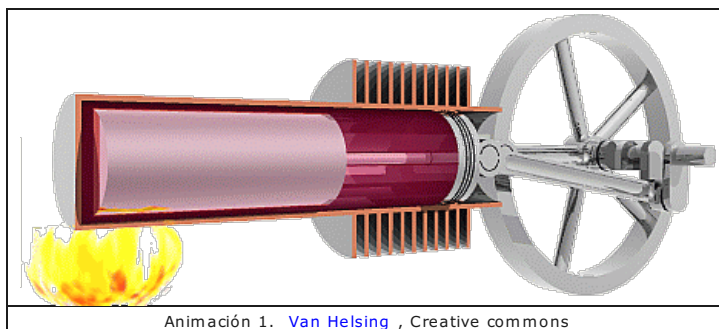


Coloquialmente nos referimos a que un objeto está caliente (o frío) en función de la sensación experimentada al interactuar con nuestro entorno mediante el sentido del tacto. Ahora bien, un café que para unas personas resulta excesivamente caliente, puede resultar templado para otras; análogamente ocurre con el agua de una piscina. Esto nos indica el carácter subjetivo de esta sensación, y provoca la necesidad de definir una magnitud que nos permita definir rigurosamente esta sensación: la temperatura.

Además en nuestra vida cotidiana continuamente nos encontramos con procesos en los que se producen cambios de temperatura e intercambios de calor, que pueden transformarse en trabajo mecánico y producir movimiento:



Animación 1. [Van Helsing](#) , Creative commons

En este tema estudiaremos qué se entiende por sistema en termodinámica y los principios generales que rigen la evolución de los mismos. La introducción del concepto de calor nos permitirá calcular la variación del valor de las variables que describen el sistema.

De este modo, verás como el intercambio de energía entre sistemas termodinámicos debe realizarse bien mediante la realización de un trabajo bien a través del intercambio de calor, lo que se conoce como primer principio de la termodinámica.

## 1. Termodinámica



El ser humano no es el animal más rápido ni el más fuerte, pero ha logrado un papel preponderante en nuestro planeta gracias a su habilidad para desarrollar nuevas tecnologías y servirse de ellas. De entre ellas, uno de los descubrimientos clave fue el uso del fuego para cocinar, dar calor y modificar y obtener nuevos materiales.

Por todo ello, el calor ha sido fundamental en la civilización, manteniendo su carácter "mágico" durante siglos, debido sobre todo a su naturaleza cambiante. Así, las primeras teorías científicas lo consideraron como un fluido misterioso que viajaba entre los cuerpos, hasta llegar a las teorías actuales en las que se considera como una manifestación del intercambio de energía.

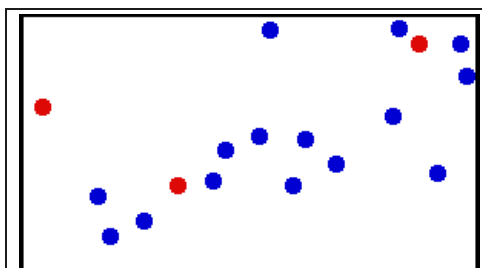
El estudio del calor dio lugar a una rama de la ciencia que se denominó **termodinámica**.



Imagen1. [Fotografeur](#) , Creative commons

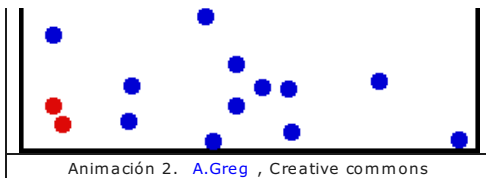
### Importante

La **termodinámica** es la parte de la Física que estudia los intercambios energéticos producidos entre un cuerpo y el entorno que lo rodea.



A la hora de iniciar el estudio de la termodinámica debe tenerse en cuenta una diferencia fundamental respecto a lo que has visto hasta ahora: mientras que en la dinámica y la cinemática los sistemas estudiados eran puntuales o por lo menos se consideraban como tales, involucrando un pequeño número de objetos, los sistemas reales constan de un número extraordinariamente grande de partículas, lo que impide su estudio clásico.

Las herramientas utilizadas por la termodinámica para tratar sistemas tan complejos se basan en el uso de técnicas estadísticas, que relacionan los aspectos microscópicos de las partículas continuamente moviéndose con las propiedades macroscópicas que percibimos. Así, no se describe el movimiento de cada partícula (lo cual resultaría inviable matemáticamente), pero sí el



comportamiento del sistema completo.

El modelo que nos permite esta abstracción es la denominada **teoría cinética**, que permite interpretar el comportamiento macroscópico de un sistema así como el concepto de temperatura. Ya has estudiado esta teoría en cursos anteriores, pero la idea fundamental que vas a utilizar a lo largo de este tema es que todas las sustancias están formadas por partículas que están en constante movimiento, y conforme aumenta su energía se mueven más y más rápidamente. Esto explica tanto los cambios de estados como el

concepto de presión, consecuencia del continuo choque de las partículas de los gases contra las paredes del recipiente que los contiene.

De acuerdo con esta teoría, veremos cómo la temperatura es una medida de la energía cinética media de las partículas que forman una sustancia.

## 1.1 Sistemas termodinámicos



En la definición que se ha dado de termodinámica, nos referimos a ella como la ciencia que estudia los intercambios de calor entre un cuerpo y su entorno, pero la mayor parte de las veces no nos interesará estudiar un único cuerpo, sino un conjunto de ellos, dentro de lo que se denomina **sistema termodinámico**.

### Importante

Se llama **sistema termodinámico** a la región del Universo separada del resto (el **entorno**) por una superficie cerrada, real o imaginaria, a través de la que se relaciona mediante intercambios de materia o energía.

