

Universidad  
Rey Juan Carlos

## Termodinámica (para Futuros Presidentes)

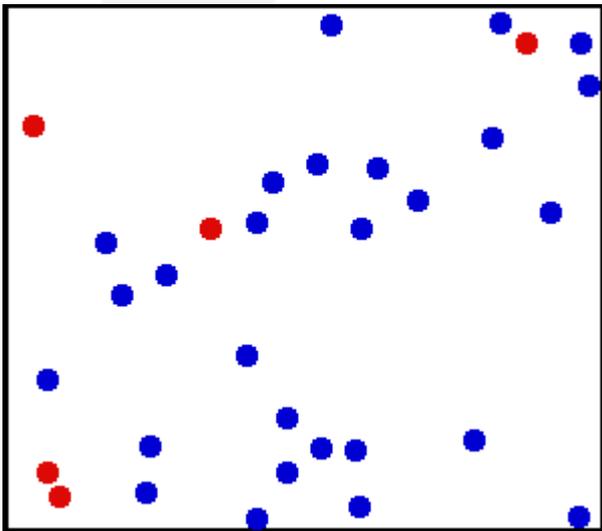
- ▼ Cap 4 y 5
- ▼ Manuel Arrayás Chazeta

# Contenido (lo que todo líder mundial debería saber...)

- ▼ ¿Qué mató a los dinosaurios?
- ▼ ¿Qué tiene más energía, una bomba de TNT o la misma cantidad de galletas de chocolate?
- ▼ ¿Cómo puedo perder peso?
- ▼ ¿Qué es el calor y cómo explotan las cosas?
- ▼ ¿Qué mido cuando tengo fiebre?
- ▼ ¿Por qué se enfría tanto el desierto por la noche?
- ▼ Si la Tierra se calienta, ¿subiría el nivel de las aguas aunque los polos no se derritieran?
- ▼ ¿Podría tener placas solares que aprovecharan toda la energía que llega del Sol?
- ▼ ¿Por qué mi habitación tiende al desorden?
  - ▼ Si un presidente del gobierno conociera las respuestas a estas preguntas podría tomar mejores decisiones...

# Recuerden...

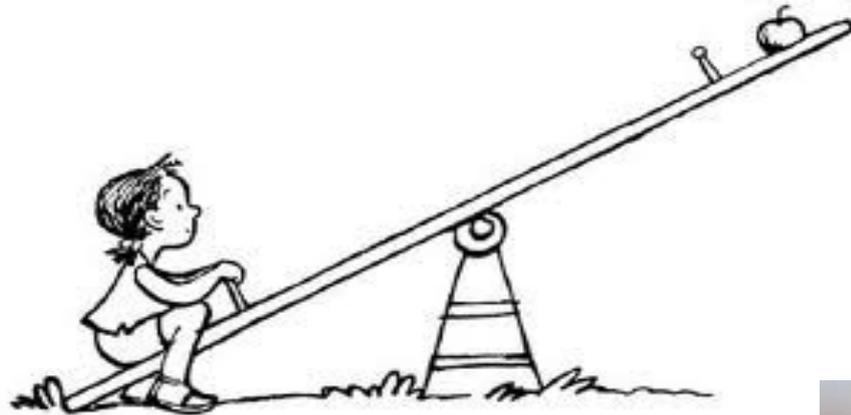
- ▼ ¿Qué información salvarías de un cataclismo para las generaciones venideras?
- ▼ *Todas las cosas están formadas por **átomos** - pequeñas partículas que se mueven con movimiento perpetuo, atrayéndose unas a otras cuando están separadas por una distancia pequeña, pero que se repelen cuando se las trata de apretar unas contra otras.*



