

# Universidad Nacional de Río Negro

## Física III B – 2020

- **Unidad** 03
- **Clase** U03C01 / 14
- **Fecha** 05 May 2020
- **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

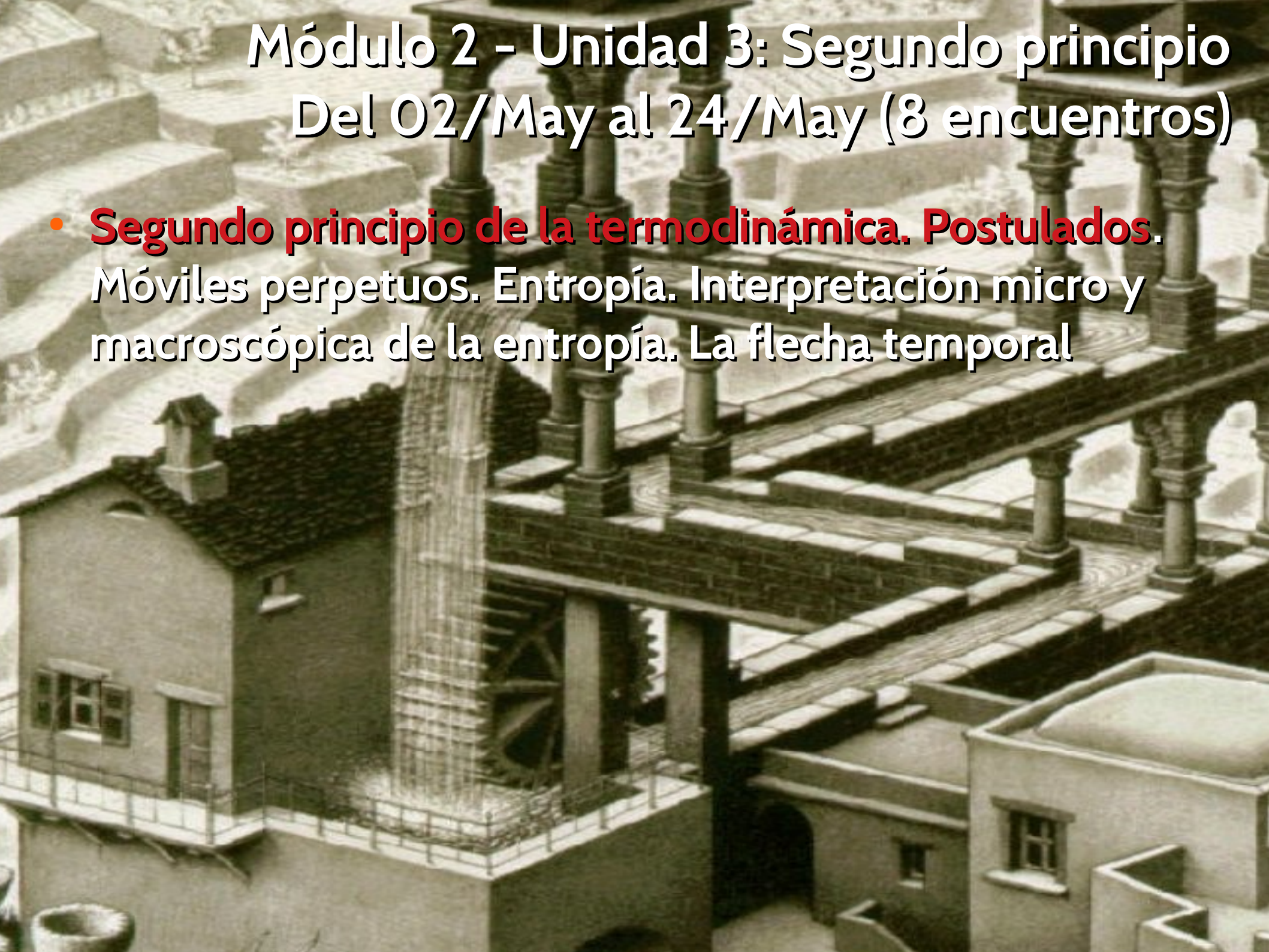
*Nada es gratis*



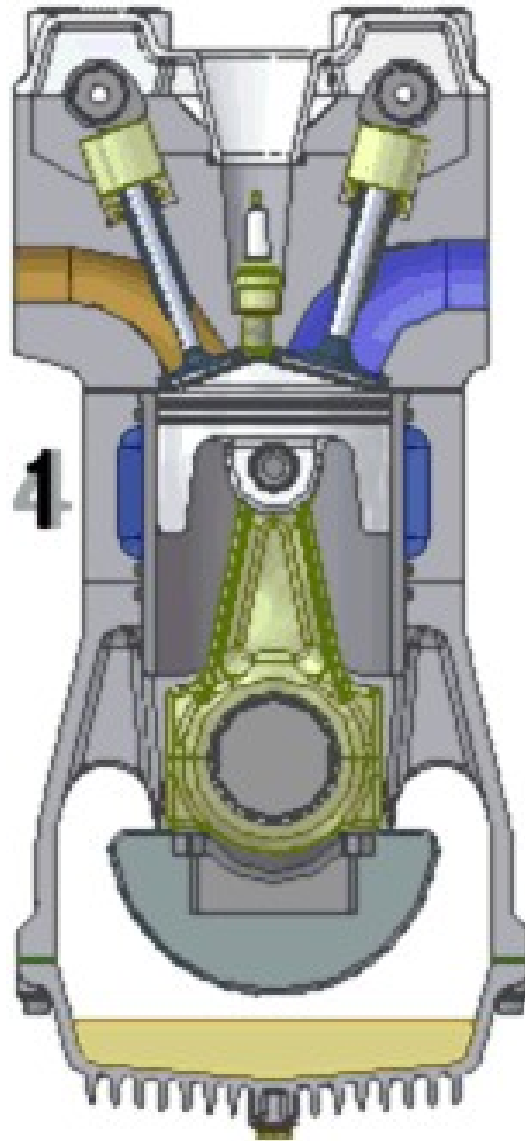
# Módulo 2 - Unidad 3: Segundo principio

## 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



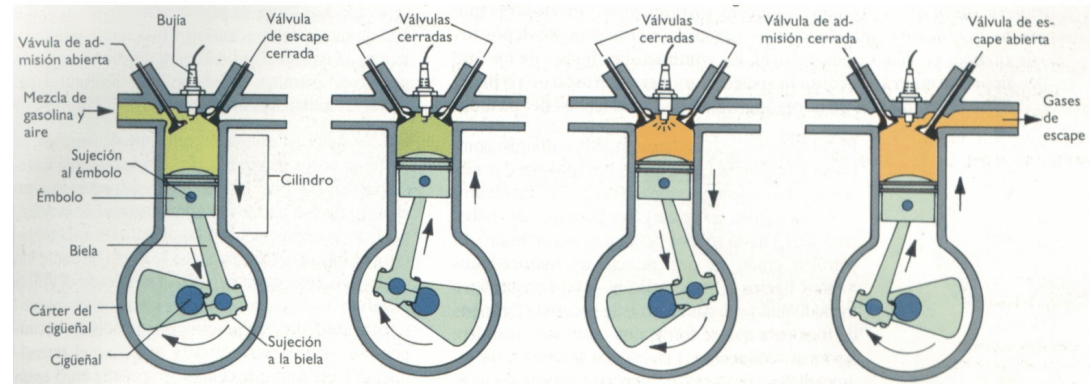
# Ciclo Otto





# Ciclo Otto, combustión isócora

## FASES DE UN MOTOR DE 4 TIEMPOS



### ADMISIÓN

Pistón baja y entra combustible por la válvula de admisión  
El cigüeñal da  $\frac{1}{2}$  revolución

### COMPRESIÓN

Pistón sube y el combustible y el aire se comprimen. Las válvulas están cerradas  
El cigüeñal da  $\frac{1}{2}$  revolución

