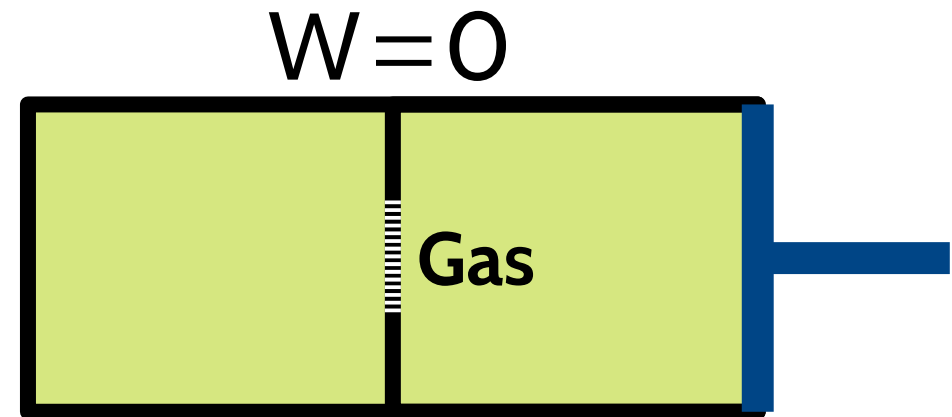




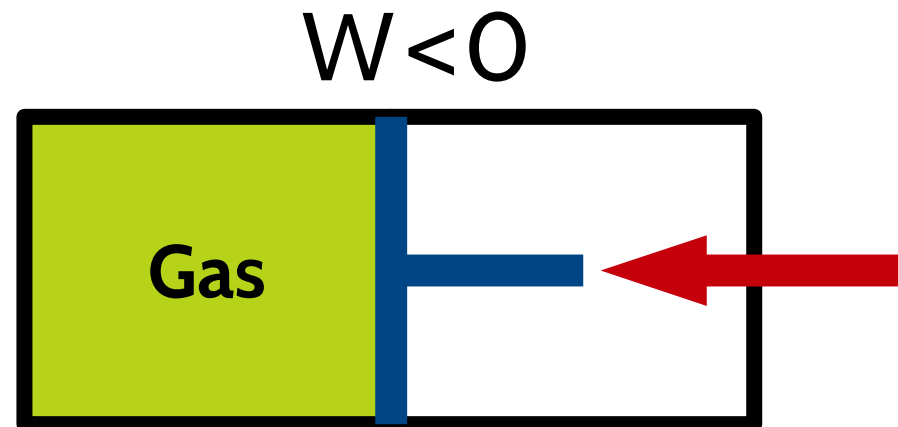
# Reversibilidad, otra vez

- *Podemos transformar íntegramente el trabajo en calor (estufa), pero no íntegramente el calor en trabajo (K-P)*
- **Proceso reversible →**
  - La transformación puede ocurrir en los dos sentidos de forma que el estado final del sistema y del entorno sea exactamente igual al inicial (sin huellas); ó
  - Aquel cuyo sentido puede invertirse por un cambio en las condiciones de fondo
- **Proceso irreversible → no hay camino inverso.**
- **Todos los procesos reales son irreversibles:**  
**¡¡si hay  $\Delta T$ , entonces hay irreversibilidad!!**