Así pues, el Universo está formado a efectos termodinámicos por el sistema y su entorno.

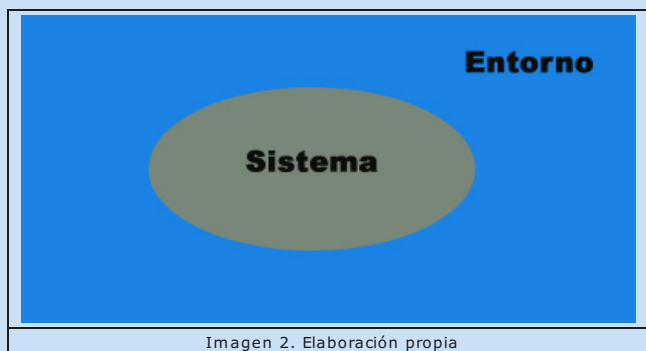


Imagen 2. Elaboración propia

La superficie que separa el sistema y su entorno suele denominarse pared, y en función de sus características, los sistemas termodinámicos pueden clasificarse en distintos tipos, según permitan o no el paso de algún tipo de energía o materia:

1. **Sistemas abiertos** : permiten el intercambio tanto de materia como de energía con el entorno.
2. **Sistemas cerrados** : permiten el intercambio de energía con el entorno, pero no el de materia.
3. **Sistemas aislados**: no permiten el intercambio ni de materia ni de energía con el entorno.
4. **Sistemas adiabáticos**: no permiten el intercambio de materia con el entorno ni el intercambio de energía en forma de calor con el entorno, pero sí permiten intercambiar energía con el entorno en forma de trabajo.

### Comprueba lo aprendido

Una lata de refresco sin abrir es un ejemplo de sistema termodinámico, pero ¿de

qué tipo es?



Imagen 3. ProhibitOnions  
dominio público

- ☐ Abierto.
- ☐ Cerrado.
- ☐ Aislado.
- ☐ Adiabático.

Dado que la termodinámica relaciona el movimiento microscópico de las partículas que componen el sistema con variables macroscópicas susceptibles de medirse en el laboratorio, es necesario escoger estas últimas de forma que caractericen completamente el sistema sin ambigüedad. Ejemplos de estas variables son la temperatura, la masa, la presión o el volumen del sistema, y reciben el nombre de **variables termodinámicas**.

Las variables termodinámicas pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Variables intensivas** : son aquellas que son independientes de la cantidad de materia presente en el sistema.
- **Variables extensivas** : son aquellas que dependen de la cantidad de materia que tiene el sistema.

Además, dentro de las variables termodinámicas existe un grupo especial de variables, aquellas cuyo valor depende únicamente de los estados inicial y final de un proceso termodinámico, independientemente de las etapas y del tiempo necesarios para realizarlo. Estas variables se denominan **funciones de estado**.

### Comprueba lo aprendido

La presión es una variable de tipo:

- ☐ Intensiva.
- ☐ Extensiva.

**Mostrar retroalimentación**

¿Y el volumen? En este caso es una variable:

- ☐ Intensiva.
- ☐ Extensiva.

**Mostrar retroalimentación**

## 1.2 Equilibrio térmico: concepto de temperatura



Como sabes, la noción de frío o calor es subjetiva y surge de la experiencia diaria, por lo que no resulta útil para realizar un tratamiento científico. Para ello es necesario introducir el concepto de temperatura como medida de la intensidad de

temperatura  
(K)

estas sensaciones, pero su definición debe ser lo suficientemente rigurosa como para que no exista ambigüedad.

Cuando ponemos en contacto dos cuerpos, uno más caliente que otro, experimentalmente se observa que el cuerpo caliente se va enfriando progresivamente, mientras que el cuerpo frío se va calentando. En términos de la magnitud que queremos definir, la temperatura, el cuerpo caliente disminuye su temperatura mientras que el cuerpo frío la aumenta. Si dejamos evolucionar el sistema el suficiente tiempo, llega un momento en el que la temperatura de los dos cuerpos ya no cambia, por lo que cesa el intercambio de energía. A este estado se le conoce como **equilibrio térmico**.

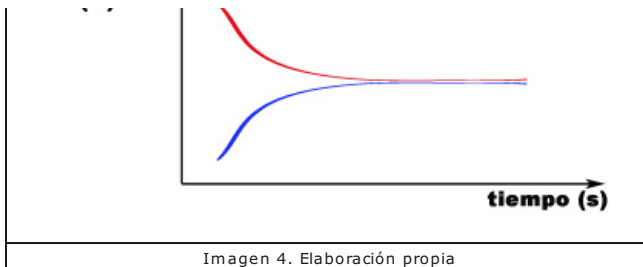


Imagen 4. Elaboración propia

Este hecho permite dar una primera definición de temperatura:

### Importante

La **temperatura** es la magnitud común a dos cuerpos que se encuentran en equilibrio térmico.

Esta definición se conoce también como el "*Principio cero de la termodinámica*".

También es posible dar una definición de temperatura como medida de la energía cinética de las partículas, esto es, del movimiento de las partículas, ya que cuanto más energía cinética tienen las partículas de un cuerpo, más rápidamente se mueven y se comprueba experimentalmente que su temperatura es mayor.

Según la teoría cinética, cuando dos cuerpos se ponen en contacto, se produce una transferencia de energía cinética de las partículas del cuerpo caliente a las del cuerpo frío hasta que en un momento dado la energía cinética media de las partículas de ambos cuerpos es similar, y por tanto tienen la misma temperatura.

### Importante

La **temperatura** de un cuerpo es una medida de la energía cinética media de las partículas que lo forman.