*R. Feynman*

# Trabajo, Energía y Potencia

- ▼ Trabajo = Fuerza x Distancia

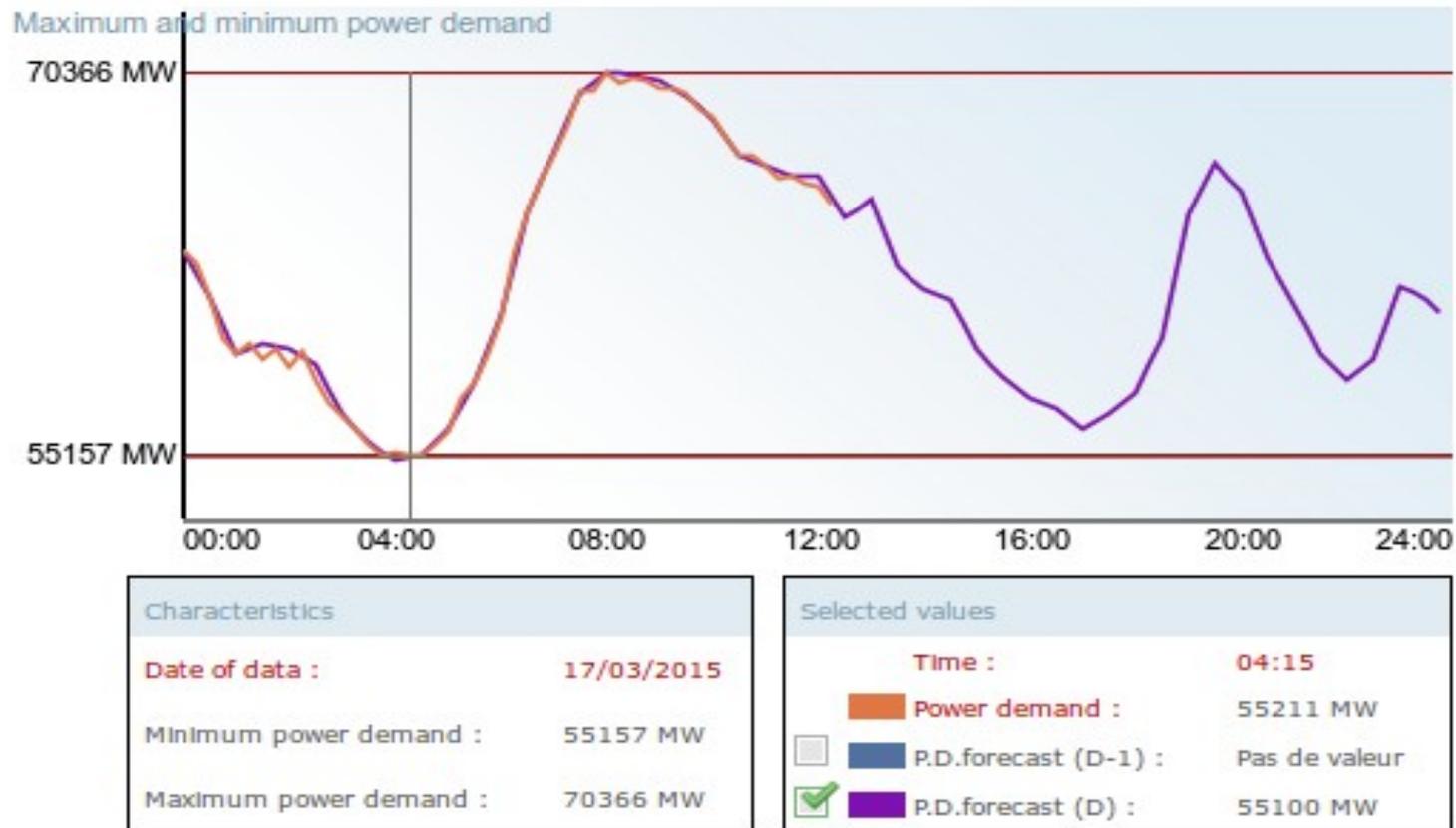


- ▼ Energía = Capacidad que tiene algo para realizar un trabajo  
= Algo que puede transformarse en **calor**



# Trabajo, Energía y Potencia

Potencia = Trabajo / Tiempo empleado en realizar el trabajo  
= Fuerza x Velocidad.



