



**UC** | Chile

# Termodinámica (FIS1523)

## Energía y calor

**Felipe Isaule**  
felipe.isaule@uc.cl

Lunes 24 de Marzo de 2025

# Clase 6: Energía y calor

- Energía y sus formas.
- Mecanismos de transferencia de calor.

- Bibliografía recomendada:
  - Cengel (2.1, 2.2, Tema de interés especial\*).

# Clase 6: Energía y calor

- **Energía y sus formas.**
- Mecanismos de transferencia de calor.

# Energía

- La **energía** es una **cantidad** que se **conserva** (1<sup>ra</sup> Ley de la Termodinámica) y que puede ser **transferida**.
- La **energía total** usualmente la denotamos por  $E$ . La **energía por unidad de masa**  $e$  es simplemente:

$$e = E/m.$$

- En el SI la energía se mide en **Joules**:

$$J = N \cdot m = kg \frac{m^2}{s^2}.$$

- Tal como se vió en el curso de Dinámica, en Termodinámica sólo nos interesan las **diferencias de energía**.

# Formas de energía

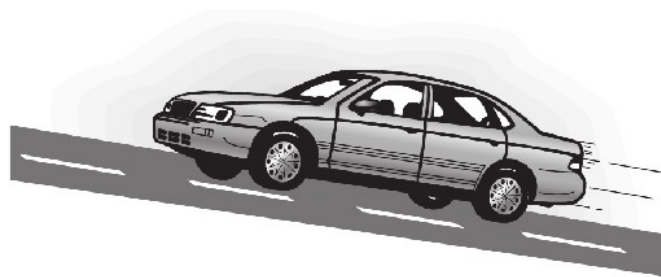
- La **energía** puede tomar **distintas formas**:
  - Mecánica, electromagnética, nuclear, masa, etc
- La energía puede ser **almacenada** (estática) o ser **transferida** (dinámica).
- Una manera importante de dividir las formas de energía es entre formas **macroscópicas** y **microscópicas**.



# Formas de energía macroscópicas

- Las formas **macroscópicas** son aquellas que posee un sistema o cuerpo respecto a un **marco de referencia** exterior.
- Se relacionan con el **movimiento macroscópico** (energía cinética) y **efectos externos** (energía potencial) como gravitacionales y electromagnéticos.

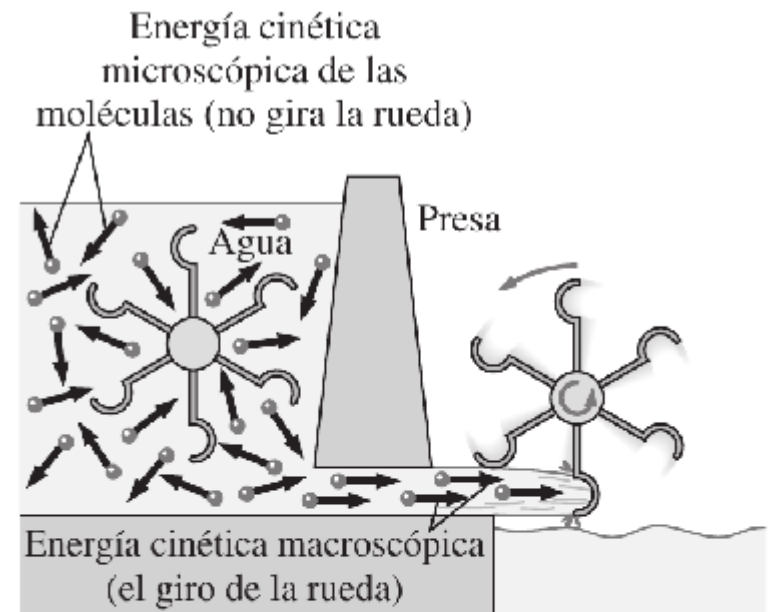
$$E_{\text{cinetica}} = \frac{1}{2}mv^2, \quad E_{\text{potencial, grav.}} = mgh.$$



La energía macroscópica de un objeto cambia con la velocidad y la altura.