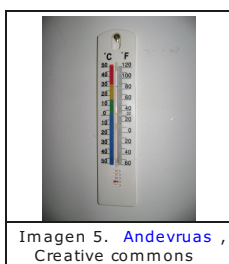


Imagen 5. Andevruas , Creative commons

Esta aproximación microscópica al concepto de temperatura nos resultará útil en el estudio del calor y su transmisión.

Ahora tienes una idea clara de lo que es la temperatura, pero para que sea útil necesitamos saber medirla.

Los dispositivos que miden la temperatura se denominan **termómetros**. Los más habituales eran los de mercurio (ahora prohibidos por los daños medioambientales que puede producir este metal), basados en la relación entre la longitud de la columna de mercurio y la temperatura. En los termómetros actuales se utiliza la variación de la conductividad de determinados metales al cambiar la temperatura.

Los termómetros miden las temperaturas según una **escala termométrica**, que permiten graduarlos.

Para ello se escogen dos fenómenos que ocurran siempre a la misma temperatura, que se denominan puntos fijos. Posteriormente se les asigna arbitrariamente una temperatura y se divide el intervalo entre ellos en partes iguales, cada una de las cuales le da la denominación de grado (excepto en la escala Kelvin, en la que se prescinde de esta denominación).

Actualmente siguen utilizándose tres escalas:

	Escala Celsius (°C)	Escala Fahrenheit (°F)	Escala Kelvin o Absoluta (K)
<b>Punto Fijo 1</b>	Fusión hielo; 0	Fusión hielo; 32	Cero absoluto; 0
<b>Punto Fijo 2</b>	Ebullición agua; 100	Ebullición agua; 212	Punto triple del agua; 273
<b>Divisiones</b>	100	180	273
<b>Uso principal</b>	Vida cotidiana	Países anglosajones	Ciencia y tecnología

La transformación entre valores para las escalas termométricas puede obtenerse a partir de las siguientes relaciones:

- $T(K) = T(^{\circ}C) + 273$
- $T(^{\circ}C)/100 = (T(^{\circ}F) - 32)/180$

## Importante

La unidad de temperatura en el Sistema Internacional es el **Kelvin** y es la unidad que debes utilizar a la hora de resolver aquellos problemas en los que aparezcan temperaturas.

Un Kelvin tiene el mismo tamaño que un grado Celsius, por lo que los intervalos entre temperaturas son equivalentes en ambas escalas.

## Comprueba lo aprendido

Un termómetro situado en el aeropuerto de New York marca una temperatura de 77 °F, ¿Cuál es la temperatura en grados Celsius y en Kelvin?



- ☐ 27 °C y 300 K
- ☐ 25 °C y 300 K
- ☐ 25 °C y 298 K
- ☐ 27 °C y 298 K

## 2. El calor



Cuando se ponen en contacto dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, se verifica una transferencia de energía desde el cuerpo más caliente al más frío, de forma que el primero se enfría mientras que el segundo se calienta. Esta transferencia se realiza entre sistemas sin que exista trabajo realizado. Este hecho sirve como definición de calor:

## Importante

Se denomina **calor (Q)** al proceso de transferencia de energía entre dos sistemas a diferente temperatura sin que se realice ningún trabajo.



El concepto de calor como energía en movimiento nos permite explicar qué es lo que ocurre cuando se ponen en contacto dos sistemas que tienen distinta temperatura, que como has estudiado alcanza finalmente la situación de equilibrio térmico.

Al entrar en contacto estos sistemas, se produce un intercambio de energía en forma de calor desde el sistema más caliente hasta el más frío, hasta que las temperaturas se igualan. Esto no quiere decir que en ese momento cese todo intercambio de calor -de hecho están produciéndose continuamente- sino que en promedio la energía intercambiada entre los sistemas es la misma, por lo que no se produce variación en la temperatura.

Cuando un sistema está en equilibrio térmico, todas sus partes tienen la misma temperatura; ahora prueba a tocar con una mano la mesa o un libro que tengas cerca y con la otra cualquier objeto metálico. ¿Cuál de los dos está más caliente?

Ambos están a la misma temperatura, pero entonces ¿por qué parece que el metal está más frío? La respuesta tiene que ver con una propiedad de la materia: la **conductividad térmica**. No todos los materiales conducen igual de bien el calor; concretamente, los metales conducen muy bien el calor y, por ello, el calor fluye rápidamente de nuestra mano al objeto



Imagen 6. Dontpanic, Creative commons

metálico, y este calor extraído de nuestro cuerpo es lo que nos da la sensación de frío. La madera o el papel son malos conductores, y por ello el calor fluye más lentamente y parecen más calientes.

Pero el calor no se transmite únicamente mediante conducción, sino que existen otros mecanismos de gran importancia: la convección y la radiación, que trataremos posteriormente.



## 2.1 Medida del calor transferido

Cuando se transfiere energía en forma de calor a un cuerpo, su temperatura aumenta como consecuencia del incremento de la energía cinética media de sus partículas. Como en cualquier disciplina científica, es necesario poder cuantificar esta transferencia para realizar cálculos y predicciones en aquellas circunstancias en las que interviene el calor.

Dado que, como se ha visto, el calor es una forma de energía, su unidad en el sistema internacional será el julio (J), aunque existe otra unidad de uso habitual en la medida del calor: la caloría.

### Importante

El calor se mide en el S.I. en **julios (J)**, pero también en **calorías (cal)**. Una caloría se define como la energía necesaria para elevar un grado la temperatura de un gramo de agua. La relación entre julio y caloría es:

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$$

Vas a realizar una experiencia, en la que suministrarás la misma cantidad de calor a dos recipientes que contienen igual masa de alcohol y agua. Para ello, abre la siguiente [animación](#). Para comenzar debes pulsar el botón Play de la parte inferior derecha.