Réseau de transport  
d'électricité, RTE, Francia

# Formas de energía

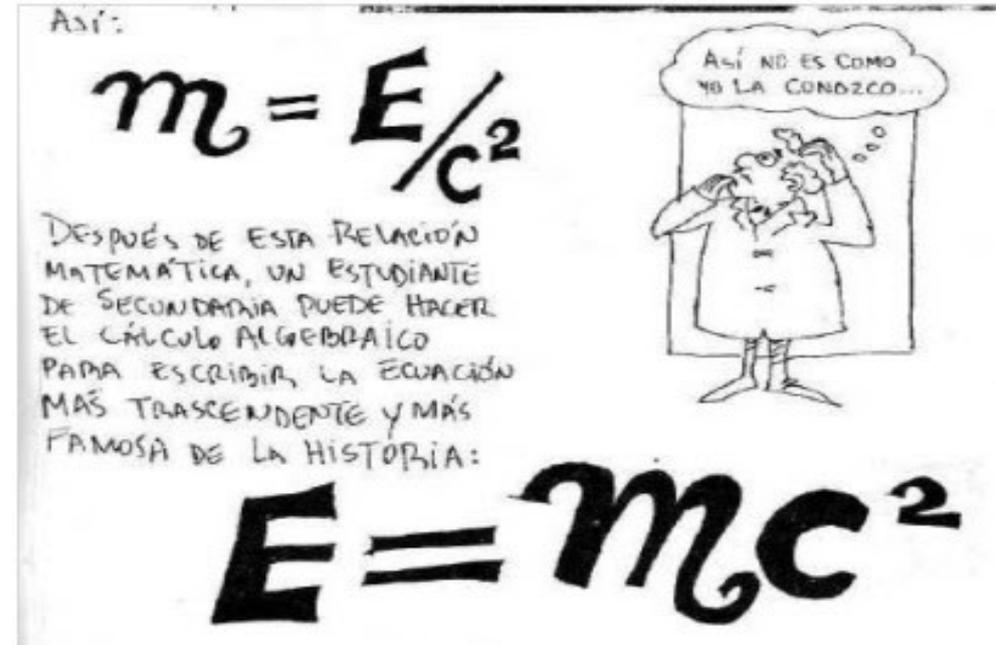
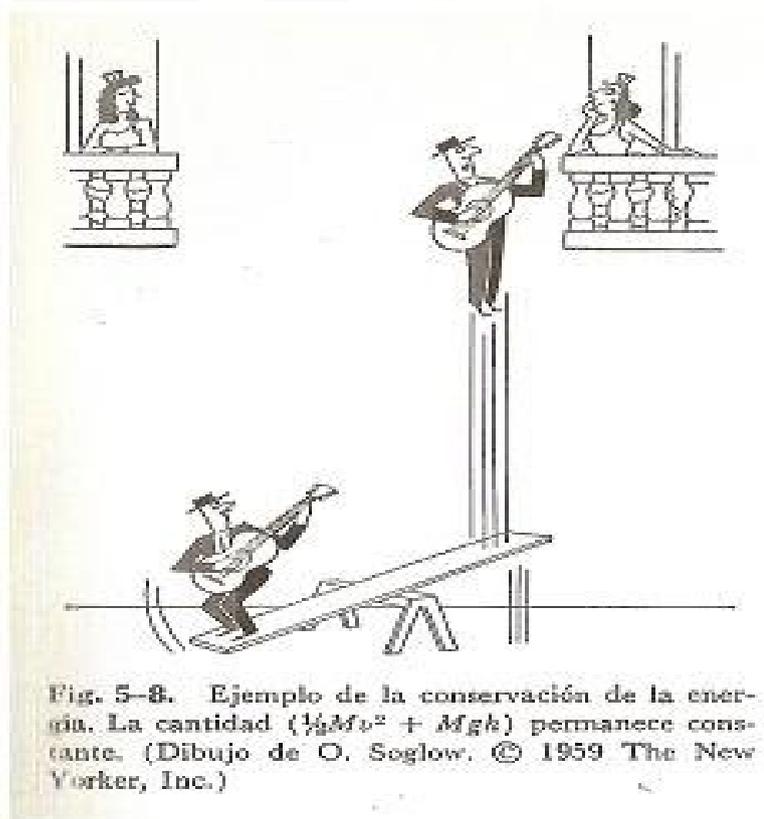
- ▼ Normalmente solemos ponerle adjetivos a la energía, según su origen, y así hablamos de energía química, solar, etc.
- ▼ Pero en última instancia, la energía de un objeto depende de su masa, del estado de movimiento de sus átomos y de la posición de estos.

Esto se conoce como energía cinética, potencial, y de reposo.

- ▼ La energía cinética es la que posee un cuerpo debido a que se mueve. La manera de transmitir esa energía es al chocar con otro cuerpo. Por eso uno puede pensar que lo que les pasó a los dinosaurios fue un choque de un meteorito con la Tierra.



