

## PRESENTACIÓN

---

La termodinámica es una de las áreas de la física donde los sistemas tienen comportamientos no lineales, donde la energía no se conserva y se degrada y donde la línea del tiempo está dirigida por una magnitud física. Dominar estos conceptos es una labor complicada, pero introducirlos y familiarizarse con ellos es un objetivo al alcance de un alumno de bachillerato.

## OBJETIVOS

---

- Repasar los fundamentos básicos de la teoría cinético-molecular de la materia.
- Diferenciar claramente calor y temperatura.
- Saber cómo se transfiere la energía entre los cuerpos.
- Saber cuáles son los efectos que el calor causa sobre los cuerpos.
- Saber de qué depende la sensación de frío o de calor que tenemos cuando tocamos objetos situados en una misma habitación.
- Conocer la experiencia de Joule y su importancia para comprender los fenómenos relacionados con el calor.
- Entender el concepto de entropía y su relación con la teoría cinética y la flecha del tiempo.

## CONTENIDOS

---

### Conceptos

- Termodinámica. Sistemas formados por muchas partículas. Sistemas termodinámicos.
- Relación entre energía, temperatura y calor.
- El principio cero de la termodinámica.
- Temperatura. Medida de la temperatura: termómetros. Significado microscópico de la temperatura.
- El cero absoluto. ¿Por qué usamos la escala Kelvin?
- Transferencias de energía. Calor y trabajo.
- Efectos del calor.
  - Aumento de la temperatura: el calor específico.
  - Cambios de estado: calor latente.
  - Dilatación de sólidos, líquidos y gases.
- El calentamiento global del planeta.
- Mecanismos de transmisión del calor.
  - Transmisión de calor por conducción.
  - Transmisión de calor por convección.
  - Transmisión de calor por radiación.
- Conservación de la energía: el primer principio de la termodinámica.
- La energía interna. El principio de conservación de la energía.
- El equivalente mecánico del calor: la experiencia de Joule.
- El segundo principio de la termodinámica: la entropía.
- Entropía y la segunda ley de la termodinámica. Entropía y probabilidad.
- La entropía y el desorden. La entropía y la flecha del tiempo.

---

### Procedimientos, destrezas y habilidades

- Interpretar gráficas y tablas.
- Resolver problemas numéricos en los que tiene lugar un equilibrio térmico.
- Interpretar esquemas en los que se indica el flujo de energía entre dos cuerpos o sistemas.
- Interpretar esquemas en los que se muestran las partículas que forman la materia y su movimiento, y relacionar este movimiento con la temperatura.
- Calcular de manera cuantitativa los efectos que causa el calor: dilatación de cuerpos, cambios de estado o aumento de temperatura.
- Elaborar gráficas que muestren el aumento de temperatura o los cambios de estado que se producen en una sustancia en función del tiempo.
- Interpretar gráficos de líneas, barras o sectores relacionados con el calentamiento global de la Tierra.

---

**Actitudes**

- Adoptar hábitos encaminados a ahorrar energía.
- Valorar las medidas tomadas por los organismos correspondientes y encaminadas a solucionar el problema del calentamiento global.
- Mostrar gusto por buscar explicaciones racionales a los fenómenos que se producen en la naturaleza.

---

## EDUCACIÓN EN VALORES

---

### 1 Educación medioambiental

El calentamiento global del planeta es un problema serio en nuestros días. En una unidad donde el calor es el protagonista no podemos dar la espalda a este asunto, aunque muchos de los tópicos que aparecen al abordarlo caen fuera del mundo de la física.

Es particularmente importante destacar a los alumnos que no basta con comprometerse a lograr algo. Los compromisos adoptados a nivel internacional deben cumplirse. Algunos países recibieron fuertes críticas por no suscribir el compromiso de Kioto, pero las críticas deberían ser las mismas para aquellos que se comprometieron y que no están cumpliendo sus promesas.

### 2. Educación para el consumo responsable

Cuando la energía se degrada se transforma en calor. Y es difícil transformar el calor de nuevo en energía. Para conseguirlo es necesaria una fuente a temperatura menor y no resulta energéticamente rentable cuando la fuente se consigue artificialmente. La idea de pérdida efectiva de energía cuando se convierte en calor genera responsabilidad medioambiental sobre el alumno y favorece un consumo responsable.

---

## CRITERIOS DE EVALUACIÓN

---

1. Interpretar gráficas y tablas relacionadas con el calentamiento de una sustancia.
2. Resolver problemas numéricos en los que tiene lugar un equilibrio térmico. Con cambios de estado o sin ellos.
3. Relacionar el movimiento microscópico de las partículas que forman la materia con la temperatura.
4. Explicar el concepto de entropía y relacionarlo con los conceptos de probabilidad y de flecha del tiempo.
5. Calcular de manera cuantitativa los efectos que causa el calor: dilatación de cuerpos, cambios de estado o aumento de temperatura.



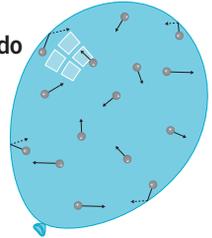
4. **¿Por qué no pueden existir temperaturas por debajo del cero absoluto?**

El cero absoluto, «cero Kelvin» (0 K), corresponde a una energía cinética media de las partículas del sistema igual a cero. Como las energías cinéticas son siempre positivas o cero ( $E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} mv^2$ ), ese valor medio nunca puede ser negativo. Dicho de otro modo: cuando las partículas ya están quietas no pueden ir más despacio.

5. **¿La temperatura es una propiedad macroscópica o microscópica? Es decir, ¿podemos hablar de la temperatura de una partícula o se necesita un sistema con muchas partículas?**

La temperatura, definida de modo que sea proporcional al valor medio de la energía cinética de las partículas, es una propiedad estadística de los sistemas de muchas partículas. En ese sentido, no es una propiedad microscópica (un átomo o molécula no tienen temperatura definida), sino macroscópica (pues solo los agregados de muchas partículas tienen definido el valor medio de la energía cinética) y, además, solo se puede hablar de temperatura en estados de equilibrio.