A la vista de los resultados, ¿se calientan de la misma manera ambas sustancias? ¿Cuál se calienta más rápidamente?

Si tienes dudas para responder, repite otra vez la experiencia, pulsando el botón de inicio. Observarás que el alcohol aumenta significativamente más rápido su temperatura, hasta que alcanza su temperatura de ebullición, momento en el que cesa de aumentar. Análogamente ocurre con el agua, que se calienta más lentamente y tiene un punto de ebullición más alto.

Puedes obtener la misma información interpretando la gráfica de calentamiento.

Por tanto, es necesario introducir una nueva magnitud que exprese el diferente comportamiento de las sustancias al ser calentadas.

Si se transfiere una misma cantidad de calor a dos sistemas distintos, el aumento de temperatura experimentado por cada uno de ellos no es siempre el mismo, sino que depende de su naturaleza y composición. El parámetro que relaciona el incremento de la temperatura con el calor suministrado se denomina **calor específico ( $c_e$ )**, definido como la energía absorbida al calentarse por un kilogramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado, y es característico de cada sustancia. El calor específico se mide en el S.I. en J/(kg·K).

El aumento de temperatura viene dado por tanto por el cociente:  $\Delta T = \frac{Q}{c_e \cdot m}$ , de modo que el calor intercambiado puede

escribirse como:  $Q = m \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)$

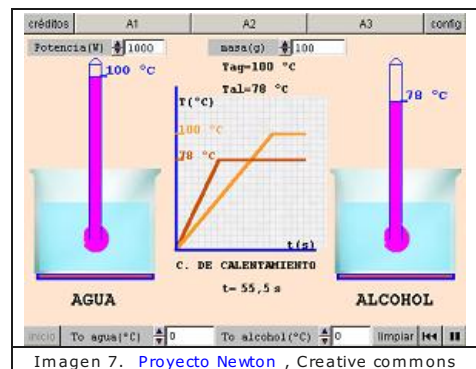


Imagen 7. Proyecto Newton, Creative commons

### Importante

La energía transferida a un cuerpo de masa  $m$  para que su temperatura pase de una inicial ( $T_i$ ) a otra final ( $T_f$ ) viene dada por la expresión:

$$Q = m \cdot c_e \cdot (T_f - T_i)$$

donde  $c_e$  es el calor específico de la sustancia en cuestión.

Destacar también que, debido a que aparece una diferencia de temperaturas, es equivalente utilizar la escala Kelvin que la Celsius, pues según se ha visto, ambos grados son equivalentes.

Esta relación explica por qué es necesario suministrar más calor a unas sustancias que a otras para aumentar su temperatura:



cuanto mayor sea su calor específico, más energía será necesario suministrar. Por ejemplo, los metales tienen un calor específico relativamente bajo, mientras que la madera o el agua lo tienen elevado.

### Ejercicio resuelto

Una cacerola contiene medio litro de agua a 25 °C. Si el calor específico del agua es de 4180 J/(kg·K), calcula la cantidad de energía necesaria para llevar todo el agua a la temperatura de ebullición (100 °C).

**Mostrar retroalimentación**

### Reflexiona

Cuando suministramos 67500 J en forma de calor a un bloque de acero, observamos que su temperatura aumenta 75 °C. Si el calor específico del acero es de 450 J/(kg·K), ¿cuál es la masa del bloque?

**Pulse aquí**

## 2.2 Mecanismos de transmisión del calor



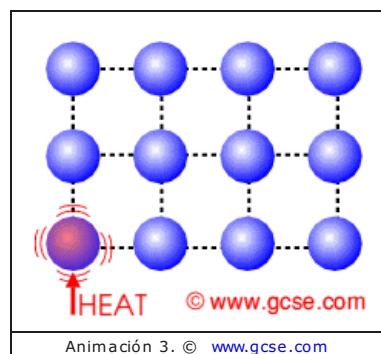
Has visto que el calor es un procedimiento para transferir energía entre sistemas, pero ¿cómo se realiza esta transferencia?

La transmisión de calor entre sistemas puede realizarse de tres formas diferentes:

### 1) Transmisión por conducción

La transmisión por conducción se produce cuando la energía se propaga debido a los choques entre las partículas, de forma que en cada choque las partículas ceden parte de su energía cinética a las partículas con las que interaccionan, todo ello sin que haya transporte neto de materia.

Este tipo de transmisión es el que tiene lugar al calentar una barra metálica por un extremo: en ese punto las partículas del metal comienzan a moverse más rápidamente, chocan con las partículas vecinas y la energía se transmite hasta alcanzar el otro extremo, que aumenta su temperatura. Este tipo de transmisión es característico de los sólidos, ya que los líquidos conducen muy mal y los gases prácticamente no conducen. Dentro de los sólidos existen muy buenos conductores, como los metales y malos conductores, como la madera o el papel.



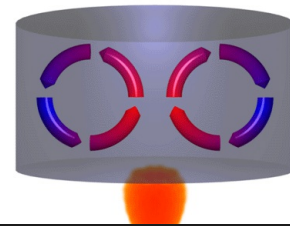
### Importante

En la **conducción** la energía se transporta debido a los choques entre partículas, pero sin que exista desplazamiento neto de materia.

### 2) Transmisión por convección

La transmisión por convección es típica de los fluidos. En el se produce un transporte de energía asociado al desplazamiento de las partículas con mayor velocidad, que desplazan a las más lentas. La razón es las diferencias de densidad que se producen al calentar el fluido.

La atmósfera o los océanos tienen dinámicas debidas a esta forma de transmisión de calor.