# Formas de energía



# Cantidad de Energía por gr.

- ▼ 1 kilo calorías  $\approx$  1000 KW h
- ▼ 1 kilo calorías  $\approx$  4000 Julios

Objeto	k calorías	Julios	Cantidad de TNT
Bala (300 m/s)	0.01	40	0.015
Batería de coche	0.3	125	0.05
Batería recargable de ordenador	0.1	400	0.15
Pilas alcalinas	0.15	600	0.23
TNT (explosivo)	0.65	2723	1
PETN (explosivo moderno)	1	4200	1.6
Galletas de chocolate	5	21000	8
Carbón	6	27000	10
Alcohol (etanol)	6	27000	10
Mantequilla	7	29000	11
Gasolina	10	42000	15
Gas natural (methano)	13	54000	20
Hidrógeno	26	110000	40
Asteroide o meteorito (30 km/s)	100	450000	165
Uranio 235	20 millones	82000 millones	30 millones

# TNT versus galletas de chocolate

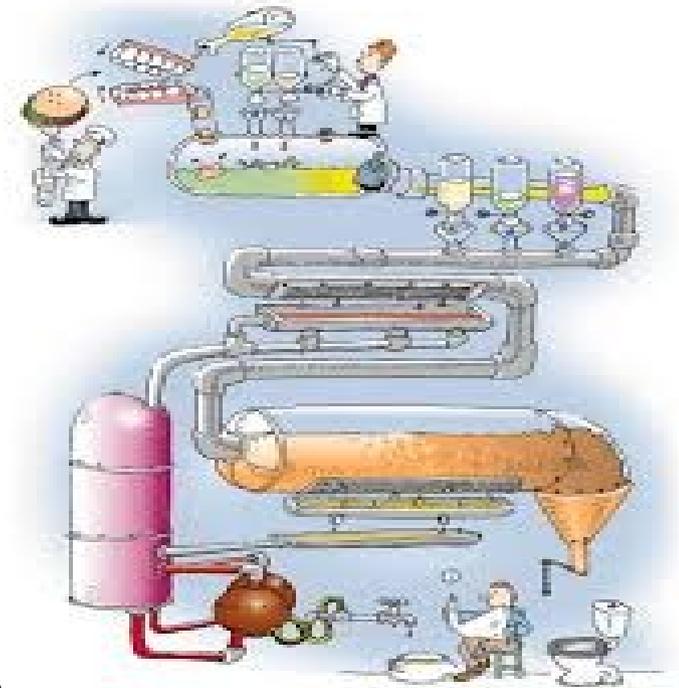
- ▼ ¿Podemos volar un edificio con galletas de chocolate?
  - ▼ Casi todo el mundo (incluidos profesores y catedráticos de física) asumiría incorrectamente que una explosión de TNT libera más energía que la misma cantidad de galletas.
  - ▼ Pero según la última columna de la tabla:  
1 gr de galletas tiene 8 veces más energía que uno de TNT

# TNT versus galletas de chocolate

1 gr TNT  
Energía = 1



1 gr Cookies  
Energía = 8



La diferencia es la rapidez con la que podemos usar ambas energías: POTENCIA

# TNT versus galletas de chocolate

- ▶ Las galletas tienen más energía, pero la explosión de TNT más **potencia**.
- ▶ Moraleja: si quieres destruir un edificio, puedes usar TNT para volarlo casi instantáneamente o coger a un grupo de jóvenes, darles unos martillos, alimentarlos con galletas y seguro que cada gramo de galleta causará mas destrucción que cada gramo de TNT.



# PRIMERA LEY: la ENERGÍA se CONSERVA.

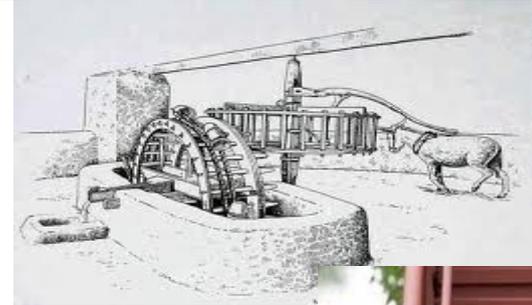
- ▶ Primera ley de la termodinámica: la energía se conserva
- ▶ Hemos visto que puedo usar energía para hacer un trabajo, o producir calor, así que un cuerpo puede ganar energía o perderla, tomándola de otro cuerpo.
- ▶ En el libro de contabilidad de los procesos de la Naturaleza, desglosaremos los gastos y ganancias en trabajo y calor, ya que la energía de menor calidad es la que se cede o gana en forma de calor como veremos.

Cambio de Energía = Trabajo + Calor



# ¿Cómo puedo perder peso? Dieta versus Ejercicio

James Watt: un caballo puede levantar 150 kg, 30 m de altura en un min  
 $0.18 \text{ kcalorías/s} \approx 1 \text{ kW}$



Si pesas 64 kg, y subes 12 escalones seguidos en 3 seg, los músculos generan 1 kW.