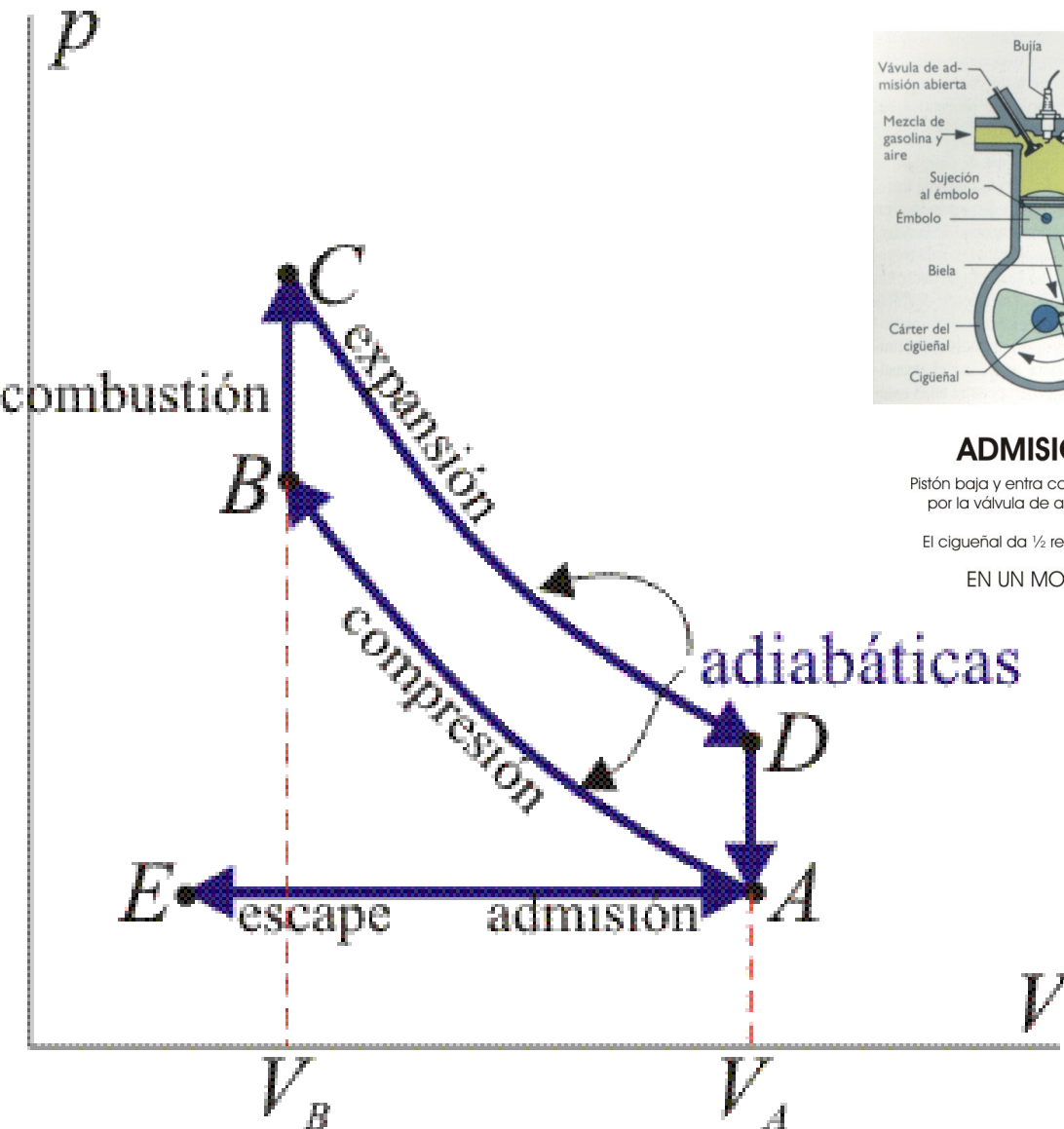
### EXPLOSIÓN

La mezcla del combustible y de aire explota. Como las válvulas están cerradas el pistón baja. Potencia  
El cigüeñal da  $\frac{1}{2}$  revolución

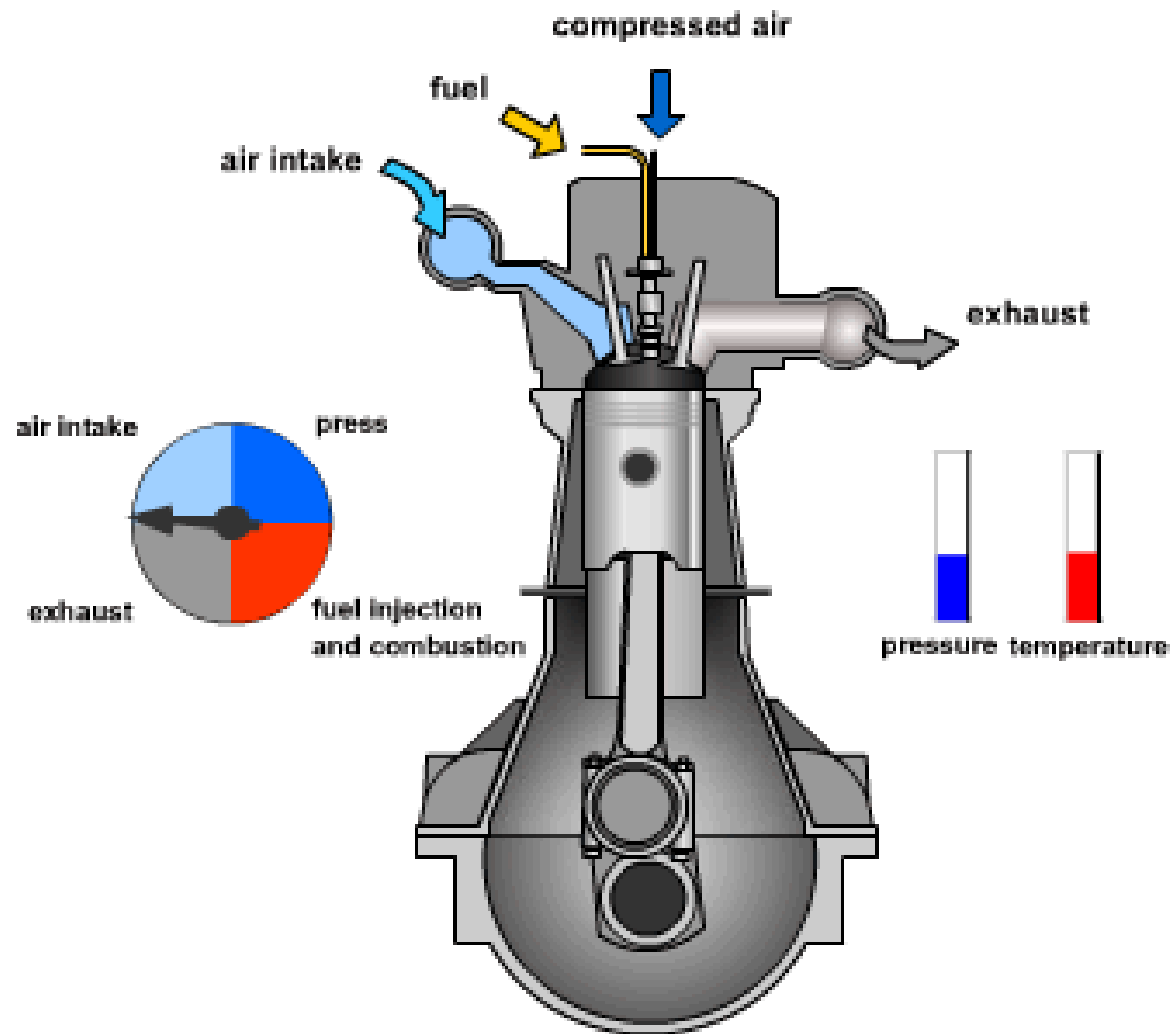
### ESCAPE

Pistón sube y expulsa los gases quemados por la válvula de escape  
El cigüeñal da  $\frac{1}{2}$  revolución