Animación 4. [Oni Lukos](#) , Creative commons

## Actividad

En la **convección** la energía se propaga debido a la diferencia de densidad entre los fluidos calientes y fríos. En ella existe transporte de materia.



Imagen 8. [R. Oostdy](#) , Creative commons

En un fluido las zonas más calientes tienen mayor volumen y por tanto menor densidad, por lo que ascienden sobre las zonas más frías que por la misma razón descienden, dando lugar a las denominadas corrientes de convección, que provocan que la temperatura se iguale en todo el volumen. Este proceso tiene lugar tanto en el calentamiento de una cacerola o al caldear una habitación mediante la calefacción. La diferencia de densidades también es la responsable del vuelo de los globos aerostáticos, al ser menos denso el aire caliente contenido en el interior que el que hay en el exterior.

### 3) Transmisión por radiación

Los dos medios de transmisión anteriores precisan de un medio material, pero sin embargo recibimos continuamente la energía del Sol a través del vacío cósmico, por lo que deberá existir una tercera forma de transmisión del calor: se trata de la transmisión por radiación. Todos los cuerpos radian energía, tanto más cuanto mayor sea su temperatura.

En función de la temperatura, la radiación emitida puede ser visible o no. Así, a bajas temperaturas no es visible, mientras que al aumentar ésta el objeto comienza a brillar desde el rojo hasta el blanco. Este fenómeno permite determinar la temperatura de un cuerpo.



Imagen 9. [Debivort](#) Creative commons

## Actividad

La **radiación** es la propagación de energía mediante ondas electromagnéticas que emiten todos los cuerpos por el hecho de tener temperatura por encima del cero absoluto. En ella se transporta energía sin transporte de materia.

Cuando queremos conservar un líquido caliente durante largo tiempo sin necesidad de suministrarle calor, utilizamos un termo como el de la imagen. ¿Sabrías explicar su funcionamiento? ¿Funcionará igual para mantener un líquido frío?

**Pulse aquí**





## 2.3 Efectos del calor sobre los cuerpos



Aparte del lógico aumento de la temperatura en los cuerpos, cuando se calienta un cuerpo pueden producirse otra serie de efectos, entre los que destacan dos:

### 1) Cambios de estado

Al comunicar energía a una sustancia, según la teoría cinética de la materia aumenta la energía cinética de sus partículas, de forma que comienzan a moverse más rápidamente, siendo más probable que adquieran la energía necesaria como para vencer las fuerzas que las mantienen unidas, cambiando su configuración.

Cuando se calienta un sólido, las partículas que se encuentran en posiciones prácticamente fijas comienzan a vibrar con mayor amplitud y velocidad, hasta que se funde. Al alcanzar el punto de energía cinética máxima, la energía adicional se emplea en vencer las fuerzas que mantienen las partículas unidas entre sí, abandonando sus posiciones y pasando al estado líquido.

En este proceso de cambio de estado se produce un intercambio de calor, positivo en el caso de paso de sólido a líquido y negativo pero de igual valor que el anterior en el paso de líquido a sólido, que se utiliza en romper las uniones que mantienen unidas las partículas:

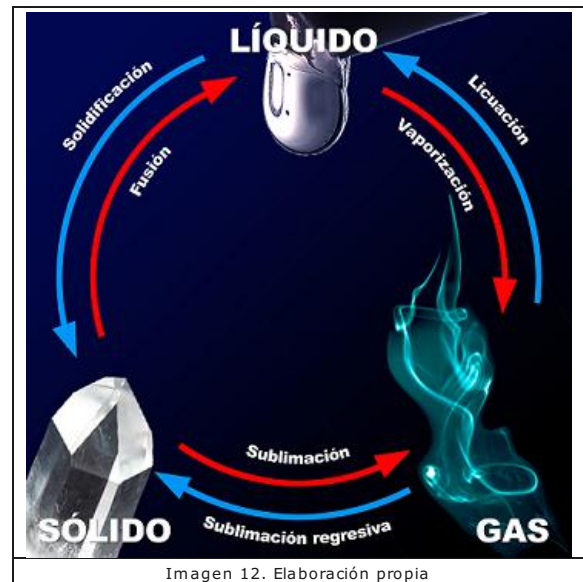


Imagen 12. Elaboración propia

### Actividad

Se denomina **calor latente (L)** a la energía intercambiada para producir el cambio de estado de un kilogramo de materia:

$$Q = m \cdot L$$

El calor latente se mide en J/kg.

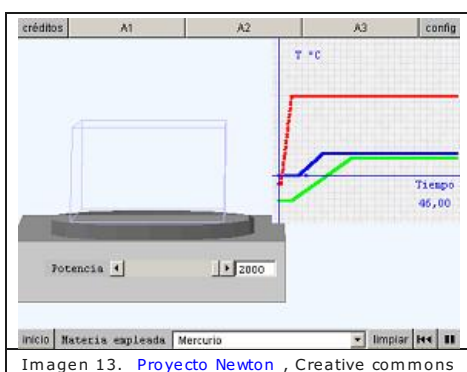


Imagen 13. Proyecto Newton , Creative commons

Vas a simular ahora el proceso de calentamiento de distintas sustancias en esta [animación](#), en la cual primero cambiarás la potencia hasta su valor máximo (2000 W) para que el proceso se realice lo más rápidamente posible. Luego, para comenzar debes pulsar el botón Play en la parte inferior derecha y observar qué es lo que ocurre al calentar el bloque de hielo. Ahora cambia la sustancia en la lista desplegable por alcohol y vuelve a comenzar el proceso. Haz lo mismo con el mercurio.

Observa la gráfica resultante. ¿Qué tienen en común las tres sustancias?