Montar en bici un cierto periodo  $1/7 \text{ kW}$   
peso caballo (450 kg) / peso persona  
14% la potencia del caballo



A no ser que corras el Tour de Francia y puedas mantener el 67% durante más de una hora o 105 % durante un spring de 20 s.



# ¿Cómo puedo perder peso? Dieta versus Ejercicio

- ▼ ¿Cuanto trabajo cuesta perder peso?
  - ▼ El cuerpo humano usa el combustible del siguiente modo:  
**75% calor + 25% trabajo = 100 % consumo**
  - ▼ Luego ejercicio a **1/7** de la potencia de un caballo --> **4/7** pérdida energética (incluyendo lo que pierdes por calor).
  - ▼ Eso significa que en **una hora de ejercicio extremo** (el doble de tiempo si hacemos “footing”) uno gastaría:  
 $4/7 \text{ kW} \times 3600 \text{ segundos} \approx \mathbf{370 \text{ kcal}}$
- ▼ Una lata de coca-cola  
 $40 \text{ gr de azúcar} \approx \mathbf{155 \text{ kcal}}$



Así que bebiendo una lata después de una hora de bici estamos igual en lo que respecta al peso.

# ¿Cómo puedo perder peso? Dieta versus Ejercicio

- ▼ Dieta: comer menos
  - ▼ Un humano necesita **2000 kcal al día para no perder peso.**
- ▼ Si comemos  $\frac{1}{4}$  menos al día (500 kcal menos) siguiendo una dieta severa, ¿cuánto peso perdemos?
  - ▼ La grasa, (ej. la mantequilla en la tabla) tiene 7 kcal / gr aprox.
  - ▼  $500 / 7$  da aprox 70, luego 70 gramos que perdemos al día, o 500 gr por semana.
  - ▼ Medio kilo por semana es algo que parece lento, por eso mucha gente abandona el plan.
- ▼ Luego para **perder 70 gr al día:**
  - $\frac{1}{4}$  menos comida  $\approx$  hacer ejercicio moderado durante 2 horas**
- ▼ Para perder peso ( $\frac{1}{2}$  kg por semana), podemos: combinar las dos cosas!!!!