# Formas de energía microscópicas

- Las formas **microscópicas** son aquellas relacionadas con la **estructura molecular** de los materiales.
- **No dependen del sistema de referencia** externo.
- Las **suma** de todas las energías **microscópicas** se denomina **energía interna**, denotada  $U$ .
- La **energía total** de un sistema es la **suma** de la **interna** y **macroscópica total**.

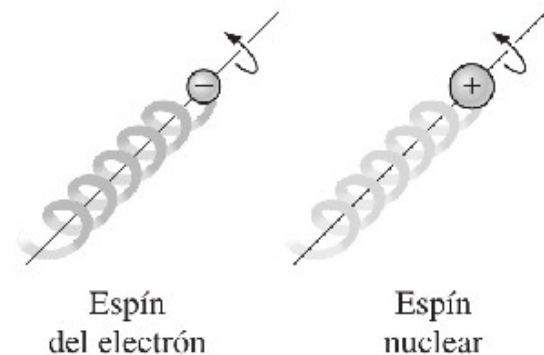
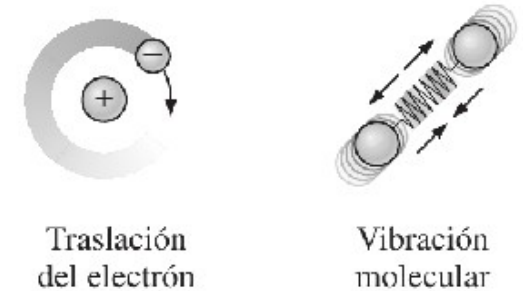
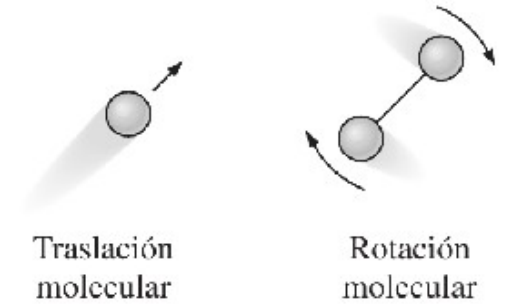


La energía cinética *macroscópica* es una forma organizada de energía y es mucho más útil que las energías cinéticas *microscópicas* desorganizadas de las moléculas.

$$E = U + E_{\text{cinetica}} + E_{\text{potencial}}$$

# Energía interna

- Diversos comportamientos **microscópicos** aportan a la energía interna (ver figura).
- Las porción **cinética** de la energía interna se denomina **energía sensible**.
- La porción asociada a la **fase de la materia**, es decir a las fuerzas de enlace, se llama **energía latente**.
- Las energías sensibles y latentes son las más relevantes en este curso.
- Otras formas de energía interna incluyen la **energía química**, asociada a los enlaces atómicos, y la **nuclear**.

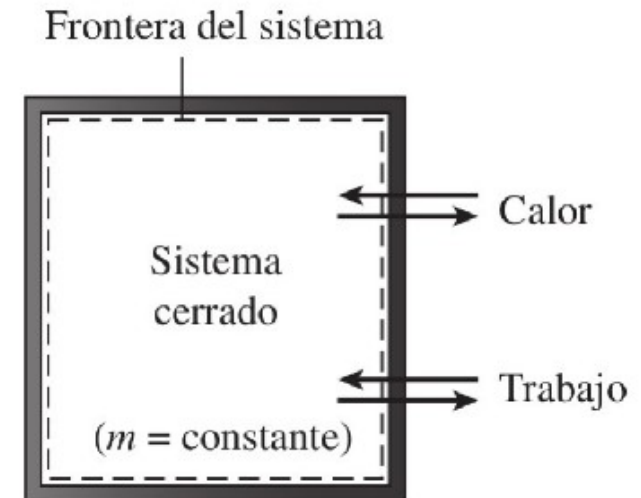


Diversas formas de energías microscópicas constituyen la *energía sensible* o *energía cinética de las moléculas*.