6. **Imagina los átomos y moléculas del aire en un globo cerrado en continuo movimiento caótico, moviéndose a cientos de metros por segundo y chocando con las paredes...**



a) **¿Cuál es el momento lineal (cantidad de movimiento) total de las moléculas?**

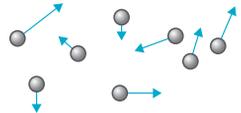
Pista: ¿es capaz de moverse solo el globo?

b) **Explica la respuesta al apartado anterior teniendo en cuenta el carácter vectorial del momento lineal de cada partícula y el tipo de movimiento (ordenado o caótico) que tiene.**

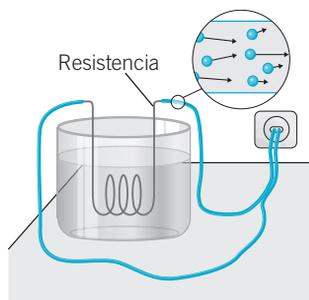
El momento lineal total del globo es cero, pues de otro modo, se movería solo.

Esto es así porque el momento lineal total es la suma de los momentos de las partículas  $\vec{p}_{\text{TOTAL}} = \sum_{k=1}^N \vec{p}_k$  (donde  $\vec{p}_k$  es el momento de una partícula, y  $\Sigma$  denota la suma de los momentos individuales).

Ahora bien, las partículas se mueven al azar, de modo que sus momentos lineales también son aleatorios; apuntan en cualquier dirección y sus módulos están distribuidos de modo que su suma será cero; la suma no puede apuntar en ninguna dirección particular si no hay otras fuerzas presentes.



7. Existen jarras con una resistencia eléctrica en su interior usadas para calentar agua y preparar infusiones. Si nuestro sistema es el agua contenida en uno de esos recipientes:



- a) ¿Qué tipo de movimiento tienen los electrones que forman la corriente eléctrica que circula por la resistencia, ordenado o desordenado? Es decir, ¿se trata de movimiento térmico, o no?
- b) Indudablemente, hay una transferencia de energía al agua. ¿Es en forma de calor o de trabajo? Pista: ¿forma la resistencia parte del entorno, definido como todo aquello que NO es el sistema?
- c) ¿Qué sucede con otras formas de hervir el agua (una cazuela en una cocina de gas, un vaso en un microondas)? ¿La transferencia de energía se lleva a cabo en forma de trabajo o de calor?
- a) Los electrones de la corriente se mueven ordenadamente por el cable; eso es una corriente eléctrica.
- b) Como los electrones (mejor dicho, su movimiento) son la causa de la transferencia de energía y estos se mueven ordenadamente por el conductor, que forma parte de los alrededores (o entorno) del sistema, se trata de trabajo (aunque intuitivamente diríamos que la resistencia se calienta y, por tanto...).
- c) En una cocina de gas, la transferencia de energía es en forma de calor, pues en los alrededores del sistema el movimiento de las partículas es aleatorio. En un microondas diríamos que es trabajo, pues las ondas electromagnéticas que agitan a las moléculas (de agua) del sistema no suponen un movimiento caótico, sino coherente y ordenado.

8. ¿Cuántos julios «recibe» una persona que toma 3000 kcal cada día en su dieta?

$$\text{Como } 1 \cancel{\text{kcal}} \cdot \frac{1000 \cancel{\text{cal}}}{1 \text{kcal}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \cancel{\text{cal}}} = 4180 \text{ J, entonces}$$

$$3000 \cancel{\text{kcal}} \cdot \frac{1000 \cancel{\text{cal}}}{1 \cancel{\text{kcal}}} \cdot \frac{4,18 \text{ J}}{1 \cancel{\text{cal}}} = 1,254 \cdot 10^7 \text{ J}$$

9. ¿Qué energía térmica hay que suministrarle a un vaso de agua (unos 100 g) para calentarlo desde los 25 °C hasta los 98 °C? ¿Y a la misma cantidad de aceite de oliva? (Consulta la tabla de calores específicos.) Nota: la temperatura de ebullición del aceite de oliva es de unos 300 °C. Cuando freímos algo, NO hervimos el aceite, sino el agua que contienen los alimentos.

Para calentar 100 g de agua de 25 °C a 98 °C; suponiendo que no hay ebullición, pues en los cambios de estado la cosa cambia, se cumple para la energía térmica:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \text{ (siendo } c \text{ el calor específico)} \rightarrow$$

$$\rightarrow Q_{\text{agua}} = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 0,1 \text{ kg} \cdot 73 \text{ K} \cdot 30500 \text{ J}$$

Si se trata de agua, nada cambia salvo que  $c \cdot 1680 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$$Q_{\text{aceite}} = 12300 \text{ J (mucho menor)}$$

Lo que es (una) razón para freír con aceite y no cocinar con agua.

**10. Transforma los valores de calor específico de la tabla de J/(kg · K) a cal/(g · °C).**

Para pasar de J/(kg · K) a cal/(g · °C)

$$1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 1 \frac{\left(\frac{1}{4,18}\right) \text{cal}}{1000 \text{g} \cdot ^\circ\text{C}} = 2,4 \cdot 10^4 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- 1 cal = 4,19 J
- 1000 g = 1 kg
- Un °C es igual que un K, aunque los orígenes de cada escala difieran.

Material	c [cal/(g · °C)]
Cobre	0,093
Acero	0,108
Vidrio	0,201
Aluminio	0,215
Oxígeno (g)	0,218
Nitrógeno (g)	0,249
Aceite de oliva (l)	0,403
Madera (*)	0,419
Vapor de agua	0,469
Hielo (-10 °C)	0,50
Agua líquida	1

(\*) Hay muchos tipos de madera.

**11. Se introduce una barra de 200 g de acero a 80 °C en un recipiente con 5 litros de agua a 20 °C. ¿Cuánto aumenta la temperatura del agua? Dato:  $c_{\text{acero}} = 0,45 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .**

En el equilibrio térmico se equilibran las temperaturas ( $a t_F$ ) y toda la energía térmica (calor) que uno cede es absorbida por el otro:

$$|Q_{\text{absorbido}}|_{\text{acero}} = |Q_{\text{cedido}}| \rightarrow$$

$$\rightarrow c_a \cdot m_a \cdot (t_F - t_{a0}) = -c_s \cdot m_s \cdot (t_F - t_{s0})$$

Ya que no hay cambios de estado.

El agua (a), que empieza a temperatura  $t_{a0}$  y termina a una temperatura mayor  $t_f$  absorbe ( $Q > 0$ ) para bajar desde  $t_{s0}$  hasta  $t_f$ . Por eso se cambia de signo el «calor» cedido por el acero.