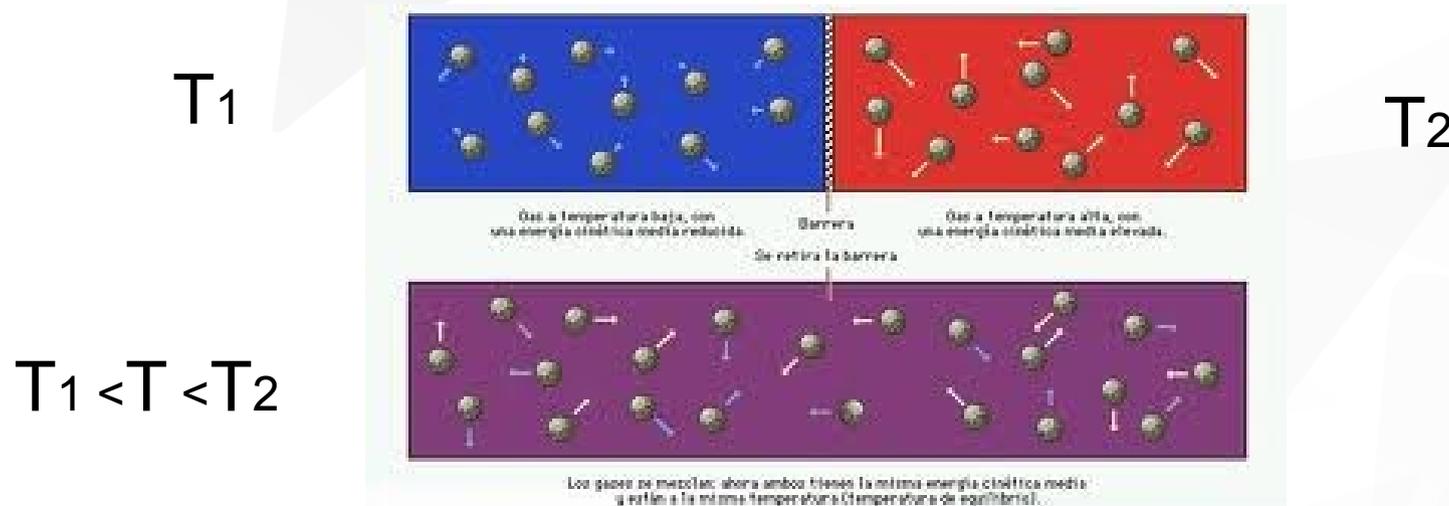
# Átomos y Calor

- ▶ **Calor** = la energía que aumenta la **temperatura** de un cuerpo
- ▶ **Temperatura** = la **energía cinética promedio** de una molécula o átomo
- ▶ Al frotar las manos sentimos el calor que les estamos comunicando a los átomos que forman la piel. Transformamos **energía cinética frotación** -> **calor** -> **aumenta la temperatura** de nuestra piel.
- ▶ Vemos que la temperatura está relacionada con el calor.
- ▶ La temperatura es la energía cinética escondida en los átomos y moléculas de un cuerpo.
- ▶ **E cinética promedio por átomo** =  $\frac{1}{2} m v^2 = k T$
- ▶ A la misma temperatura, átomos más pesados se mueven más lento: veloc típica 1200 km/h



# LEY CERO: Temperatura de cuerpos en contacto

- ▼ Dos cuerpos en contacto tienden a alcanzar la misma temperatura (y puedo usar uno como termómetro).
- ▼ Si ponemos en contacto dos objetos a diferentes temperaturas, los choques microscópicos en la superficie de contacto harán que al final la energía se reparta.
- ▼ El flujo de calor entre los dos cuerpos es el reparto que se está haciendo de la energía cinética.



# LEY CERO: Temperatura de cuerpos en contacto

- ▼ Cuando dos cuerpos entran en contacto, la ley nos dice que tenderán a alcanzar la misma temperatura, pero ¿sucede esto instantáneamente?
  - ▼ No, ya que diferentes materiales conducen el calor de manera distinta.
  - ▼ Si uno toca la madera o el cristal, el cristal parece que está frío y la madera caliente. Pero están a la misma temperatura.
  - ▼ Lo que sentimos es la temperatura de nuestra piel. El cuerpo la mantiene a unos 16 C.
  - ▼ Cuando tocamos la madera, ésta no conduce el calor tan rápido como el cristal, así sentimos que la piel no se enfría tan rápido y pensamos que está más caliente la madera. El cristal conduce la energía de tu piel más rápidamente.



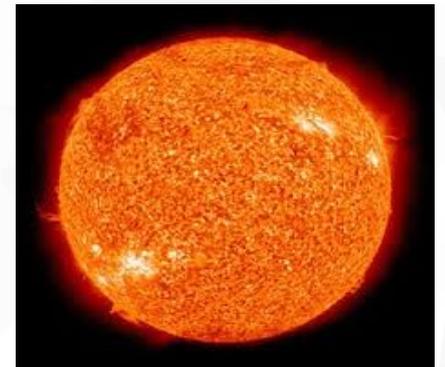
# Flujo de calor y expansión

- ▼ El calor se puede transmitir entre dos cuerpos no sólo por contacto directo, sino también por
  - ▼ Convección: un tercer material en movimiento entre los dos, normalmente aire o líquido.
  - ▼ Radiación: La energía se puede mover por el espacio vacío, la mayor parte en forma de luz invisible.
- ▼ El desierto no tiene apenas agua en el aire, por lo que la transmisión de calor al espacio es más rápida que en otra parte.



# Cambios de fases

- ▼ Los 4 estados de la materia: **sólido, líquido, gaseoso, plasma.**
- ▼ A bajas temperaturas, las moléculas se agitan poco, y tienden a juntarse de manera rígida.
- ▼ A mayor temperaturas, las moléculas están todavía juntas, pero pueden deslizarse unas sobre otras: tenemos un líquido.
- ▼ Si seguimos calentando, el movimiento es tanto que supera a las fuerzas de atracción y se forma un gas.
- ▼ A mayores temperaturas, las colisiones entre moléculas pueden romperlas, liberándose electrones y átomos. Se forma un plasma.



# Explosiones

- ▶ Cuando un objeto aumenta de  $T$ , si tiene espacio, se expande. Así funciona un termómetro de mercurio.
  - ▶ Algunos no, como el agua a menos de  $4\text{ C}$  (gracias a esto la vida es posible). A más de  $4\text{ C}$  se expande y si se calienta la Tierra  $2.5\text{ C}$  subiría 6 pies.
- ▶ Cuando se produce una transición de fase, la expansión es incluso mayor.
- ▶ Cuando un gr de TNT reacciona, libera de repente  $0.65\text{ kcal}$  (según la tabla) en calor. Antes de la explosión, la energía de sus moléculas a temperatura ambiente resulta  $0.004\text{ kcal}$ . Así que si el gramo de TNT no se rompiera, aumentaría 167 veces su energía cinética, esto es, de  $20\text{ C}$  a  $50000\text{ C}$  (la temperatura del Sol es unos  $6000\text{ C}$ ).
- ▶ El gramo de TNT sólido pasa casi repentinamente a gas muy caliente.