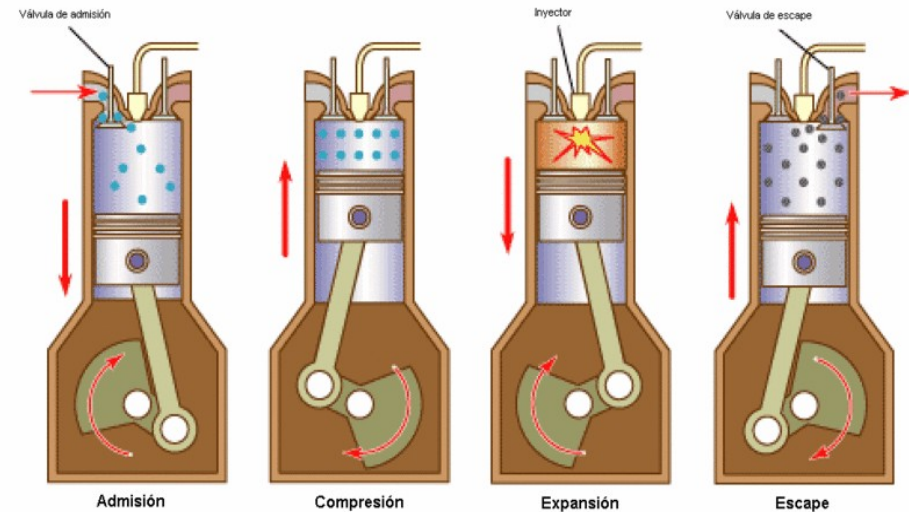
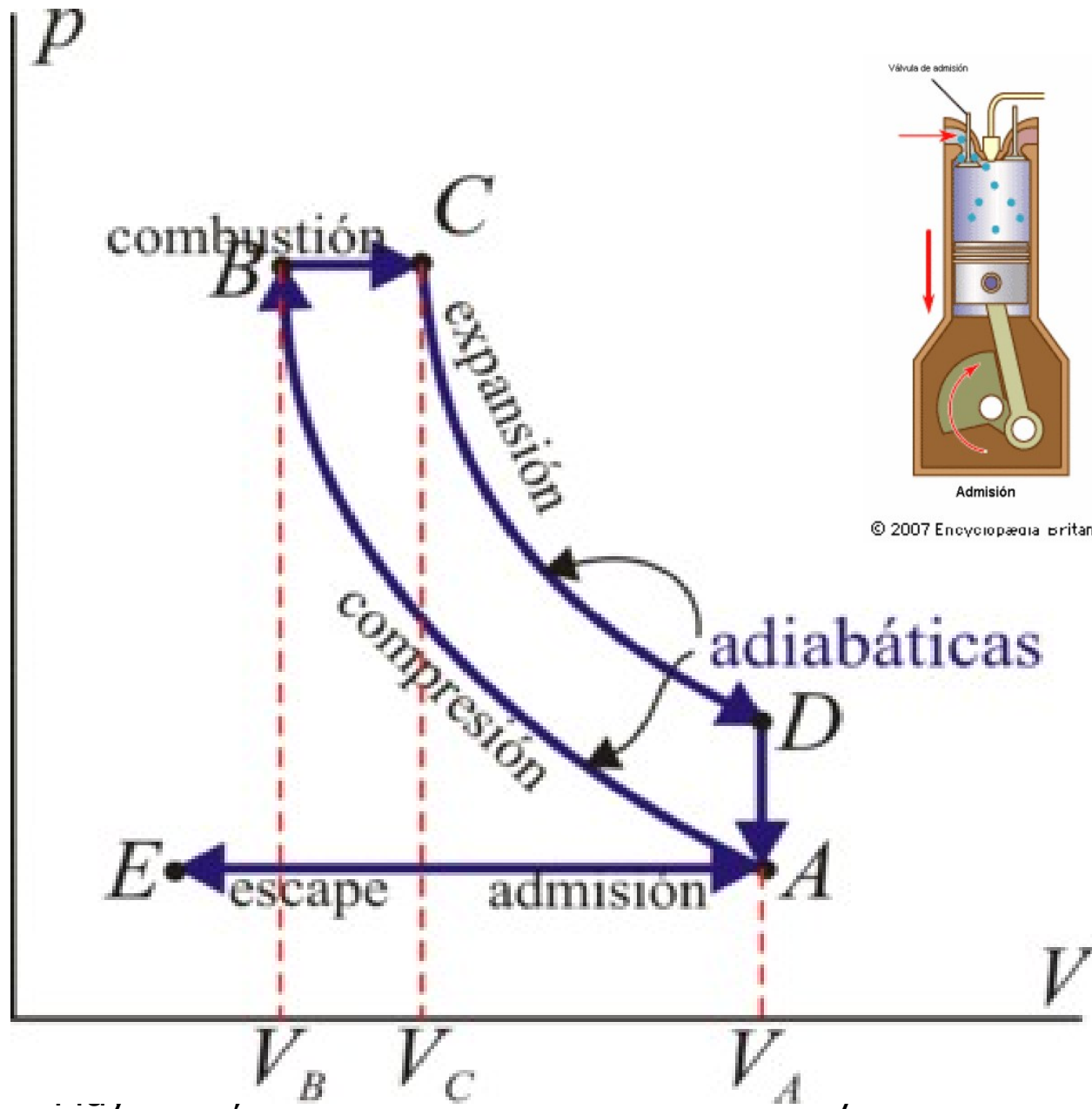
EN UN MOTOR DE 4 T SE PRODUCE UNA EXPLOSIÓN (FASE POTENTE) CADA 2 REVOLUCIONES



# Ciclo Diesel

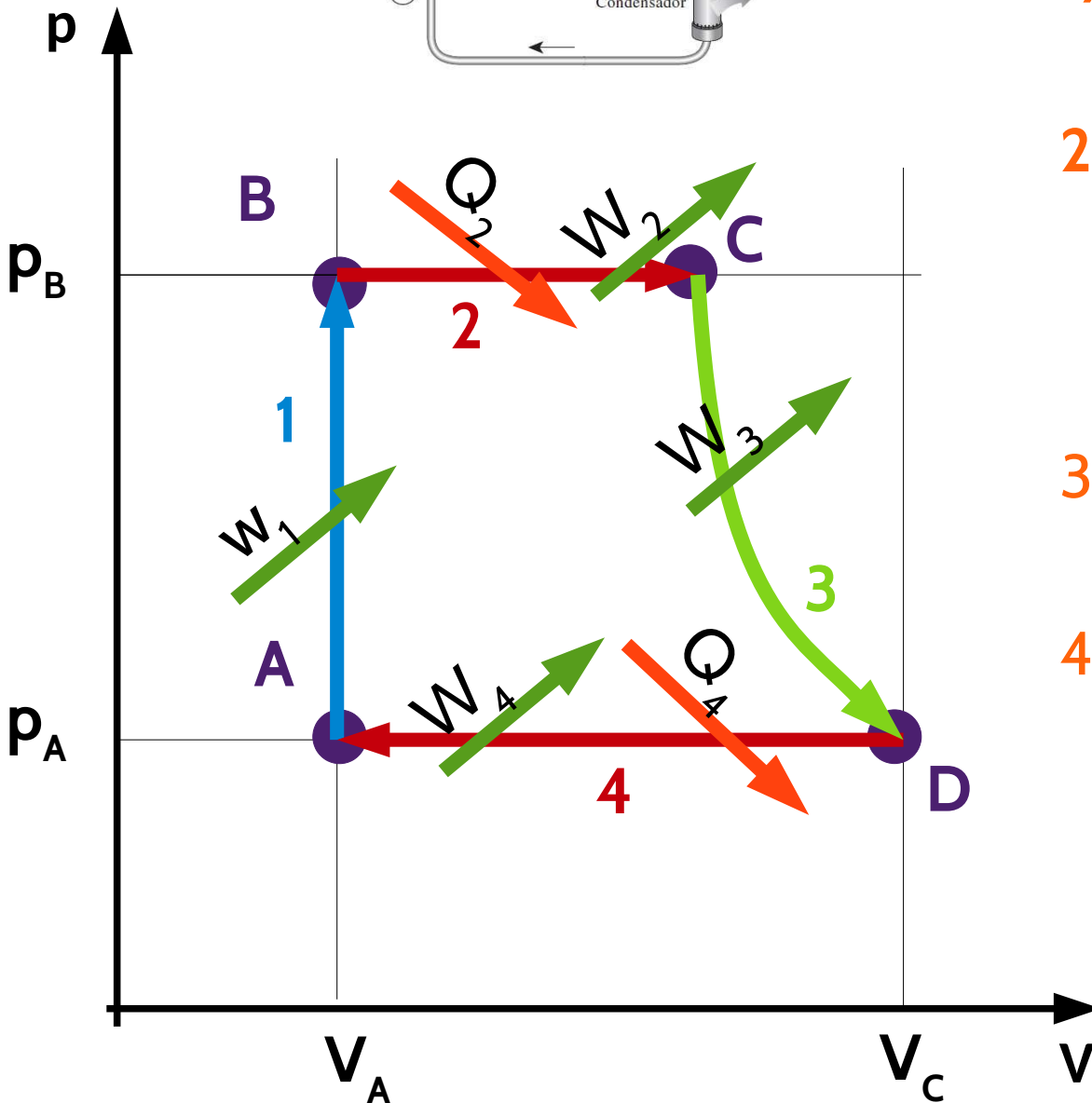
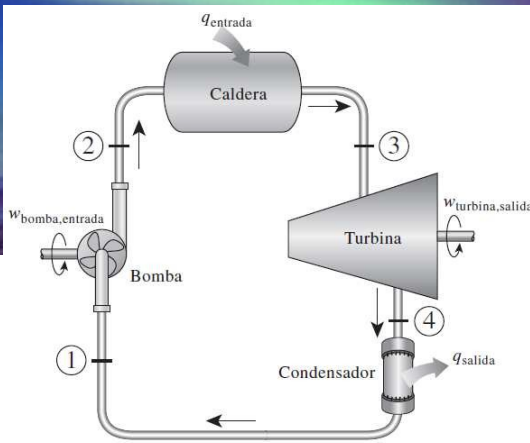