Despejamos la temperatura final  $t_f$

$$\begin{aligned} (\text{AGUA}) \quad c_a m_a t_f - c_a m_a t_{a0} &= c_s m_s t_f + c_s m_s t_{s0} \quad (\text{ACERO}) \rightarrow \\ \rightarrow c_a m_a t_f + c_s m_s t_f &= c_s m_s t_{s0} + c_a m_a t_{a0} \rightarrow \\ \rightarrow (c_a m_a + c_s m_s) \cdot t_f &= c_s m_s t_{s0} + c_a m_a t_{a0} \end{aligned}$$

Usando los valores numéricos:  $m_a = 5 \text{ kg}$  y  $c_a = 4180 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ :

$$\begin{aligned} t_f &= \frac{c_s m_s t_{s0} + c_a m_a t_{a0}}{c_a m_a + c_s m_s} = \\ &= \frac{0,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 80^\circ\text{C} \cdot 0,2 \text{ kg} + 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 20^\circ\text{C} \cdot 5 \text{ kg}}{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ kg} + 0,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg}} = 20,3^\circ\text{C} \end{aligned}$$

La temperatura del agua sube de  $20^\circ\text{C}$  a  $20,3^\circ\text{C}$ , ya que la masa de acero era pequeña y, además, el agua tiene un calor específico «grande» (frente al acero).

- 12. En una experiencia de laboratorio se introduce una bola de 50 g de cobre inicialmente a  $80^\circ\text{C}$  en un calorímetro que contiene 0,5 litros de agua a  $20^\circ\text{C}$ . La temperatura de la mezcla es de  $20,6^\circ\text{C}$ . Calcula el calor específico del cobre.**

En el equilibrio, el calor «cedido» por el cobre lo «absorbe» el agua íntegramente:

$$\begin{aligned} |Q_{\text{absorbido}}|_{\text{agua}} &= |Q_{\text{cedido}}|_{\text{cobre}} \rightarrow \\ \rightarrow c_a \cdot m_a \cdot (t_f - t_{a0}) &= -c_s \cdot m_s \cdot (t_f - t_{c0}) \quad (\text{no hay cambios de estado}) \end{aligned}$$

El calor específico del cobre es (a estas temperaturas):

$$\begin{aligned} c_c &= \frac{c_a m_a \cdot (t_f - t_{a0})}{m_c \cdot (t_{c0} - t_f)} = \frac{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot (20,6^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0,050 \text{ kg} \cdot (80^\circ\text{C} - 20,6^\circ\text{C})} \rightarrow \\ \rightarrow c_c &= 0,422 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

- 13. Calcula el coeficiente de dilatación lineal del aluminio sabiendo que cuando calentamos  $50^\circ\text{C}$  una varilla de 1 m su longitud aumenta 1,2 mm.**

En este caso es válida:  $L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ . Y queremos despejar  $\Delta T$ :

$$\begin{aligned} L &= L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \rightarrow L = L_0 + \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \\ \rightarrow \alpha &= \frac{L - L_0}{L_0 \Delta T} = \frac{1,2 \text{ mm}}{1000 \text{ mm} - 50^\circ\text{C}} = 2,4 \cdot 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned}$$

14. Si tragamos 200 g de hielo sacado de un congelador casero a una temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , primero el hielo se calienta hasta los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se funde y finalmente se vuelve a calentar hasta unos  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Emplea los datos de la tabla y calcula cuánto varía nuestra energía en el proceso.

**Pista:** considera que nosotros y el hielo constituimos un sistema aislado; si el hielo pierde energía, nosotros la ganamos, y viceversa.

En primer lugar, le cedemos calor al hielo hasta llevarlo a la temperatura de fusión ( $-18\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ):

$$Q_1 = c_H \cdot m_H \cdot \Delta T = 2090 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot 18\text{ }^{\circ}\text{C} = 7524 \text{ J}$$

Luego lo fundimos:

$$Q_2 = m_H \cdot L_{H, \text{cong}} = 0,2 \text{ kg} \cdot 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 66,8 \text{ kJ} = 66800 \text{ J}$$

Y finalmente lo calentamos hasta los  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

$$Q_3 = c_A \cdot m_A \cdot \Delta T = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot 36\text{ }^{\circ}\text{C} = 30096 \text{ J}$$

En total,  $Q = 7524 \text{ J} + 66800 \text{ J} + 30096 \text{ J} = 104420 \text{ J}$  (que son como 25 kcal).

¡Esta no es una buena manera de adelgazar!

15. Ahora, al revés, ¿qué diferencia de calorías hay entre beberse un té frío (a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y uno caliente (a  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ )? Supongamos que el calor específico del té es como el del agua.

Supongamos  $c_{\text{Té}} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} = c_A$ . En una taza de té hay unos 200 g.

En nuestro cuerpo, el té frío se ha de calentar desde los  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta nuestros  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para lo que absorbe (y nosotros perdemos) la energía térmica.

$$Q_{\text{Té}, F} = c_{\text{Té}} \cdot m_{\text{Té}} \cdot \Delta T_{\text{Té}, F} = -4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot (36\text{ }^{\circ}\text{C} - 4\text{ }^{\circ}\text{C}) = 26800 \text{ J}$$

mientras que el té caliente se ha de enfriar desde los  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , de modo que pierde (de ahí el signo «-») y nosotros ganamos la energía térmica.

$$Q_{\text{Té}, C} = c_{\text{Té}} \cdot m_{\text{Té}} \cdot \Delta T_{\text{Té}, C} = -4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 0,2 \text{ kg} \cdot (36\text{ }^{\circ}\text{C} - 45\text{ }^{\circ}\text{C}) = -7500 \text{ J}$$

Suponiendo (lo que no es exacto, pero sí aproximadamente cierto) que  $c_{\text{Té}}$  no cambia en ese rango de temperaturas.

16. Cuando colocamos las manos por encima de una hoguera se calientan antes que si las colocamos lateralmente. ¿Por qué? ¿De qué forma nos llega el calor en cada caso?

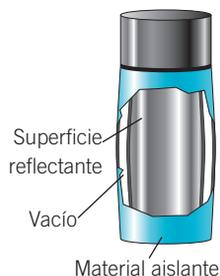
Si ponemos las manos encima el calor nos llega por radiación (poco) y, sobre todo, por convección, pero esta forma está mucho menos presente si no ponemos las manos encima, sino en los laterales, en cuyo caso el fuego nos calienta por radiación casi exclusivamente.

17. Si durante un viaje por el espacio salimos de la nave, necesitaremos un traje para no morir congelados (la temperatura allí es de unos 3 K, es decir,  $-270$  K). ¿De qué mecanismos de transmisión del calor debemos protegernos? Pista: en el espacio profundo apenas hay materia..., es el vacío más perfecto posible.

El único mecanismo de transferencia de calor que puede sobrevivir en el vacío es la radiación electromagnética, que no requiere un soporte material.