# Proceso irreversible



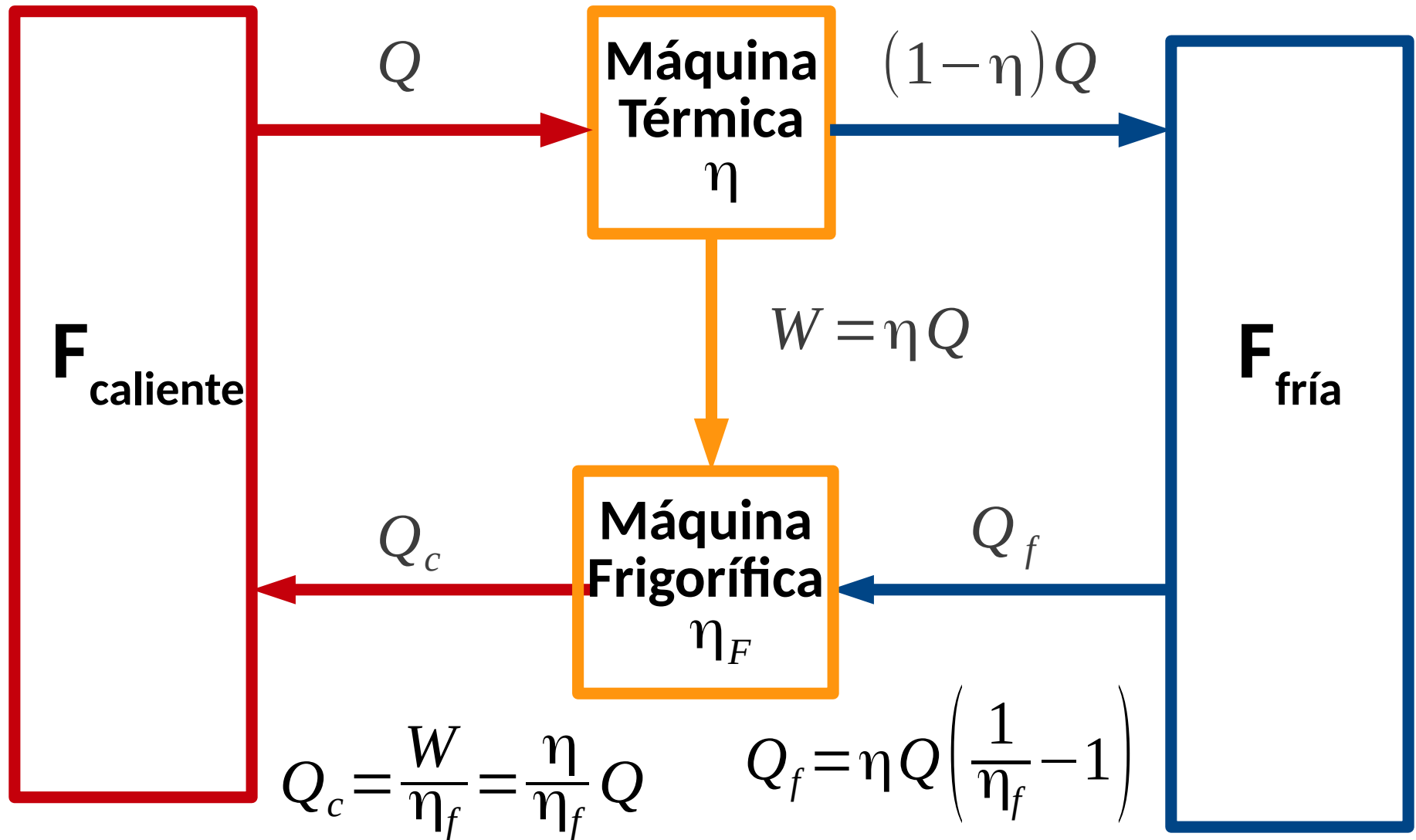
El proceso es irreversible porque el entorno cambió: realizó un trabajo sobre el medio