# Ciclo Diésel o ciclo de combustión isóbara



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

# Ciclo de Rankine

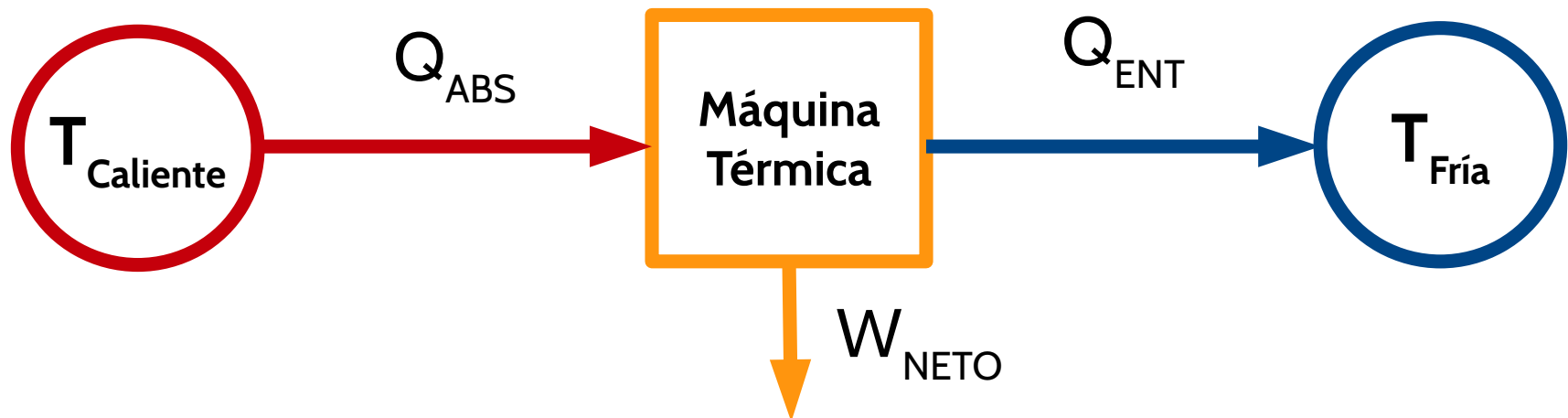


- 1) **bomba**: compresión de agua líquida
- 2) **caldera**: calentamiento y vaporización del agua líquida. Calentamiento isobárico del vapor
- 3) **turbina**: expansión adiabática del vapor hasta la presión inicial;
- 4) **condensador**: enfriamiento y condensación isobárica del vapor. Enfriamiento del agua líquida hasta la temperatura inicial



# 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



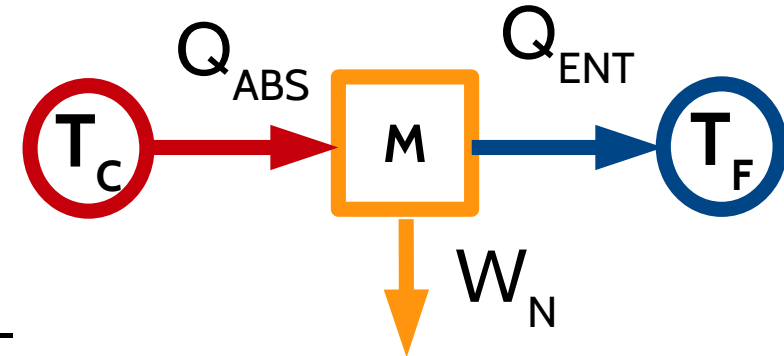
$$\eta = \frac{W_{\text{NETO}}}{Q_{\text{ABS}}} = \frac{Q_{\text{ABS}} - Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} = 1 - \frac{Q_{\text{ENT}}}{Q_{\text{ABS}}} \leq 1 - \frac{T_{\text{Fría}}}{T_{\text{Caliente}}}$$

May

# ¿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**

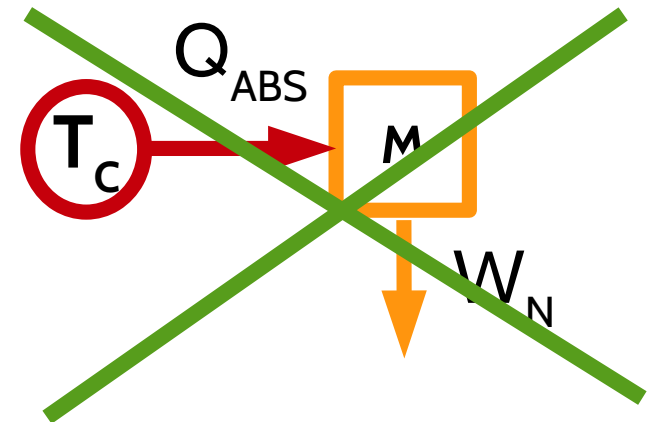
# Segundo principio de la termodinámica

- **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

$$\eta < 1$$



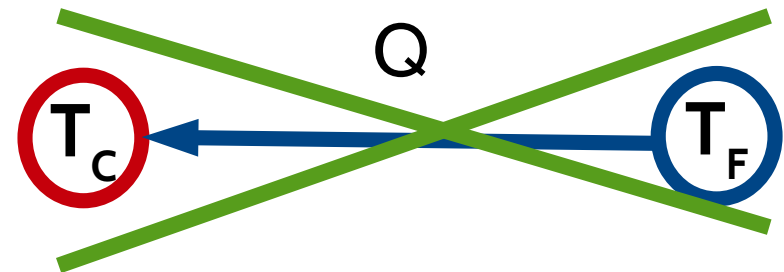
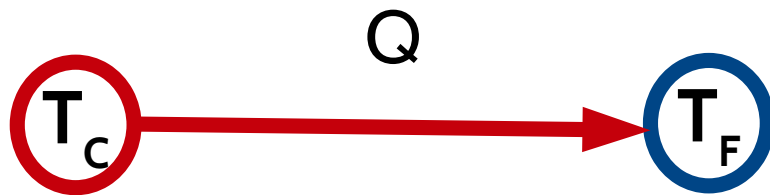