18. Analiza cómo el diseño de un termo intenta minimizar los tres modos de transmisión del calor asociando los elementos que aparecen en la figura con uno o más de ellos.

El vacío intenta minimizar las pérdidas por conducción y convección. El recubrimiento reflectante se ocupa de minimizar la radiación (sobre todo infrarroja) que se escapa y el material aislante (que suele ser un medio poroso, con mucho aire) trata de minimizar la conducción.



19. ¿Por qué no apreciamos un aumento de la temperatura del agua cuando nos tiramos desde un trampolín, si nuestra energía potencial se convierte en calor al llegar al agua? ¿Podrías apoyar tu respuesta con una estimación numérica?

Basta hacer un cálculo aproximado para verlo. Si estamos en un trampolín a 10 m del agua, nuestra energía potencial arriba respecto del agua, y suponiendo que nuestra masa es de 60 kg, será:

$$E_p = mg \cdot \Delta h = 60 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = 5900 \text{ J} = 1400 \text{ cal}$$

20. Imagina que calentamos el aire contenido en un globo (ese aire será nuestro sistema) y, como consecuencia, el globo se expande.
- ¿Ha habido transferencia de energía térmica o calor? ¿Qué signo tiene?
  - ¿Se produce algún trabajo en el proceso? ¿«Lo hace» el sistema o los alrededores?
  - ¿Qué signo tiene el trabajo?
  - La variación de energía interna del aire ¿coincide con el calor suministrado o es diferente? Si es diferente, ¿es mayor o menor?

- a) Sí, le hemos transferido calor (energía térmica) al sistema:  

$$Q > 0$$
- b) y c) El globo se expande «contra» los alrededores y pierde energía:  

$$W < 0$$
- d)  $\Delta U = Q + W$ , no coincide con  $Q$ , sino que a causa del trabajo  $W < 0$ , es menor.

**21. Imagina una filmación en la que los fragmentos de una copa de vidrio que hay en el suelo se reúnen todos y saltan a una mesa, en la que se colocan formando una copa intacta.**

**a) ¿Sería posible ese proceso? Es decir, ¿está prohibido por la ley de conservación de la energía o alguna otra? (No olvides que los átomos y las moléculas a temperatura ambiente tienen velocidades térmicas del orden de cientos de metros por segundo.)**

**b) ¿Cuál es la probabilidad de que se produzca este proceso?**

a) y b) El proceso no está prohibido, pero sí es extremadamente improbable la «conspiración» entre los átomos de todos los fragmentos por devolverlos al lugar de origen.

Los  $10^{25}$  átomos de cada fragmento deberían adquirir a la vez las velocidades exactas necesarias para reunirse con los demás.

**22. A veces se oye que la vida «va en contra de la entropía», ya que el estado más probable de un ser vivo –que no es más que un montón de partículas– no parece ser el estar vivo y organizado, sino convertirse en un montón de átomos y moléculas desorganizadas. Repasa el enunciado de la segunda ley para encontrar la condición que los seres vivos no cumplen.**

Los seres vivos no son –en absoluto– aislados, puesto que continuamente intercambiamos energía y materia con el entorno.

**23. ¿Qué utilidad tienen las prendas aislantes que nos ponemos en invierno?**

Evitar la pérdida de energía térmica por conducción y convección a un entorno más frío.

**24. ¿Por qué la temperatura del cuerpo humano ronda siempre los 37 °C y no se alcanza el equilibrio térmico con el entorno, que suele estar a una temperatura más baja?**

El cuerpo humano mantiene, mediante un complicado sistema «homeostático», una temperatura superior a la ambiental (normalmente) porque es óptima para las reacciones y procesos químicos en los que se basa la actividad de nuestras células.

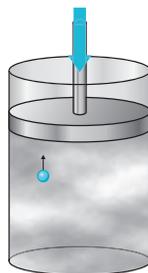
25. ¿Por qué alteramos siempre la medida cuando introducimos un termómetro en un recipiente con poco líquido para conocer su temperatura?

(Pista: explica cuáles son las transferencias de calor que se producen entre el propio termómetro y el líquido.)

La transferencia de energía térmica entre sistema y termómetro es grande en relación a la energía del sistema en el enunciado.

Si el termómetro está «más frío» (a menor temperatura) que el medio, este perderá energía, que ganará si está «más caliente» (a mayor temperatura).

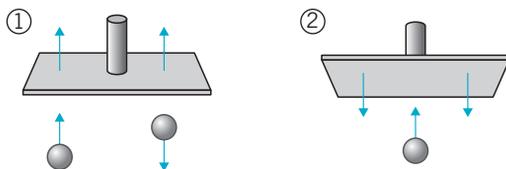
26. Para investigar la transferencia de energía a un gas encerrado en un cilindro cerrado con un pistón queremos saber lo que les ocurre a sus moléculas al comprimirlo bajando el émbolo (ver figura).



- ¿Rebotan con la misma velocidad que si el pistón estuviera quieto?
- ¿Cómo es la energía cinética de las partículas que rebotan en comparación con el caso en que el pistón está inmóvil?
- Teniendo en cuenta que todas las energías cinéticas de las partículas contribuyen a la energía total del gas, ¿qué sucede con esta última?
- Repite el ejercicio para el caso en el que el volumen del gas aumenta (el pistón sube).

a), b), c) y d) Si las partículas rebotan contra un pistón que se aleja, su energía cinética disminuye en promedio, ya que le están comunicando una parte. ①

Por contra, si el pistón se acerca, las partículas rebotarán con más energía; esto es lo que ocurre con la compresión. ②



27. ¿Por qué se calientan las manos cuando las frotamos una contra la otra?

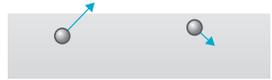
Aumentamos la energía cinética de las moléculas de manera mecánica.

**28. Algunos alimentos se enfrían más rápidamente que otros cuando los retiramos del fuego. ¿Por qué?**

Distintas sustancias tienen diferentes conductividades térmicas. Por ejemplo, el metal la tiene muy alta y se enfría (y calienta) con mucha más rapidez que el ladrillo, que la tiene más baja.

**29. ¿Por qué se mantiene fresca el agua de un botijo?**

En el agua no todas las moléculas tienen igual velocidad. Las más rápidas tienen más probabilidades de abandonar el líquido (evaporación) y escapar por las paredes porosas rebajando así la energía cinética media del agua. Es decir, su temperatura.