Cuando comienza a producirse el cambio de estado, la gráfica de la temperatura frente al tiempo es una recta horizontal, es decir, la temperatura no cambia durante un cambio de estado.

Esto ocurre porque la energía se utiliza para romper los enlaces entre partículas en vez de incrementar la temperatura del sistema: **mientras se produce un cambio de estado la temperatura del cuerpo permanece constante**.

La explicación en los restantes cambios de estado según la teoría cinética es similar a la que se ha dado para el caso de sólido a líquido. Esta existencia de distintos cambios de estado implica la existencia de distintos calores latentes: calor latente de fusión ( $L_f$ ), calor latente de vaporización ( $L_v$ ) y calor latente de sublimación ( $L_s$ )

Colocamos sobre un plato un cubito de hielo de 50 g que se encuentra inicialmente a una temperatura de  $-15^{\circ}\text{C}$ . Al cabo de unas horas volvemos y encontramos que se ha transformado en agua que se encuentra a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ).

¿Qué energía se ha suministrado al hielo para efectuar esta transformación?

Datos:  $c_{\text{e\_hielo}} = 2100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,  $c_{\text{e\_agua}} = 4180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,  $L_{\text{fusión}} = 3.34 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$

**Mostrar retroalimentación**

## Reflexiona

Calcula la energía necesaria para evaporar totalmente 100 g de agua a  $90^{\circ}\text{C}$ .

Datos:  $c_{\text{e\_agua}} = 4180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ,  $L_{\text{evaporación}} = 2.26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$

**Pulse aquí**



Imagen 14. Wadester16 ,  
Creative commons

### 2) Dilatación térmica

Al aumentar la energía cinética de las partículas, aumenta su movilidad lo que lleva asociado un incremento del tamaño del cuerpo; a este fenómeno se le denomina **dilatación**.

La dilatación se produce en todos los estados de la materia:

- Dilatación de sólidos. Se caracteriza por el coeficiente de dilatación lineal  $\alpha$ , definido como el alargamiento por unidad de longitud producido al aumentar la temperatura un grado:  $L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ . Este coeficiente es característico de cada material y se mide en  $\text{K}^{-1}$  en unidades del S.I.
- Dilatación de líquidos. Los líquidos se dilatan más que los sólidos, pero sabemos que toman la forma del recipiente que los contiene, que a su vez también se dilata, por lo cual su dilatación real será la resultante de la dilatación del líquido menos la del recipiente.
- Dilatación de gases. Los gases se dilatan aún más que los líquidos, aunque, a diferencia de éstos, todos los gases se dilatan por igual.

En ingeniería es muy importante tener en cuenta los efectos de la dilatación a la hora de construir edificios o carreteras. De hecho, si observas cualquier viaducto suficientemente largo, observarás cómo, cada cierta distancia, existen unas separaciones entre los bloques de asfalto, similares a las que se ven en la imagen. A estos dispositivos se les denomina **juntas de dilatación** y se instalan precisamente para que los efectos de ésta no dañen la estructura del puente. Algo similar ocurre con los raíles en las vías de los trenes.

En las montañas rusas también hay juntas de dilatación, para conseguir que no se compriman al dilatarse con las altas temperaturas del verano, y por efecto del calor desprendido por el rozamiento de las vagonetas cuando se mueven.

## Reflexiona

Una barra de acero tiene una longitud de 100 m medida a  $20^{\circ}\text{C}$ . Al calentarla hasta  $50^{\circ}\text{C}$  se encuentra que su longitud ha aumentado en 3.6 cm. ¿Cuál es el coeficiente de dilatación  $\alpha$  del acero?

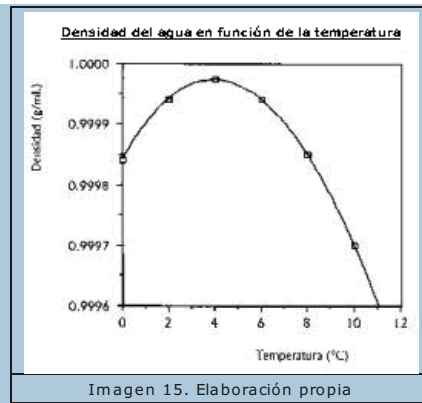
**Pulse aquí**

## Curiosidad

### Dilatación anómala del agua

El agua, a diferencia de la mayor parte de sustancias, *disminuye* de volumen con el aumento de temperatura en el intervalo entre 0 °C y 4 °C . Dicho en otras palabras, en este intervalo el coeficiente de dilatación del agua es negativo. Lo mismo ocurre cuando se congela.

Este comportamiento es fundamental en la vida en la Tierra, ya que cuando un lago se enfría, el agua fría de la superficie desciende al fondo por su mayor densidad; ahora bien, cuando la temperatura llega a los 4 °C este movimiento cesa. Además, como el hielo es menos denso que el agua, flota y actúa como aislante evitando que siga perdiéndose calor. Esto provoca que los lagos se congelen más fácilmente y permite que los seres vivos que soportan bien el agua fría pero no el hielo continúen con vida. Este hecho fue básico durante las glaciaciones para evitar la extinción de numerosas especies.



## 3. Primer principio de la termodinámica



En todo sistema termodinámico, existen dos formas de aumentar o disminuir su energía:

### 1. Mediante la realización de un trabajo (W)

Imaginemos una jeringuilla clínica a la que hemos obturado la boca, de forma que no pueda escapar el gas contenido en su interior. Si ahora empujamos el **émbolo** presionando, el gas se comprime. El sistema termodinámico ha cambiado sus variables, ahora la presión es mayor y el volumen es menor. De hecho, la energía del sistema ha aumentado, como podemos comprobar si dejamos en libertad el émbolo, momento en el que se desplazará en sentido contrario hasta recuperar su posición inicial. La situación es similar a la compresión de un muelle.