# Segundo principio de la termodinámica

- **Enunciado de Clausius**

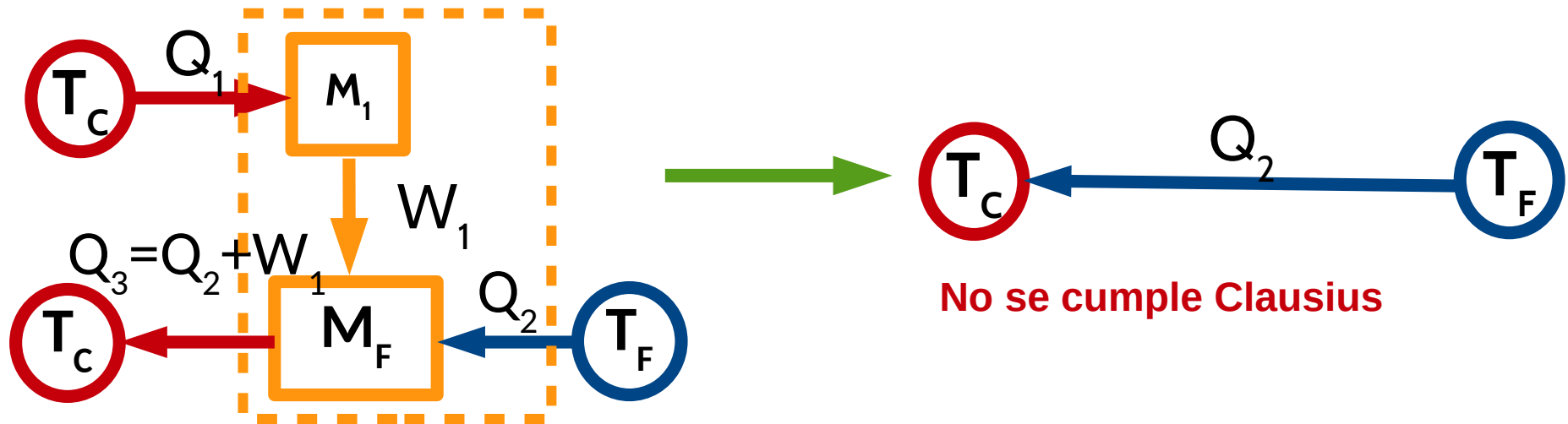
*No es posible un proceso que tenga como único resultado la transferencia de calor de un cuerpo hacia otro más caliente.*

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



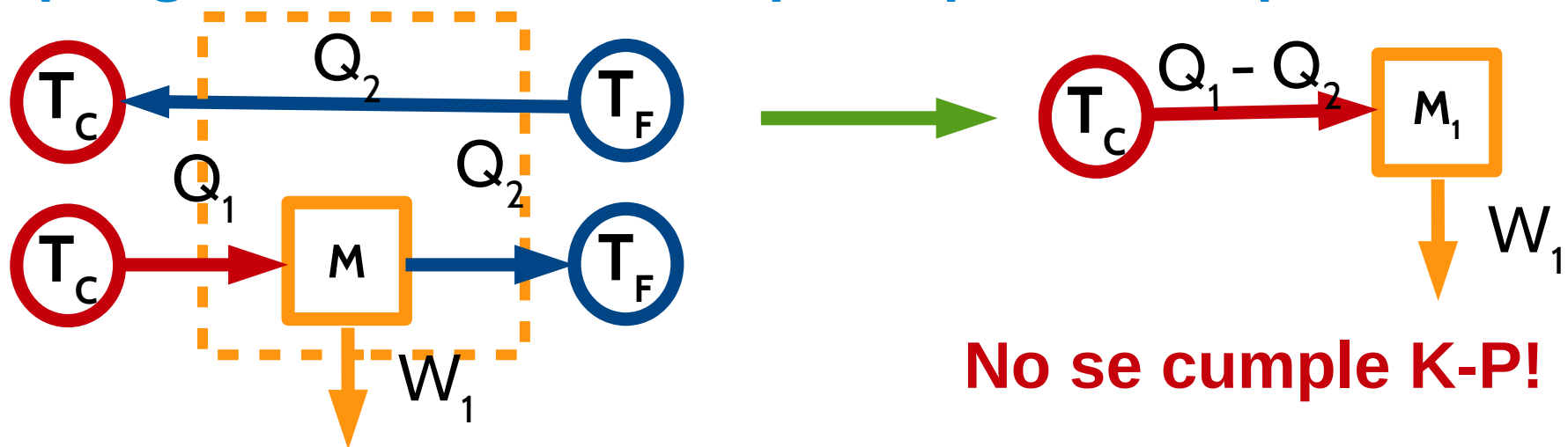
- Establece un sentido para el flujo espontáneo de calor de los focos calientes a los focos fríos y no al revés

- 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:

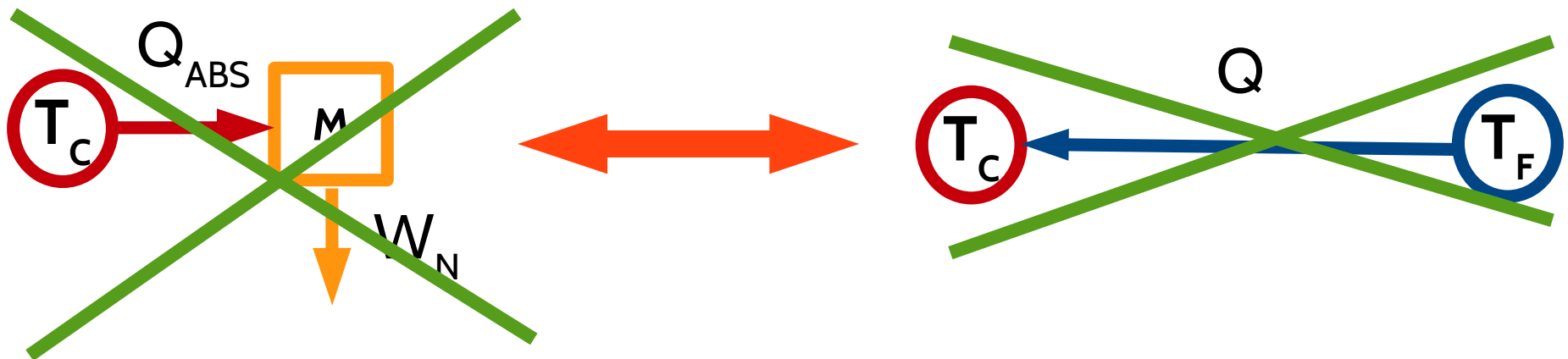


- Por el 1<sup>er</sup> ppio,  $W_1 = Q_1 - Q_2$
- puesto que  $Q_2$  vuelve a la fuente caliente, esta entrega una cantidad de calor  $(Q_1 - Q_2)$  en forma de trabajo  $W_1$ .



# Equivalencia

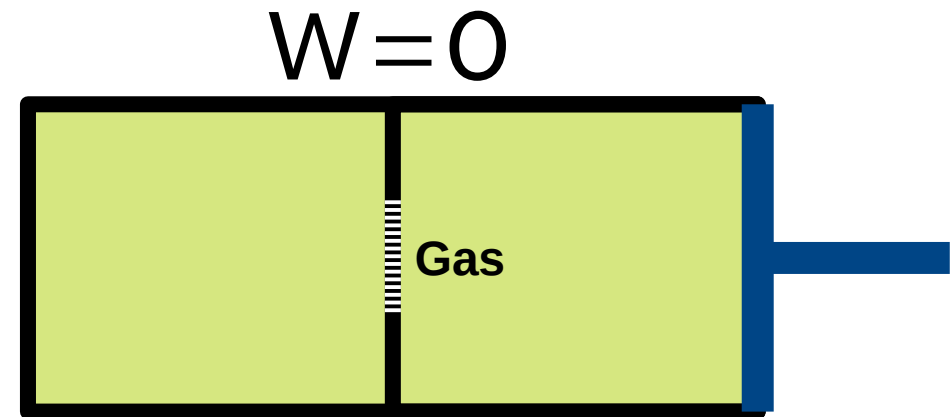
- Hemos visto que el no cumplimiento de un enunciado implica el no cumplimiento del otro enunciado →  
**Ambos enunciados del 2º principio son equivalentes**