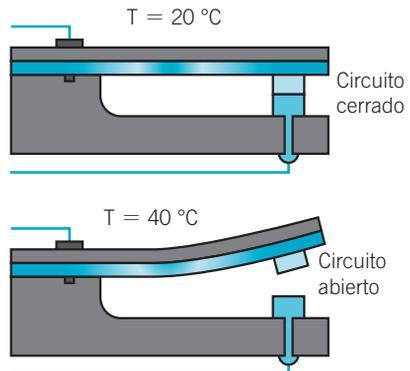


**30. ¿Para qué se dejan unas juntas de dilatación en los puentes?**

Para evitar roturas cuando el material se calienta y se expanda.

**31. Las láminas bimetálicas están formadas por dos tiras unidas elaboradas con metales que tienen diferentes coeficientes de dilatación. Se emplean como termostatos en algunos aparatos eléctricos. Observa el dibujo y explica por qué se curva la lámina cuando aumenta la temperatura.**

La clave está en el diferente coeficiente de dilatación. Al calentarse, uno de los metales se expande más que el otro, pero, como están unidos, no lo pueden hacer libremente y la pieza se deforma.



**32. Frotamos dos cubitos de hielo a 0 °C que están aislados. ¿Qué ocurrirá?**

- No les pasa nada porque no les damos calor.
- Se funden porque el trabajo de rozamiento se convierte en calor.
- Aumenta su temperatura.

La fricción aumenta la energía cinética media de las moléculas, pero como es una temperatura de cambio de fase, esa energía se «invierte» en romper los enlaces y producir el cambio de estado, no en aumentar la temperatura.

**33. Ponemos el termostato de un horno (al que vamos a considerar aislado) a 180 °C y lo dejamos conectado un buen rato, hasta que en su interior se alcance el equilibrio térmico:**

- ¿A qué temperatura está la bandeja metálica del horno?  
¿Y el aire del interior del horno?**
- ¿Por qué podemos abrir la puerta y meter la mano en el aire caliente unos segundos sin consecuencias, pero si tocamos la bandeja metálica sí que nos quemaremos?**

Tanto el aire como la bandeja alcanzan la misma temperatura si les damos tiempo, pero la transmisión de energía es mucho más difícil desde el aire (apenas hay conducción, por ejemplo) que desde el metal de la bandeja (muy buen conductor).

**34. ¿Por qué se calienta la bomba cuando inflamamos un balón o un neumático?**

Porque en la compresión (ver cuestión 26) aumenta la energía cinética media de las moléculas al chocar contra el pistón.

**35. Lo mismo que el hielo necesita una aportación de 334 kJ por cada kg para fundirse a 0 °C (hay que romper los enlaces que hay entre sus moléculas), el agua líquida requiere 2 260 kJ/kg para pasar a vapor a la temperatura de 100 °C. ¿Qué tiene esto que ver con que sintamos frío en la piel al salir del agua aunque sea un día caluroso, especialmente si hay viento?**

**Pista: ¿qué le sucede al agua en la piel? ¿Por qué con el alcohol, que se evapora más fácilmente que el agua, ese enfriamiento es aún más notable?**

En la evaporación, que no es lo mismo que la ebullición, aunque en ambas haya un paso de moléculas en la fase líquida a la fase vapor, las moléculas con mayor energía cinética abandonan el líquido (y el aire favorece el desequilibrio impidiendo que puedan volver a él) rebajando la energía cinética media de las moléculas que quedan.

Esto es más notable en el alcohol, cuyas moléculas necesitan menos energía para pasar a la fase vapor.

**36. A veces se puede considerar que una masa de aire seco y caliente casi no se mezcla con el aire de su entorno, como si estuviera encerrada en una bolsa y, como consecuencia, intercambia muy poca energía con sus alrededores. Al ir subiendo se encuentra con que la presión atmosférica disminuye.**

- ¿Qué sucede con el volumen de la masa al subir?**
- ¿Y con su temperatura?**

Es la llamada expansión «adiabática». El aire se expande, pues la presión «externa» va disminuyendo, y, como apenas puede intercambiar energía con el entorno, también se enfría (la energía cinética media baja).

**37. Tenemos un sistema termodinámico sencillo (de los que se pueden describir mediante la presión, el volumen, la temperatura y la cantidad de sustancia) cuyo volumen no puede variar o puede hacerlo solo de manera insignificante.**

**a) ¿Qué dicen los principios de la termodinámica sobre las variaciones de su energía interna? ¿A qué se pueden deber?**

**b) Y entonces, ¿cómo puede cambiar su temperatura?**

a) Sabemos por los principios de la termodinámica que la energía interna solo puede variar en forma de trabajo o de calor:

$$\Delta U = Q + W.$$

b) Como la temperatura es una medida de la energía cinética media, estos dos únicos modos de transferencia de energía son los únicos que pueden hacer variar la temperatura.

**38. Relaciona con el segundo principio de la termodinámica.**

**a) Entropía.**

**b) Desorden.**

**c) Rendimiento de una máquina térmica.**

**d) Flecha del tiempo.**

El segundo principio establece que la entropía de un sistema aislado no puede disminuir. A su vez, la entropía es una medida del desorden.

Este desorden y las probabilidades asociadas son el fundamento de la irreversibilidad y la flecha del tiempo.

Por otro lado, el segundo principio limita el rendimiento de una máquina térmica.

**39. Contesta:**

**a) ¿La entropía de cualquier sistema siempre aumenta? Pon ejemplos para apoyar tu respuesta.**

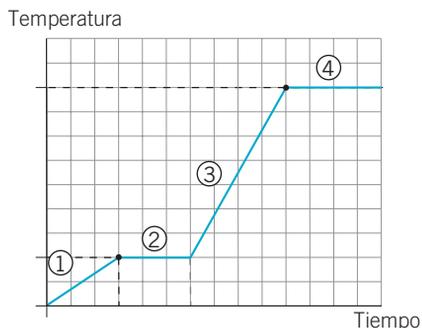
**b) Explica la frase: «Los sistemas físicos tienden a evolucionar hacia estados con más desorden».**

a) La entropía de un sistema en equilibrio permanece constante y si el sistema no es aislado, incluso puede disminuir (a costa de la entropía de otra parte del universo). Así, la entropía de los seres vivos puede disminuir creando mucha más entropía a su alrededor.

b) Los estados más desordenados de un sistema son más numerosos y, por tanto, más probables que los ordenados. Por eso, el sentido natural hacia los procesos más probables lo es también hacia los estados más desordenados.

40.

La siguiente gráfica representa el calentamiento de una sustancia, inicialmente en estado sólido, hasta que alcanza el estado gaseoso y se convierte en vapor. El foco calorífico proporciona calor a un ritmo constante.