# Explosiones – Comportamiento de un gas

- ▼ Como en el gas las moléculas se mueven con bastante libertad, chocan en promedio con las paredes del recipiente que lo contienen muchas veces, y eso se traduce en una fuerza por unidad de superficie.
  - ▼  $P = \text{Const } T$
  - ▼ Si se aumenta la temperatura  $167$ , la presión aumenta proporcionalmente.
- ▼ Si esto se hace muy rápidamente, esta presión empuja todo el material del alrededor, y ocurre una explosión.
- ▼ Experimento del globo: pincharlo, quemarlo

# Eficiencia de las máquinas.



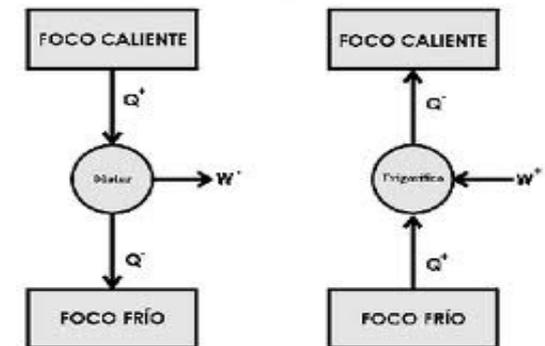
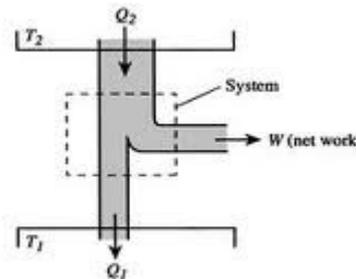
- ▼ Podemos usar energía para hacer trabajo y calor, pero ¿podemos hacer lo contrario?
  - ▼ Sí, podemos almacenar energía en baterías, la naturaleza lo hace almacenando energía en forma de alimentos, o subiendo un objeto a cierta altura, etc.
- ▼ ¿Pero cómo de eficientemente podemos usarla luego?
  - ▼ El problema es la energía que va a los grados de libertad internos, la que se almacena como energía cinética extra, la que aumenta la temperatura. Esa es la que luego no podemos usar completamente en forma de trabajo.
- ▼ Por esto no podemos tener placas solares que usen toda la energía térmica que llega del Sol.



# SEGUNDA LEY

- La eficiencia se define como la cantidad de trabajo que se puede obtener de cierta cantidad de calor:  $W/Q$ .
- El calor fluye de manera espontánea de un objeto de mayor temperatura a uno de menos.
  - Se necesitan dos focos de temperatura para extraer el calor
- La eficiencia de una máquina térmica es menor que 1.
  - No podemos usar toda la energía en forma de calor para hacer la misma cantidad de trabajo.

$$W/Q \leq 1 - T_{\text{frío}}/T_{\text{caliente}}$$



- No podemos tener un proceso cuyo resultado final sea solamente extraer calor de un objeto frío y cederlo a uno más caliente