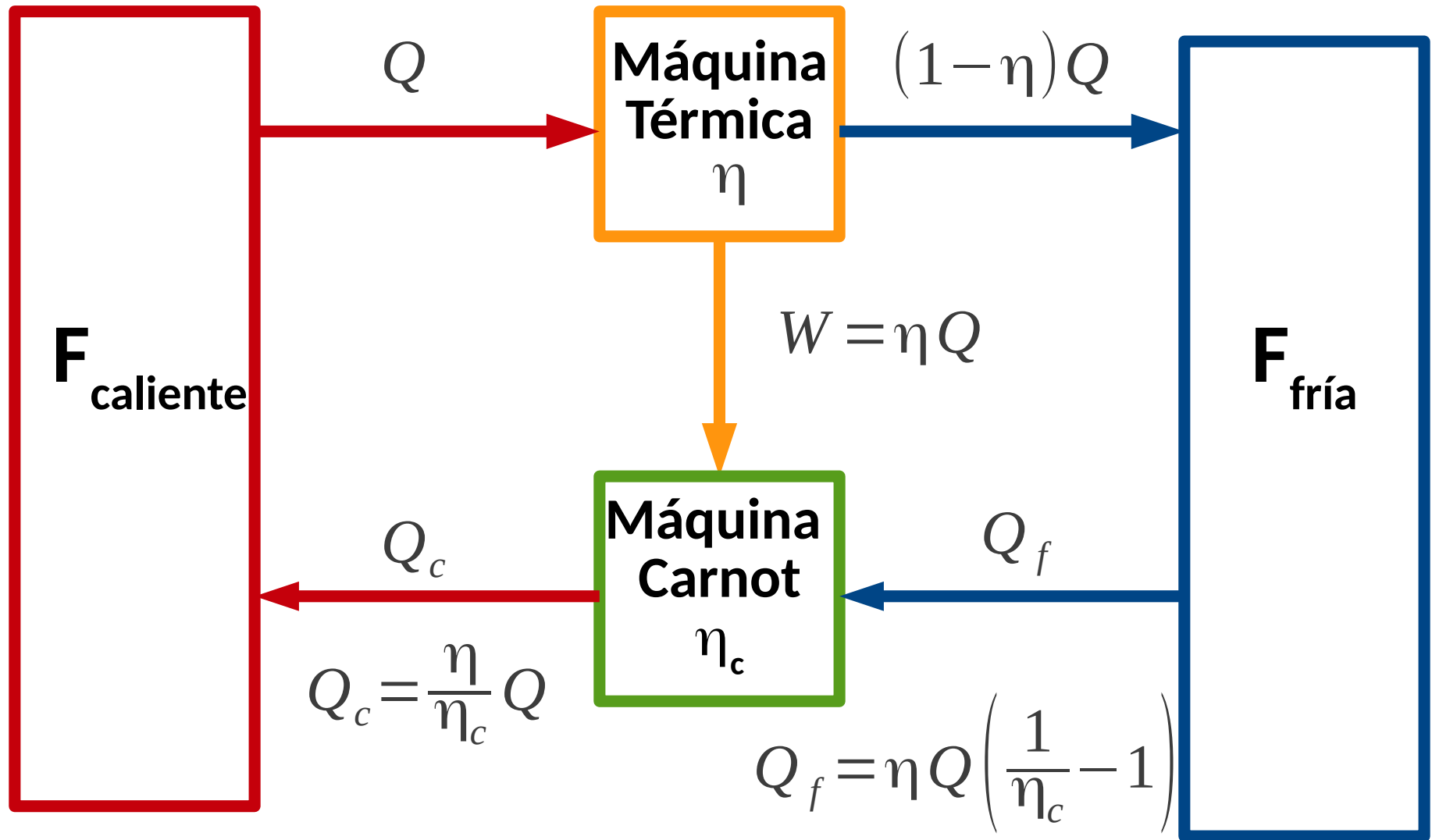


- **Interna:** procesos internos fuera de equilibrio → el sistema no está en un estado termodinámico definido
  - Mecánica: conversión de trabajo en calor (p. ej., viscosidad)
  - Térmica: transferencias de calor en el sistema
  - Químico-físicas: reacciones, mezclas, disoluciones, ...
  - ....
- **Externa:** la interacción con el medio es irreversible
  - Mecánica: el rozamiento es irreversible (si no, viola K-P)
  - Térmica: transferencias de calor con el medio
  - ....

# Máquina reversible e irreversible



# Teorema de Carnot



# Carnot y el segundo principio

- En la fuente caliente:

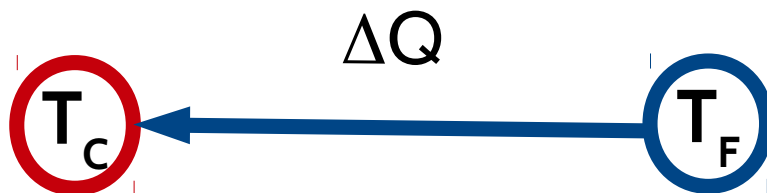
- Sale:  $Q$   $\longrightarrow \Delta Q_c = Q \left( \frac{\eta}{\eta_c} - 1 \right)$

- Entra:  $Q_c = \frac{\eta}{\eta_c} Q$

- En la fuente fría

- Sale:  $Q_f = \eta Q \left( \frac{1}{\eta_c} - 1 \right)$

- Entra:  $Q(1 - \eta)$   $\longrightarrow \Delta Q_f = -Q \left( \frac{\eta}{\eta_c} - 1 \right)$



**Si  $\eta > \eta_c \rightarrow$  No se cumple Clausius**



- Si  $\eta = \eta_c \rightarrow$  El motor combina funciona sin ningún efecto, pero la máquina térmica tiene disipación