- a) ¿Qué tramos de la gráfica corresponden a los cambios de estado?
- b) ¿En qué estado es mayor el calor específico de la sustancia, en estado sólido o en estado líquido?
- c) ¿Cómo lo sabes?

a) Representan cambios de estados aquellos tramos horizontales (calentamiento sin cambio de temperatura), ya que en ese caso, la energía suministrada al sistema no va a aumentar su energía cinética, sino a romper enlaces:

② → transición sólido-líquido

④ → transición líquido-vapor

b) Estamos proporcionando calor a un ritmo constante, pero la pendiente del líquido ③ es mayor que la del sólido ①.

Si nos fijamos en la ecuación:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

y dividimos por el tiempo que se está calentando,  $\Delta t$ :

$$\frac{Q}{\Delta t} = c \cdot m \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

↓		↓	
Ritmo de aporte de energía (J/s)	⇒	Ritmo de variación de la temperatura («velocidad de calentamiento») pendiente de la gráfica T-t	

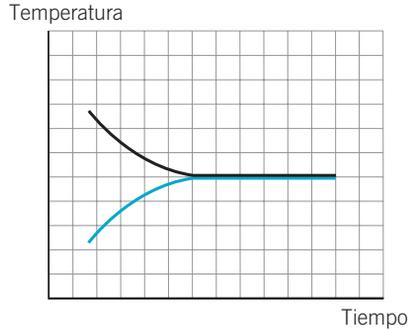
Como el miembro izquierdo es, según el enunciado, constante, en ① y ③, cuanto mayor sea la pendiente ( $\Delta T/\Delta t$ ), menor será  $c$  para compensar.

Así pues:

$$\left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{\text{líquido}} > \left. \frac{\Delta T}{\Delta t} \right|_{\text{sólido}} \rightarrow c_{\text{líquido}} < c_{\text{sólido}}$$

El calor específico del líquido es menor que el del sólido; con el mismo «ritmo de aporte de calor», el líquido se calienta más rápido que el sólido.

41. Observa la gráfica que representa el equilibrio térmico de dos cuerpos de la misma masa:



a) ¿Se han puesto en contacto sustancias diferentes o sustancias de la misma naturaleza? Razona la respuesta.

b) Elabora otra gráfica análoga que muestre el equilibrio térmico alcanzado cuando ponemos en contacto 5 litros de agua a 50 °C con 5 litros de agua a 40 °C. ¿Es simétrica la gráfica?

a) La gráfica es simétrica respecto de la temperatura de equilibrio. Una de las maneras de conseguirlo es partir de dos cantidades iguales (misma masa  $m$ ) de la misma sustancia (igual  $c$ ), lo que asegura que la variación de temperatura,  $\Delta T$ , será igual para ambas en módulo (para una  $\Delta T > 0$  y para la otra  $\Delta T < 0$ , pero con igual módulo).

b) Sí, la gráfica ha de ser simétrica:

$$|Q_1| = |Q_2| \rightarrow$$

$$\rightarrow c_1 m_1 \cdot (t_f - t_{01}) = -c_2 m_2 \cdot (t_f - t_{02})$$

Si  $c_1 = c_2$  y  $m_1 = m_2$ :

$$c_1 m_1 \cdot (t_f - t_{01}) = -c_2 m_2 \cdot (t_f - t_{02})$$

$$\rightarrow t_f - t_{01} = -t_f - t_{02} \rightarrow t_f = \frac{t_{01} + t_{02}}{2}; \text{ la media de } t_{01} \text{ y } t_{02}$$

42. Se vierten 2 L de agua a 80 °C en una cacerola de acero de 0,5 kg inicialmente a 20 °C.

a) ¿Qué transferencias de calor se producen? Explícalo con un esquema.

b) ¿Cuál es la temperatura final del agua?

c) ¿Y la de la cacerola?

Datos:

•  $c_{\text{agua}} = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .      •  $c_{\text{acero}} = 450 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

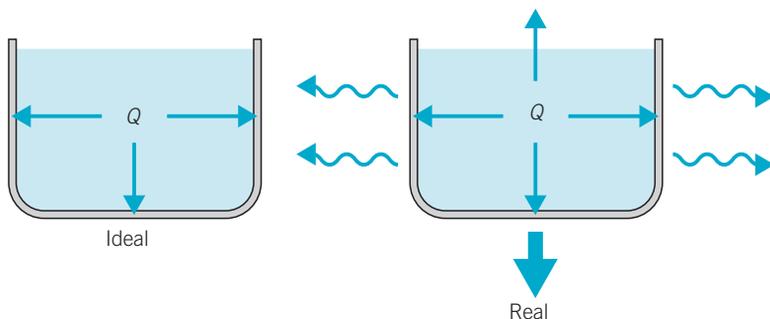
Si suponemos (lo que en este caso es falso, pero puede ser más aproximado si se tapa la cacerola...) que toda la energía térmica que pierde el agua va a parar a la cacerola y que el sistema agua + cacerola es aislado, entonces:

$$Q_{\text{agua}} = -Q_{\text{cacerola}} \rightarrow c_a m_a \cdot (t_f - t_{0a}) = c_c m_c \cdot (t_{0c} - t_f)$$

Y la temperatura final de equilibrio sería:

$$t_f = \frac{c_a m_a \cdot t_{0a} + c_c m_c \cdot t_{0c}}{c_a m_a + c_c m_c}$$

$$t_F = \frac{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot 80^\circ\text{C} + 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 20^\circ\text{C}}{4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ kg} + 450 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ kg}} = 78^\circ\text{C}$$



Tanto para el agua (que se enfría a  $2^\circ\text{C}$ ) como para la cacerola (que se calienta a  $58^\circ\text{C}$ ).

**43. Un radiador de aluminio es más eficiente que un radiador de chapa de acero. Explicalo. Datos:**

- $c_{\text{Al}} = 900 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .
- $c_{\text{acero}} = 460 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

El objetivo del radiador es transferir energía térmica al exterior. Si el mecanismo principal de transmisión de calor al aire fuese la conducción, el parámetro relevante sería el calor específico,  $c$  (no está claro que sea así; los «radiadores» probablemente se basan más en la emisión de radiación infrarroja y el aire es un mal conductor). Eso sí, en la transferencia de energía térmica del fluido del radiador (generalmente agua, pero a veces aceite) a su cuerpo metálico sí domina la conducción.