# Entropía, desorden e irreversibilidad

entropy

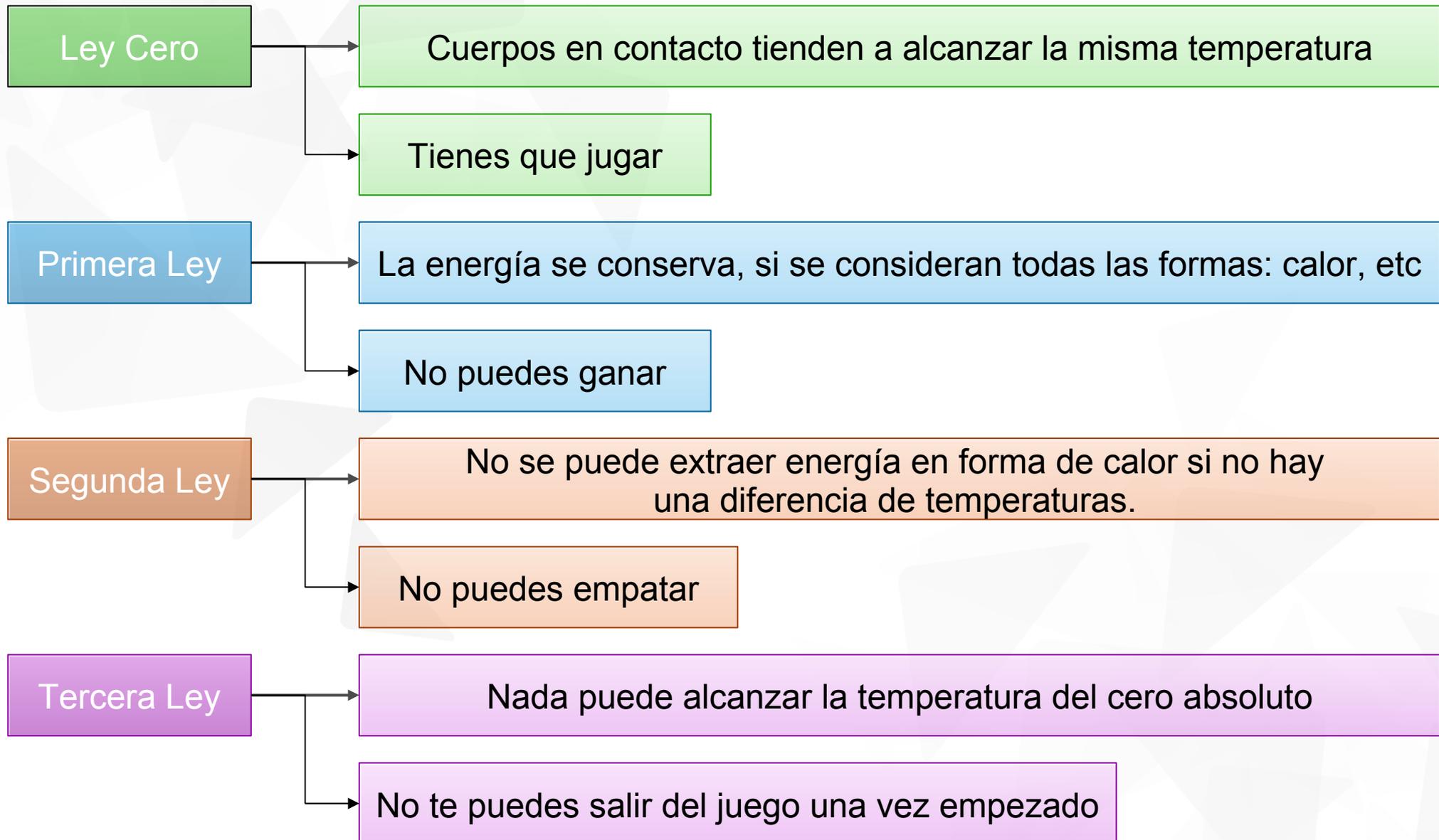
- ▶ En el análisis de los procesos de una máquina térmica, se introdujo una magnitud que relacionaba el calor con la temperatura de los focos y se llamó entropía:  $S = Q/T$
- ▶ Boltzmann más tarde la relacionó con el número de estados microscópicos  $W$  en que un sistema podría hallarse bajo las condiciones exteriores:  $S = k \log W$ .
- ▶ Un sistema aislado, de manera espontánea puede aumentar su entropía, su desorden (un proceso irreversible), o mantener ese desorden (proceso reversible). **No se puede de manera espontánea disminuir el desorden.**
- ▶ Si consideramos mi habitación y yo un sistema aislado, es por la segunda ley por la que ésta y yo tendemos al desorden.
  - ▶ Pero puede disminuir si el sistema no está aislado: en cuanto mi madre anuncia su visita, o alguna amiga, novia, etc.

# TERCERA LEY

- ▼ No es posible alcanzar el cero absoluto.
  - ▼ Para enfriar algo, necesitamos usar algo más frío, y conforme vamos bajando la temperatura va siendo más difícil extraer el calor.
- ▼ La entropía o el desorden de una sustancia pura en estado cristalino en el cero absoluto es cero.
  - ▼ La interpretación microscópica de la temperatura y de la formulación de Boltzmann de la segunda ley, lleva directamente a la tercera, ya que a  $T=0$ , todo está quieto, solo hay una configuración posible, y el  $\ln 1 = 0$ .
- ▼ Esta ley la descubrió Nerst en 1906 y la enunció en 1911.



# Las Leyes de la Termodinámica



# Algunas definiciones