La característica del trabajo como transferencia de energía es que el movimiento de las partículas es ordenado, visible a escala macroscópica.

### 2. Mediante el intercambio de calor (Q)

Otra forma más común para intercambiar calor entre sistemas es a través de su calentamiento; según se vio al comienzo del tema, cuando se ponen en contacto dos sistemas a diferente temperatura se produce una transferencia de energía en forma de calor del cuerpo más caliente hacia el más frío. Este mecanismo es el utilizado para cocinar o calentar una habitación. También en el proceso de cambio de estado debe transferirse calor para que éste se produzca.

Cuando se transfiere energía en forma de calor, éste se transmite en forma de choques a escala de partículas, provocando el movimiento desordenado de las partículas del sistema.

### Actividad

El intercambio de energía entre sistemas puede realizarse de dos formas:

- En forma de **trabajo** cuando alguna fuerza provoca un desplazamiento.
- En forma de **calor** cuando existe diferencia de temperaturas o se produce un cambio de estado.

La transferencia de energía de una u otra forma es equivalente, tal y como demostró a mediados del siglo XIX el inglés J. Joule, demostrando en su experiencia que la realización de un trabajo podía aumentar la temperatura de un sistema térmicamente aislado en su famoso experimento, que puedes simular en la siguiente animación:

Animación 5. [Ángel Franco García](#) con permiso de uso exclusivamente educativo.

En ella se transforma la variación de la energía potencial de las masas al caer en trabajo de rotación de una pala, que a su vez la transmite al sistema como movimiento de sus partículas y el consiguiente incremento de temperatura.

Modificando la masa del peso colgante, es posible variar la energía potencial. Puedes comprobar cómo cuanto mayor es ésta, mayor es el aumento de la temperatura del sistema. También puedes observar cómo al aumentar la masa de agua, el incremento de la temperatura es menor para una misma masa.

Tienes un recipiente que contiene 200 g de agua a 20 °C.

- a) Utilizando la simulación anterior, determina desde qué altura es necesario dejar caer una pesa de 300 kg para elevar su temperatura 2 °C.

**Mostrar retroalimentación**

- b) ¿Cuál ha sido el trabajo realizado por la pesa en su caída?

**Mostrar retroalimentación**

- c) ¿Y el calor necesario para calentar el agua? Dato:  $c_{e\_agua} = 4180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .

**Mostrar retroalimentación**

- d) ¿Observas alguna relación entre los resultados anteriores?

**Mostrar retroalimentación**

## Comprueba lo aprendido

Indica si las siguientes afirmaciones relativas al calentamiento del aire contenido en un globo son verdaderas o falsas:

- a) Al calentar el aire contenido en un globo, éste se expande.

Verdadero ☐ Falso ☐

- b) El resultado es el mismo si se le transfieren 200 J de energía calentándolo que si se transfieren 200 J realizando un trabajo.

Verdadero ☐ Falso ☐

- c) En el proceso termodinámico de calentamiento no se realiza ningún trabajo.

Verdadero ☐ Falso ☐

## 3.1 Energía interna



En primer lugar hay que definir el concepto de energía interna, que será la contenida dentro de nuestro sistema, independientemente de sus interacciones con el entorno o su estado de movimiento. Por tanto:

### Importante

Se denomina **energía interna (U)** de un sistema a la suma de las energías cinética y potencial de todas las partículas que lo componen. Debido a la gran cantidad de partículas involucradas, es imposible medir la energía interna de un sistema, por lo que únicamente pueden medirse las variaciones de la misma.

En el tema dedicado a la energía vimos que la energía total contenida en un sistema es constante, que se conserva en todo momento. Así podemos particularizar la ley de conservación de la energía a un sistema termodinámico aislado. En tal caso, no existe intercambio de materia con el entorno con lo que, según se ha visto, únicamente puede transferirse energía en forma de trabajo o de calor, lo que da lugar al enunciado del **primer principio de la termodinámica** :

### Importante

La variación de la energía interna (U) de un sistema es igual a la suma de la energía suministrada en forma de

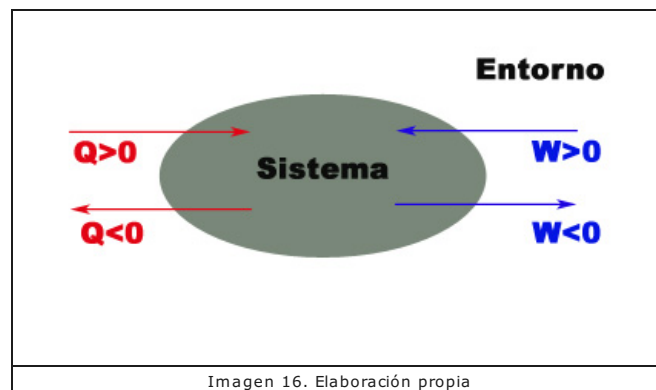
trabajo (W) más la aportada en forma de calor (Q). Matemáticamente:

$$\Delta U = Q + W$$

Resulta necesario establecer un convenio de signos para la energía intercambiada, en el que se considerará positivo todo intercambio de energía, ya sea en forma de trabajo o de calor, que aumente la energía interna del sistema, y negativo si la disminuye. Así:

- Si el entorno realiza un trabajo sobre el sistema, aumenta la energía interna del sistema y  $W > 0$
- Si el sistema realiza un trabajo sobre el entorno, disminuye la energía interna del sistema y  $W < 0$
- Si el sistema se calienta, aumenta la energía interna y por tanto  $Q > 0$
- Si el sistema se enfría, la energía interna disminuye y  $Q < 0$

En la imagen siguiente puedes observar gráficamente este convenio:



## Actividad

Los sistemas termodinámicos no se caracterizan por tener trabajo ni calor, sino que tienen energía interna. Trabajo y calor simplemente son las formas de variar su energía interna.