En tal caso,  $Q = cm \cdot \Delta T$ , significa que a iguales  $m$  y  $\Delta T$  (masa del radiador y diferencia de temperatura con el entorno), cuanto mayor es  $c$ , mayor es  $Q$ . Es decir, el aluminio ( $c_{\text{Al}} > c_{\text{acero}}$ ) da lugar a un mayor flujo de energía térmica  $Q$ .

**44. Calcula:**

- a) El hielo a  $-5^\circ\text{C}$  que podremos fundir a partir de 20 L de agua a  $40^\circ\text{C}$ .
- b) El hielo a  $-5^\circ\text{C}$  que podremos fundir con agua a  $80^\circ\text{C}$ .

Para fundir todo el hielo posible lo más favorable es emplear la energía térmica del agua para fundir el hielo y dejarlo justo a  $0^\circ\text{C}$  y no a más temperatura (es decir, vamos a suponer que el estado final de equilibrio es agua líquida a  $0^\circ\text{C}$ ).

Una masa de agua  $m_a$  a temperatura inicial  $T_{0a}$  cuya temperatura baja hasta  $T_{\text{eq}}$ , pierde una energía térmica

$$Q_a = c_a m_a \cdot (T_{\text{eq}} - T_{0a}) < 0$$

Por otro lado, si toda esa energía térmica la absorbe una masa de hielo  $m_h$  a temperatura  $T_{0h}$ , esta se calentará primero (en este caso desde  $T_{0h} = -5\text{ °C}$ ) hasta la temperatura de fusión ( $T_{\text{fh}} = 0\text{ °C}$ ) con la absorción de:

$$Q_{\text{hc}} = c_h m_h \cdot (T_{\text{fh}} - T_{0h}) > 0$$

y después se fundirá absorbiendo la energía térmica

$$Q_{\text{hf}} = m_h L_{\text{fh}} > 0$$

Entonces se cumple, idealmente (es decir, suponiendo que el sistema hielo + agua es aislado, de modo que ni hay pérdidas ni entra energía...):

$$|Q_a| = Q_{\text{hc}} + Q_{\text{hf}}$$

Energía cedida por el agua = energía absorbida por el hielo.

Ahora ya podemos manipular esta expresión para sacar la masa de hielo que se puede fundir,  $m_h$ :

$$-c_a m_a \cdot (T_{\text{eq}} - T_{0a}) = c_h m_h \cdot (T_{\text{fh}} - T_{0h}) + m_h L_{\text{fh}} \rightarrow$$

$$\rightarrow c_a m_a \cdot (T_{0a} - T_{\text{eq}}) = m_h \cdot [c_h (T_{\text{fh}} - T_{0h}) + L_{\text{fh}}] \rightarrow$$

$$m_h = \frac{c_a m_a \cdot (T_{0a} - T_{\text{eq}})}{c_h \cdot (T_{\text{fh}} - T_{0h}) + L_{\text{fh}}}$$

Como resulta que la temperatura final del hielo ( $T_{\text{fh}} = 0\text{ °C}$ ) es también la temperatura final de equilibrio ( $T_{\text{eq}}$ ), finalmente tenemos:

$$m_h = \frac{c_a m_a \cdot (T_{0a} - T_{\text{eq}})}{c_h \cdot (T_{\text{eq}} - T_{0h}) + L_{\text{fh}}}$$

a) Si  $m_a = 20\text{ kg}$  (pues el volumen de agua que nos dan 20 L, tiene esa masa),  $T_{0a} = 40\text{ °C}$ ,  $T_{0h} = -5\text{ °C}$ ,  $T_{\text{eq}} = 0\text{ °C}$ ,  $c_a \approx 4180\text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$ ,  $c_h \approx 2090\text{ J/(kg} \cdot \text{°C)}$  y  $L_{\text{fh}} = 334\,000\text{ J/kg}$ , resulta:

$$m_h \approx 9,65\text{ kg}$$

b) Ahora solo cambia  $T_{0a} = 80\text{ °C}$  y entonces:

$$m_h \approx 19,4\text{ kg}$$

#### 45. Mezclamos 1 kg de hielo a $-10\text{ °C}$ de temperatura con 5 L de agua a $40\text{ °C}$ .

a) ¿En qué estado físico se encontrará la mezcla una vez alcanzado el equilibrio térmico?

b) Calcula el calor cedido por el agua.

c) Calcula el calor absorbido por el hielo.

Podemos intuir un estado final de equilibrio hielo-agua a  $0\text{ °C}$  (pero con cantidades relativas de las iniciales) o bien uno en el que se funde todo el hielo, sin que se pueda descartar, sin más, la posibilidad de que el agua caliente solo logre calentar el hielo sin fundirlo. Veamos.

Para llegar a  $0\text{ °C}$  el hielo «absorberá»:

$$|Q_n| = c_h m_h \cdot |\Delta T_h| = 2090 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 10 ^\circ\text{C} = 20900 \text{ J}$$

Mientras el agua como máximo cederá:

$$|Q_a| = c_a m_a \cdot |\Delta T_a| = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ kg} \cdot 40 ^\circ\text{C} = 836000 \text{ J}$$

Por otro lado, para fundir el hielo hacen falta:

$$|Q_{\text{fh}}| = m_h \cdot L_{\text{FH}} = 1 \text{ kg} \cdot 334000 \text{ J/kg}$$

En resumen, con  $\underline{2090 \text{ J} + 334000 \text{ J}}$  se transforma todo el hielo  
 $= 336090 \text{ J}$

en agua líquida a  $0^\circ\text{C}$ . Como el agua habría cedido  $836000 \text{ J}$  para llegar a  $0^\circ\text{C}$ , eso quiere decir que no los alcanza: el estado final es que todo el hielo se funde y tenemos solo agua a más de  $0^\circ\text{C}$  y menos de  $40^\circ\text{C}$ , digamos a  $T_F$ . Entonces:

BALANCE	$ Q_h $	$+  Q_{\text{fh}} $	$+ c_a m_h \cdot (T_F - t_{0h})$	$= - c_a m_a \cdot (T_F - T_{0a})$
ENERGÉTICO:	calentar el hielo a $0^\circ\text{C}$	fundir el hielo	calentar el hielo fundido hasta $T_F$ desde $0^\circ\text{C}$	enfriar el agua hasta $T_F$ «calor cedido por el agua»

Ahora hay que despejar  $T_F$ :

$$T_F = \frac{c_a m_h T_{0h} + c_a m_a T_{0a} - |Q_h| - |Q_{\text{fh}}|}{c_a m_a + c_a m_h} =$$

$$= \frac{836000 - 336090}{25080} = 20^\circ\text{C}$$

El agua cede  $418000 \text{ J}$ , que son los mismos que el hielo absorbe.