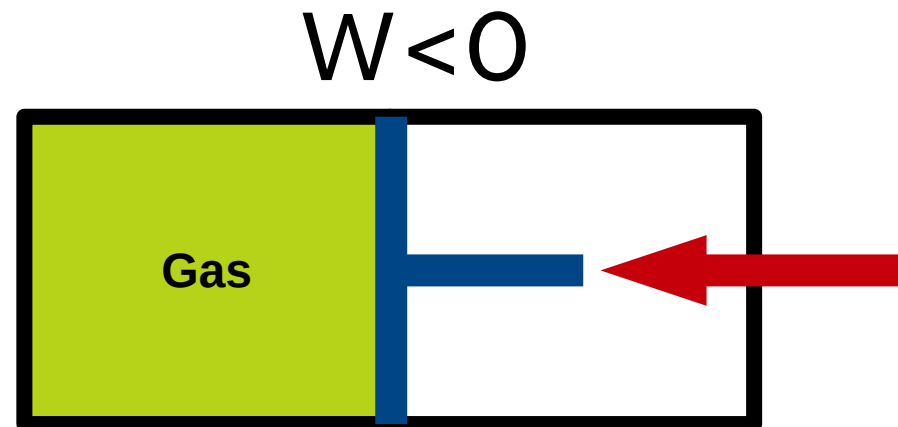
# Reversibilidad, otra vez

- *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



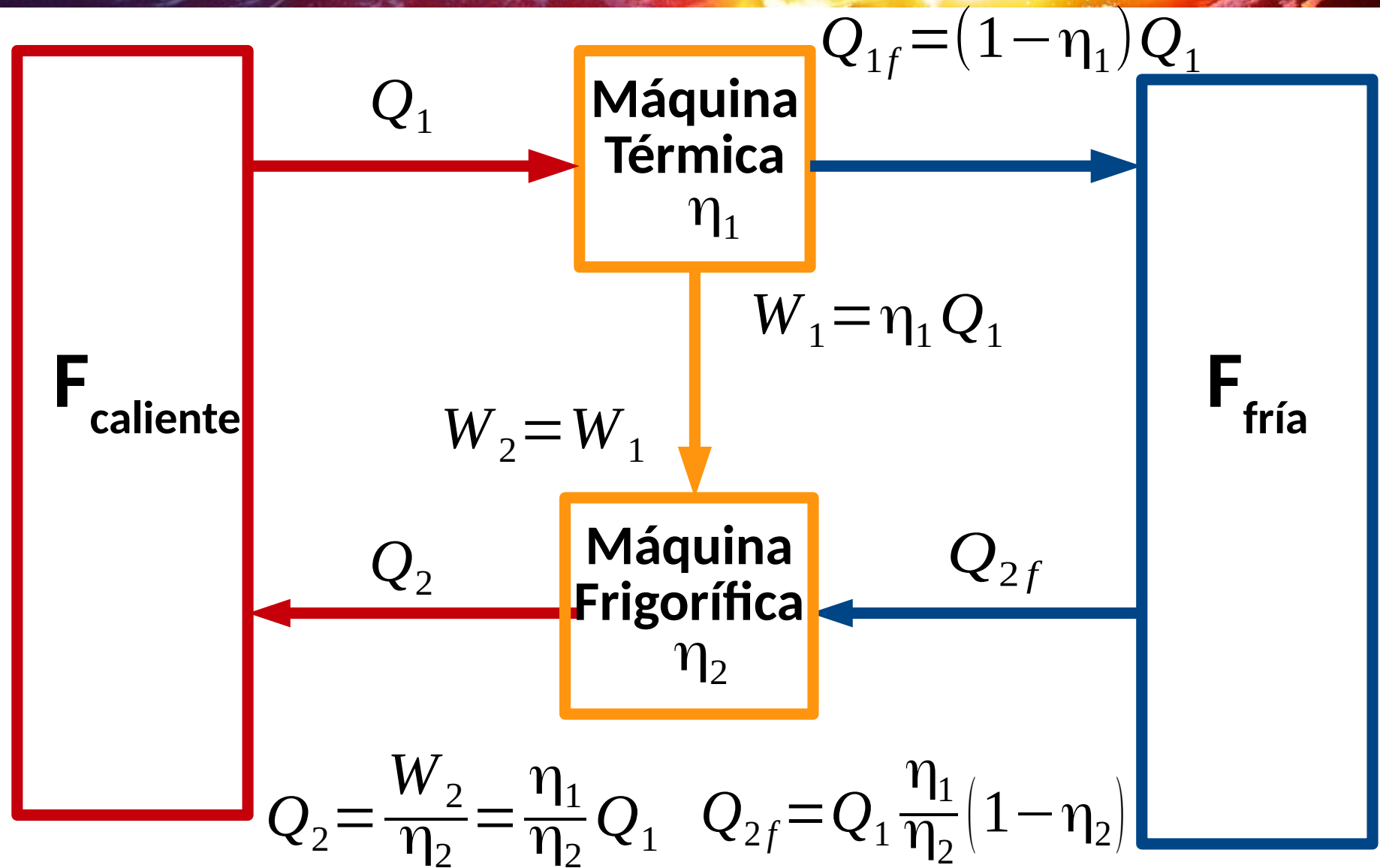
El proceso es irreversible  
porque el entorno cambió:  
realizó un trabajo sobre el  
sistema



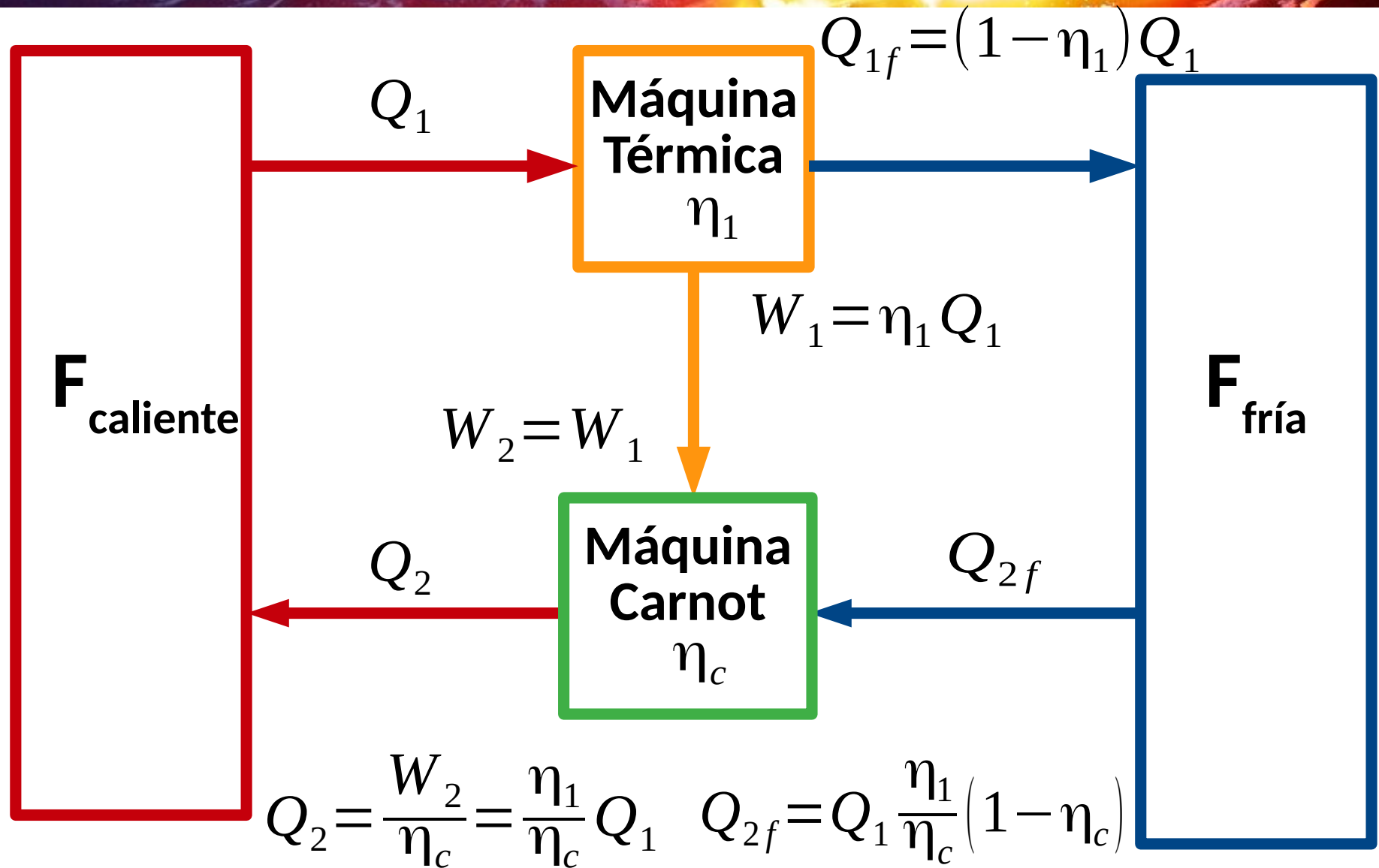


- **Interna:** procesos internos fuera de equilibrio → el sistema no está en un estado termodinámico definido
  - Mecánica: conversión de trabajo en calor (p. ej., viscosidad)
  - Térmica: transferencias de calor en el sistema
  - Químico-físicas: reacciones, mezclas, disoluciones, ...
  - ....
- **Externa:** 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