Un recipiente contiene 200 g de aceite a 40 °C de temperatura. Si el calor específico del aceite es  $c_{e\_aceite} = 1680 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ , responde a las siguientes cuestiones:

a) Si mediante un agitador realizamos un trabajo de 5000 J y el sistema pierde hacia su entorno 5000 J en forma de calor, ¿cuál será el incremento en la energía interna del sistema? ¿Y la temperatura final del aceite?

**Mostrar retroalimentación**

b) Y si ahora aumentamos el trabajo realizado a 10000 J y el sistema sigue perdiendo hacia su entorno 5000 J en forma de calor, ¿cuál será el incremento en la energía interna del sistema? ¿Y la temperatura final del aceite?

**Mostrar retroalimentación**

Para refrigerar el agua de un depósito aislado que contiene 70 kg de agua a 85 °C se añaden 30 kg de agua fría a 25 °C.

Cuando se alcance el equilibrio, ¿cuál será la temperatura final de la mezcla? Dato:  $c_{e\_agua} = 4180 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$

**Pulse aquí**

## 3.2 Transformaciones termodinámicas



Los sistemas termodinámicos no son estáticos, sino que están en continua transformación, evolucionando entre distintos estados en lo que se conoce como **transformación termodinámica**.

Aplicando el primer principio de la termodinámica es posible encontrar expresiones simplificadas para las variables termodinámicas en los procesos en los que una de ellas permanece constante.

Observa la siguiente simulación, que permite reproducir cuatro de estos procesos. Tendrás que fijar el campo indicado en la última línea y pulsar el botón de "*Calcular*" para comenzar el proceso.

Fíjate sobre todo en cómo cambia el valor del trabajo ( $W$ ), calor ( $Q$ ) y energía interna ( $U$ ) en cada uno de los procesos. Repítelo para cada uno de los casos.

Animación 6. [Ángel Franco García](#) con permiso de uso exclusivamente educativo.

Como habrás podido observar, las características básicas de cada una de estas transformaciones resultan ser:

### 1. Transformación isóbara ( $P = \text{cte}$ )

Es el tipo de transformación más común; de este tipo son todas las transformaciones que ocurren en recipientes abiertos a la atmósfera, como un tubo de ensayo. Están caracterizadas porque la presión no varía en el proceso. En ella se intercambia energía tanto en forma de calor como de trabajo:

$$\Delta U = Q + W$$

### 2. Transformación isócara ( $V = \text{cte}$ )

Una transformación es isócara cuando se produce en un recipiente cerrado, en el que no varía el volumen. Una olla a presión es un ejemplo típico de transformación isócara. La característica principal de este tipo de transformaciones es que, al no haber desplazamiento, no se realiza trabajo y por tanto sólo se intercambia energía en forma de calor:

$$\Delta U = Q$$

### 3. Transformación isotérmica ( $T = \text{cte}$ )

En una transformación isotérmica la temperatura del sistema no varía. Según la teoría cinética, si su temperatura no varía, la energía interna del sistema tampoco lo hace, por lo que en este tipo de transformaciones  $\Delta U = 0$  y entonces todo el calor transferido al sistema se utiliza en producir un trabajo:

$$Q = W$$

### 4. Transformación adiabática ( $Q = 0$ )

En este último tipo de transformaciones no se produce ningún intercambio de energía en forma de calor entre el sistema y su entorno y por ello el intercambio de energía se produce únicamente en forma de trabajo:

$$\Delta U = W$$

*Para saber más*

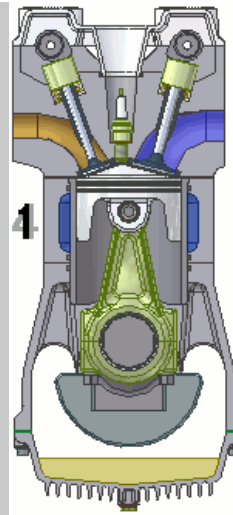
**Funcionamiento de un motor de combustión**



Un motor de combustión es una máquina termodinámica que sigue un proceso cíclico que, en el caso de motores de cuatro tiempos de gasolina, es el siguiente:

1. **Admisión** : la mezcla de gasolina y aire entra al cilindro a través de la válvula de admisión, con la válvula de escape cerrada. Se trata de una expansión adiabática.
2. **Compresión** : la válvula de admisión se cierra, el pistón comprime la mezcla y en el momento de máxima presión, la bujía produce una chispa que inflama la mezcla. Es una compresión.
3. **Explosión** : con las válvulas cerradas, el gas caliente se expande, empujando el pistón y realizando trabajo. Esta etapa es otra expansión adiabática.
4. **Escape** : el pistón asciende, empujando los gases hasta la válvula de escape, que ahora está abierta y expulsándolos. De nuevo se trata de una compresión. Al final de esta etapa, el motor queda preparado para la siguiente fase de admisión.

En la animación puedes observar el funcionamiento de un motor de gasolina de cuatro tiempos.



Animación 7. [UtzonBike](#) , Creative commons

## Comprueba lo aprendido

Dados los siguientes procesos, indica en cuál de ellos el calor intercambiado es mayor:

- a) Transformación isocórica en la que su energía interna aumenta en 250 calorías.

Verdadero ☐ Falso ☐

- b) Compresión adiabática entre 2 atm y 5 atm.

Verdadero ☐ Falso ☐

- c) Expansión isotérmica con un trabajo realizado de 1000 J.

Verdadero ☐ Falso ☐