- 46. Comprimos a temperatura constante y presión constante (la atmosférica normal,  $P_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm}$ ) una jeringuilla llena de aire ( $6 \text{ cm}^3$ ) hasta que su volumen se reduce a la mitad. Si lo hacemos de modo que la única transferencia sea en forma de trabajo, ¿cuánto ha cambiado la energía del aire de la jeringuilla?**

La primera ley es:  $\Delta U = Q + W$ .

Pero en este caso  $Q = 0$ .

$$\Delta U = W = \underset{\substack{\downarrow \\ \text{compresión adiabática}}}{-p} \cdot \Delta V = + 101\,325 \text{ Pa} \cdot \frac{3 \text{ cm}^3}{1\,000\,000 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}^3}} = 0,61 \text{ J}$$

Esta energía que gana el aire aumenta su temperatura.

- 47. Un gas se calienta transfiriéndole  $1\,600 \text{ kcal}$  y un pistón lo comprime realizando un trabajo de  $750 \text{ kJ}$ .**
- a) ¿Cuál es la variación de energía interna?  
 b) Interpreta su signo.

La primera ley es:  $\Delta U = Q + W$   $\left. \begin{array}{l} Q = +1600 \text{ kcal} = 6699 \text{ kJ} \\ W = +750 \text{ kJ} \end{array} \right\}$  entran al sistema

$\Delta U = 6699 + 750 \simeq +7450 \text{ kJ}$  de *aumento* de energía interna (eso significa el signo +).

**48. Calentamos el gas que hay en un cilindro con 4 500 kJ. El volumen del gas aumenta de 3 a 5 L contra la presión atmosférica (1 atm = 101 325 Pa).**

- a) ¿Cuál será la variación de energía interna?  
 b) Haz un dibujo que explique cómo ha variado la energía cinética media de las partículas del gas.

$\Delta U = Q + W$ , dice la primera ley, pero  $Q = +4500 \text{ kJ}$ .

$$Q = +4500 \text{ kJ}$$

$$W = -p \cdot \Delta V = -101\,325 \text{ Pa} \cdot (5 - 3) \text{ L} \simeq -203 \text{ kJ} \rightarrow \text{La expansión hace disminuir la energía interna del gas}$$

$$(5 - 3) \text{ L} = 2 \text{ L} = 0,002 \text{ m}^3$$

Por tanto:

$$\Delta U = 4500 \text{ kJ} - 203 \text{ kJ} = 4297 \text{ kJ}$$

El signo «+» significa un aumento de energía interna.

**49. Al quemar un mol de metano en un cilindro se produce en él una variación de energía interna de  $-892,4 \text{ kJ}$ . Si esto se utiliza a su vez para producir un trabajo de  $600 \text{ kJ}$  por expansión de la mezcla de combustión, ¿cuánto calor desprendió el sistema?**

Según la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta U = Q + W$$

La disminución de energía interna de  $892,4 \text{ kJ}$  ( $\Delta U = -892,4 \text{ kJ}$ ) tiene dos fuentes; un desprendimiento de energía térmica  $Q < 0$ , y una expansión que supone una «pérdida» de energía  $W$  en forma de trabajo ( $W = -600 \text{ kJ}$ ).

$$Q = \Delta U - W = 892,4 - (-600 \text{ kJ}) = -292,4 \text{ kJ}$$

**50. El balance energético terrestre es  $+1 \text{ W/m}^2$ , es decir, en estos momentos, la Tierra devuelve al espacio  $1 \text{ W/m}^2$  menos de lo que recibe del Sol, lo que, evidentemente, da lugar a un calentamiento global de la Tierra. Si volvemos a considerar al Mediterráneo como un sistema cerrado, ¿cuánto aumentará en un año la temperatura de ese mar a causa de ese vatio por metro cuadrado?**

Datos:

- Área del mar Mediterráneo:  $S \approx 2,5 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ .
- Profundidad media:  $h \approx 1,5 \text{ km}$ .

- **Densidad del agua del mar:**  $d_{AM} = 1,03 \text{ g/mL}$ .
- **$c_e$  (agua de mar):**  $c_{AM}$ ;  $4 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .
- **Temperatura del agua del mar:**  $T_{AM} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

El mar Mediterráneo recibe del Sol, en promedio,  $1 \text{ W/m}^2$ , es decir, en toda su área una potencia:

$$P = 1 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 2,5 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 \simeq 2,5 \cdot 10^{12} \text{ W}$$

En un año hay 8766 horas, y la energía recibida es:

$$E = 2,5 \cdot 10^{12} \text{ W} \cdot 8766 \text{ h} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 7,9 \cdot 10^{19} \text{ J}$$

Pero no toda esa energía será absorbida. En ausencia de más datos sobre el porcentaje reflejado digamos que la energía efectivamente absorbida por el mar es del orden de:  $E_{\text{ef}} \sim 10^{19} \text{ J}$ .

¿Cuánto calentará eso el agua del Mediterráneo?

$$E_{\text{ef}} = c_a \cdot m_M \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{E_{\text{ef}}}{c_a m_M}$$

↓	↓	
Calor específico del agua del Mediterráneo	Masa de agua del Mediterráneo	

Como  $c_a \simeq 4 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ :

$$\underline{m}_M = S \cdot h \cdot d_{AM} \text{ (densidad media)}$$

volumen = área · profundidad media

$$m_M = 2,5 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 \cdot 1500 \text{ m} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 4 \cdot 10^{18} \text{ kg}$$

Y con todo esto:

$$\Delta T \sim \frac{10^{19} \cancel{\text{J}}}{4 \cdot 10^3 \frac{\cancel{\text{J}}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 4 \cdot 10^{18} \cancel{\text{kg}}} \simeq 0,0006 \text{ }^\circ\text{C} \text{ por año}$$

### 51. ¿Qué significa que el coeficiente de dilatación de un gas vale $1/273 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ?

Que el coeficiente de dilatación de un gas valga:

$$\gamma = \frac{1}{273} (\text{ }^\circ\text{C})^{-1}$$

significa, teniendo en cuenta que para el volumen se cumple  $V_0 = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$ , que por cada  $^\circ\text{C}$  de cambio de temperatura, al volumen inicial se le suma (si  $T$  sube) o se le resta (si  $T$  baja)

una fracción  $\frac{1}{273}$  de ese volumen inicial.

O de otra manera, por cada grado de variación de temperatura, el volumen queda multiplicado (si  $T$  sube) o dividido (si  $T$  baja)

por un factor  $1 + \frac{1}{273}$ , aproximadamente 1,004.