# Máquina reversible e irreversible





# Carnot y el segundo principio

- En la fuente caliente:

- Sale:  $Q_1$
- Entra:  $Q_2 = \frac{\eta_1}{\eta_c} Q_1$

lo que sale menos lo que entra  
 $\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 - Q_2 = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c}\right)$

- En la fuente fría

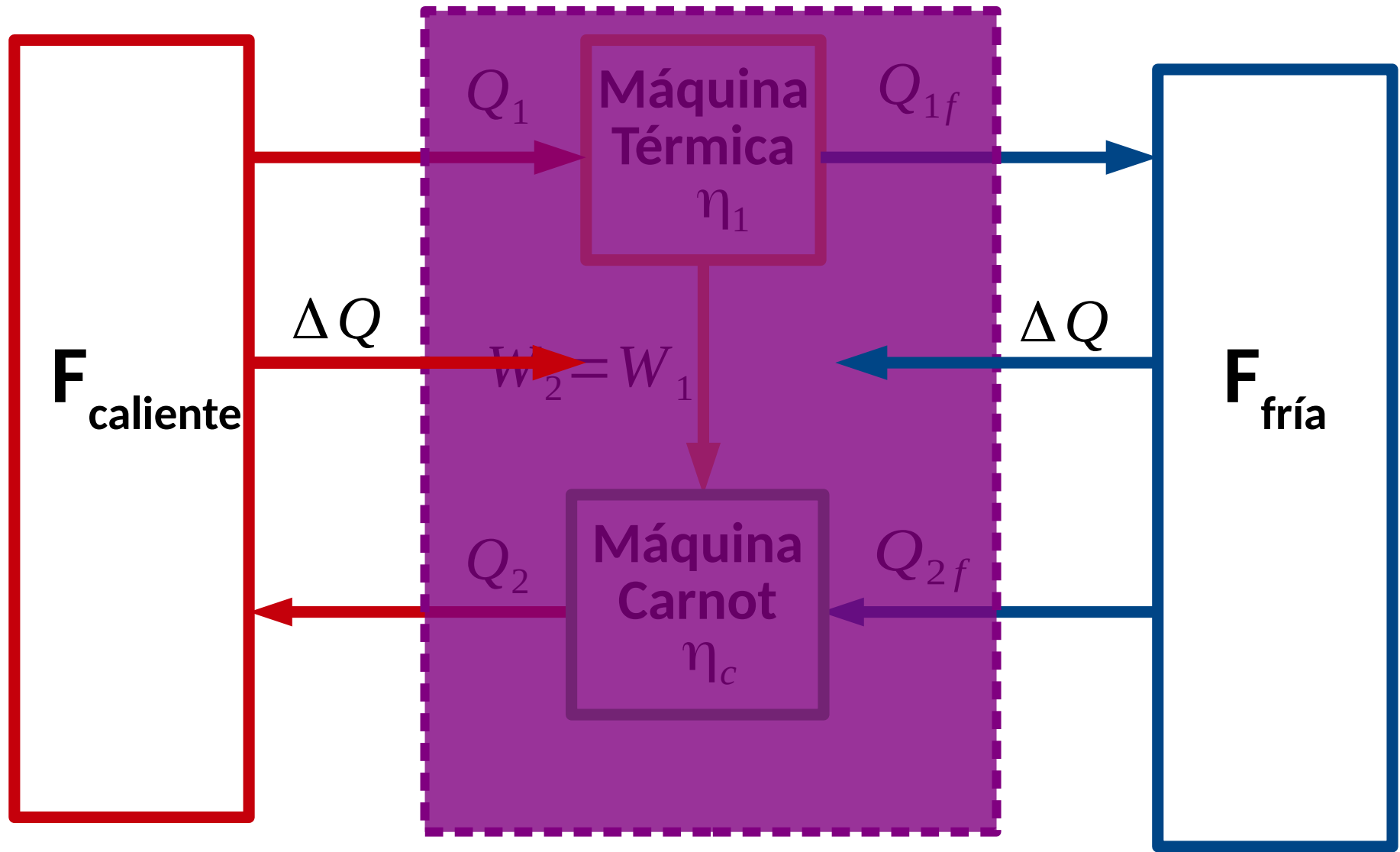
- Sale:  $Q_{2f} = Q_1 \frac{\eta_1}{\eta_c} (1 - \eta_c)$
- Entra:  $Q_{1f} = Q_1 (1 - \eta_1)$

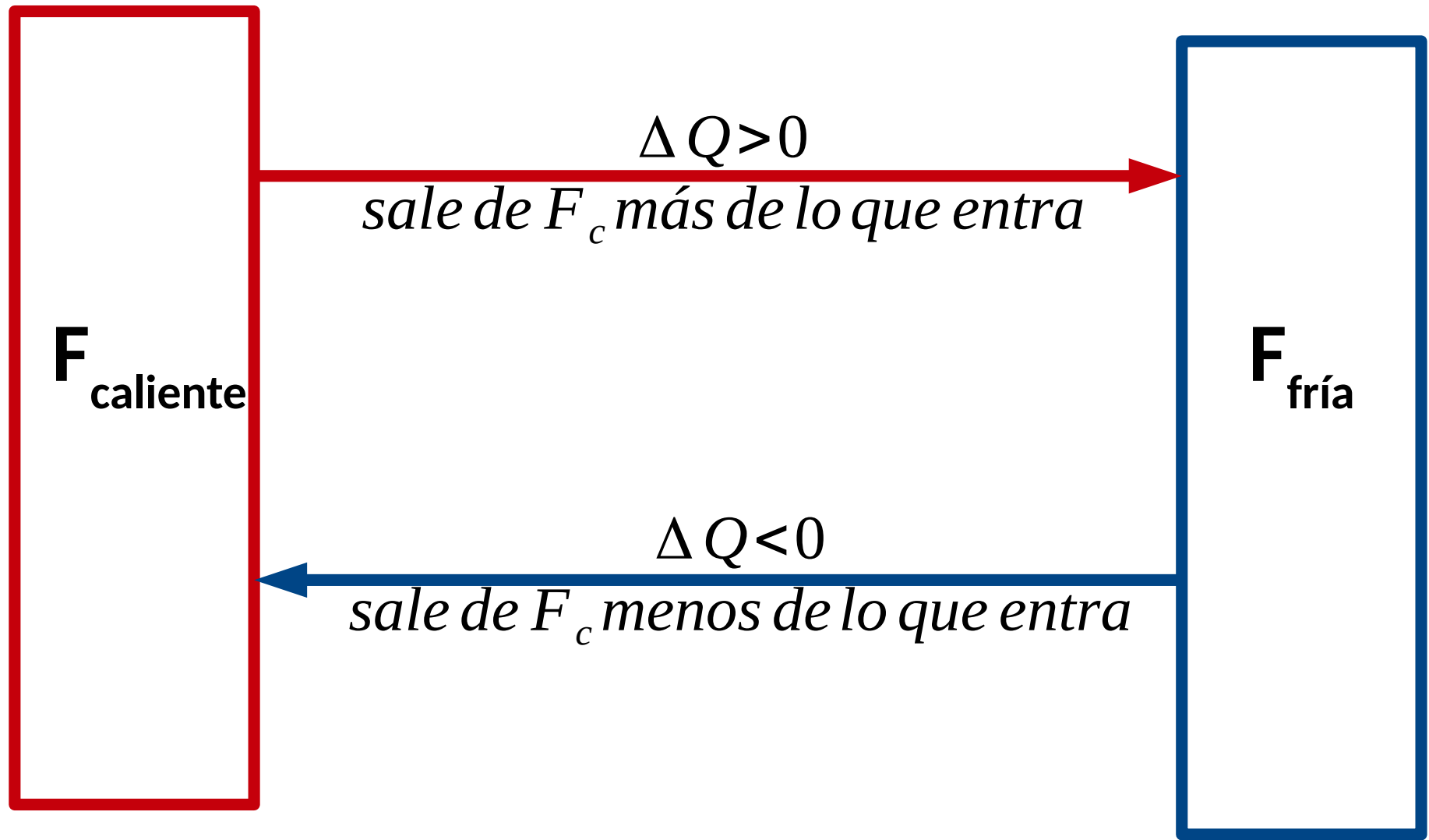
lo que entra menos lo que sale  
 $\rightarrow \Delta Q_f = Q_{1f} - Q_{2f} = Q_1 \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_c}\right)$