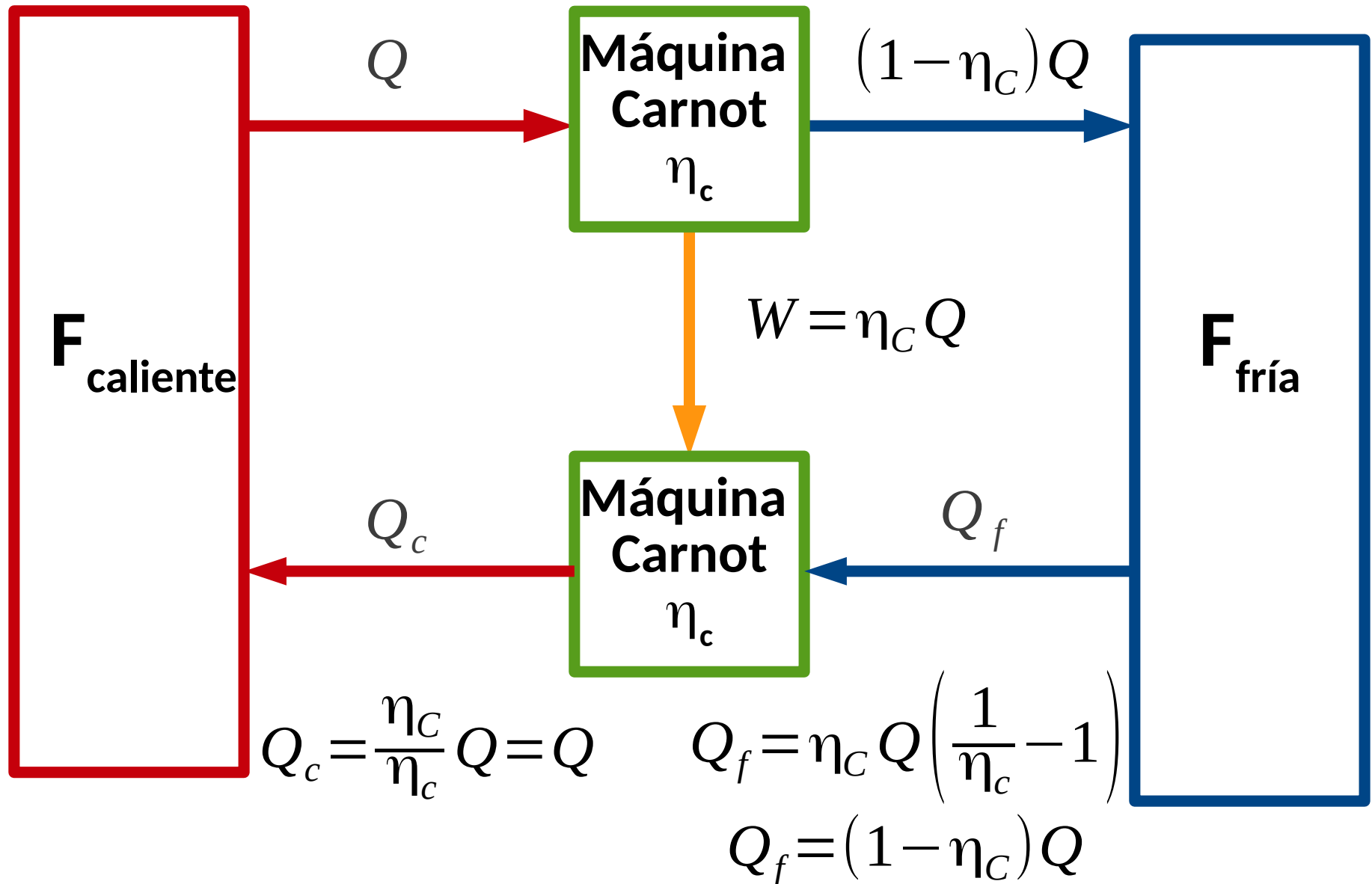
## Violación del Primer Principio

- Si  $\eta > \eta_c \rightarrow$  Transferencia neta de calor de la fuente fría a la fuente caliente, sin trabajo externo

## Violación del Segundo Principio

- $\rightarrow \eta < \eta_c$ : Una máquina térmica tendrá menor rendimiento que una máquina de Carnot funcionando entre las mismas temperaturas

# ¿Qué pasa si usamos dos máquinas de Carnot?



- Si  $\eta = \eta_c \rightarrow$  El motor combina funciona sin ningún efecto, pero la máquina térmica tiene disipación

## Violación del Primer Principio

- Si  $\eta > \eta_c \rightarrow$  Transferencia neta de calor de la fuente fría a la fuente caliente, sin trabajo externo

## Violación del Segundo Principio

- El uso de dos máquinas de Carnot implica un flujo neto nulo de calor entre fuentes a distintas temperaturas

## Violación del Principio Cero

# Enunciados del segundo principio

- **Clausius** → *No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente*
- **Kelvin-Planck** → *No es posible construir una máquina térmica que, operando en forma cíclica, produzca como único efecto la absorción de calor procedente de un foco y la realización de una cantidad equivalente de trabajo*
- **Carnot** → *El rendimiento de una máquina térmica no puede ser superior que el de una máquina reversible que opere entre los mismos focos. Será igual sí y sólo sí esa máquina es también reversible*