$$\rightarrow \Delta Q_f = \Delta Q_c \equiv \Delta Q$$

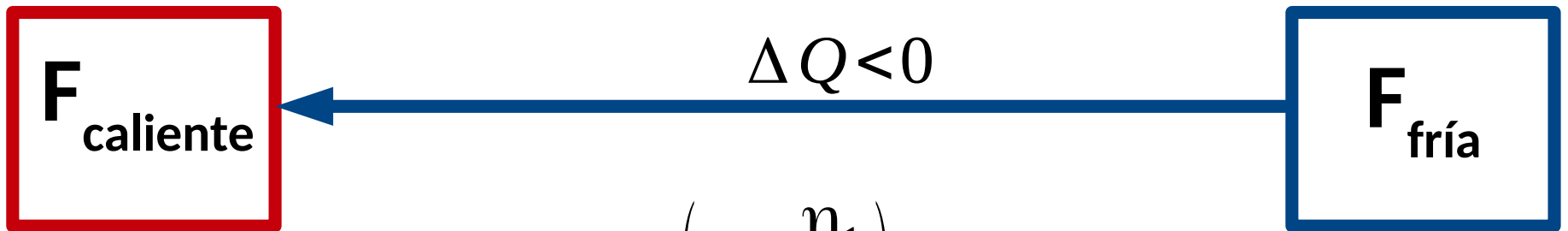
**Balance de energía en cada fuente**

# Entendiendo $\Delta Q$

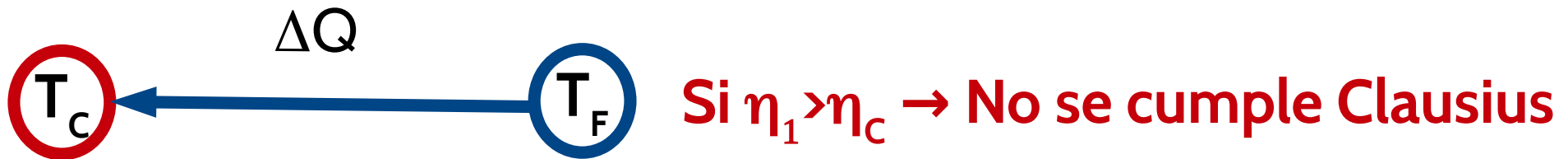




Si  $\Delta Q$  es negativo....



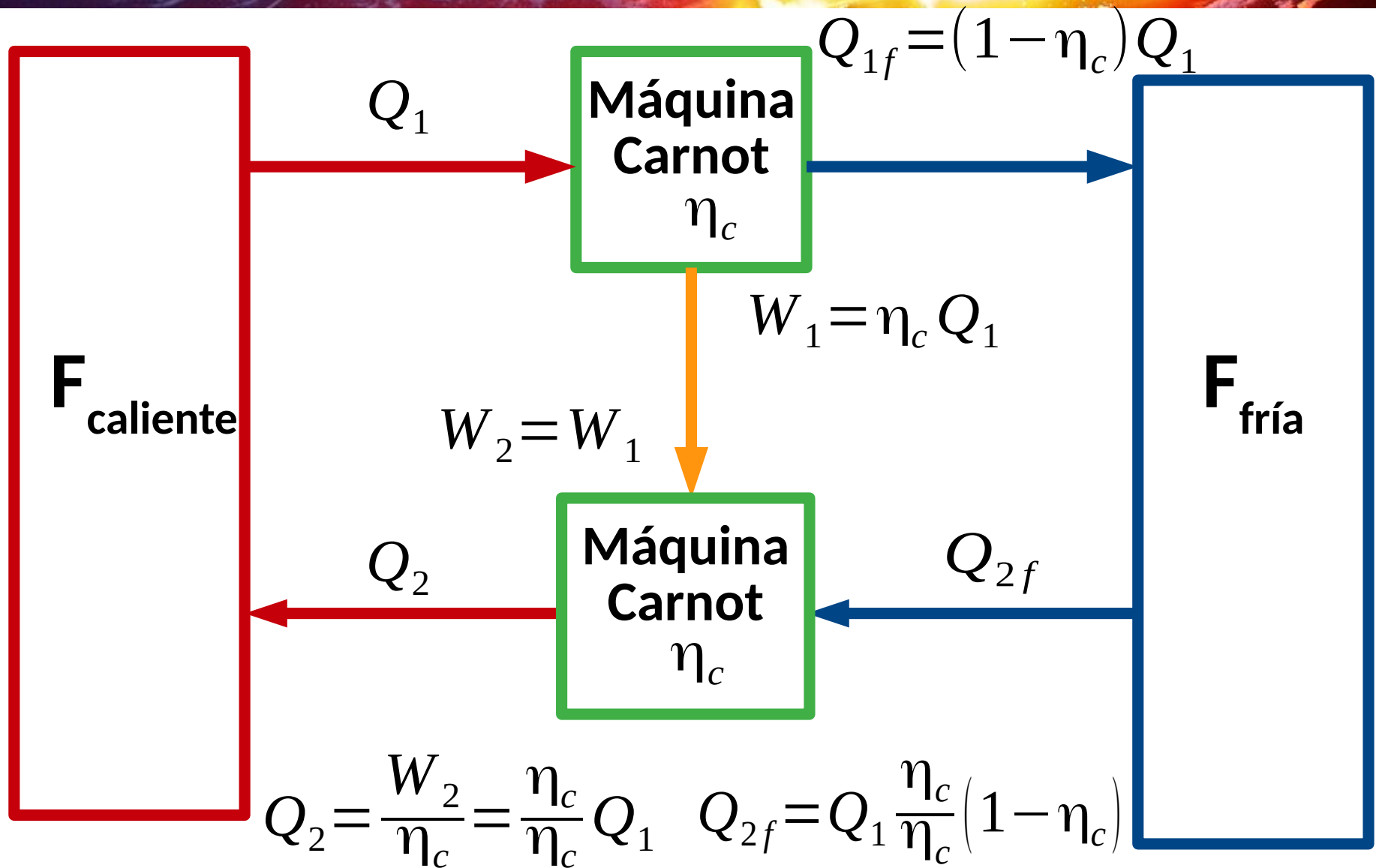
$$\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 \left( 1 - \frac{\eta_1}{\eta_c} \right) < 0 \rightarrow \eta_1 > \eta_c$$



Una máquina térmica que no cumple el teorema de Carnot, es decir, si su rendimiento es mayor al de Carnot operando entre las mismas fuentes,  $\eta_1 > \eta_c$ , entonces esa máquina no cumple el postulado de Clausius  
**¡Violación del 2do principio!**



# Dos máquinas de Carnot



# Dos máquinas de Carnot

- En la fuente caliente:

- Sale:  $Q_1$

- Entra:  $Q_2 = \frac{\eta_c}{1-\eta_c} Q_1$

$$\rightarrow \Delta Q_c = Q_1 - Q_2 = 0$$

- En la fuente fría

- Sale:  $Q_{2f} = Q_1 \frac{\eta_c}{1-\eta_c} (1-\eta_c)$

- Entra:  $Q_{1f} = Q_1 (1-\eta_c)$

$$\rightarrow \Delta Q_f = Q_{1f} - Q_{2f} = 0$$

$$\rightarrow \Delta Q_f = -\Delta Q_c = \Delta Q = 0$$

**no hay flujo neto de energía entre las fuentes**

# Conclusión, $\eta$ es el rendimiento de una máquina térmica no reversible, entonces

- 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

- Entonces, sólo es posible:  $\eta < \eta_c$ :

Una máquina térmica sólo puede tener menor rendimiento que una máquina de Carnot funcionando entre las mismas temperaturas

# 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*