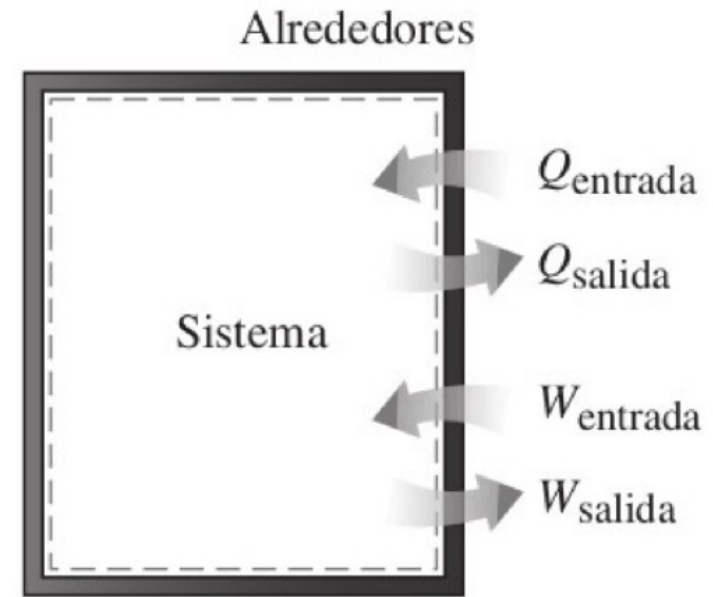
# Calor y trabajo

- **Sistemas cerrados** pueden ganar o perder energía **sólamente** mediante **transferencias** de **calor** o **trabajo**.
- **Calor**:
  - El **calor**  $Q$  es **energía transferida** debido a una **diferencia de temperatura** (ver clase sobre Ley 0).
  - El **flujo de calor** se **detiene** al alcanzar el **equilibrio térmico**.
  - Es una transferencia **microscópica** asociado al movimiento de las moléculas y átomos.
- **Trabajo**:
  - El **trabajo**  $W$  es producido por **fuerzas mecánicas macroscópicas**.



# Calor y trabajo

- Tanto el calor como el trabajo tienen una **dirección**.
- Ambos son **fenómenos de frontera**.
- Se relacionan con un **proceso**, por tanto no son propiedades de estado.
- También, ambos **dependen de la trayectoria**.
- En el caso particular de sistemas cerrados **estáticos**, **no se genera trabajo**. Por tanto:



$$\Delta E = \Delta U.$$

# Clase 6: Energía y calor

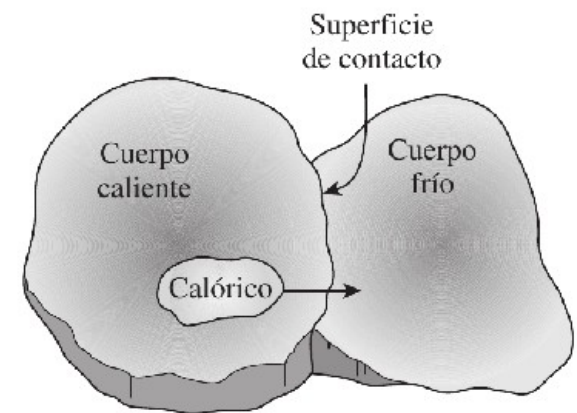
- Energía y sus formas.
- **Mecanismos de transferencia de calor.**

# Un poco de historia

- Por bastante tiempo existió la noción de calor, pero sin una definición y teoría rigurosa.
- Se entendía que el **calor** era una forma de **transferencia de energía** y que estaba relacionado con la **temperatura**.
- Hasta mediados del siglo XIX se creía que el calor era un fluido sin masa al que se le llamó calórico.
- No fue hasta la formulación de la **teoría cinética** donde se entendió que el **calor** es un **fenómeno microscópico**.

## Teoría cinética:

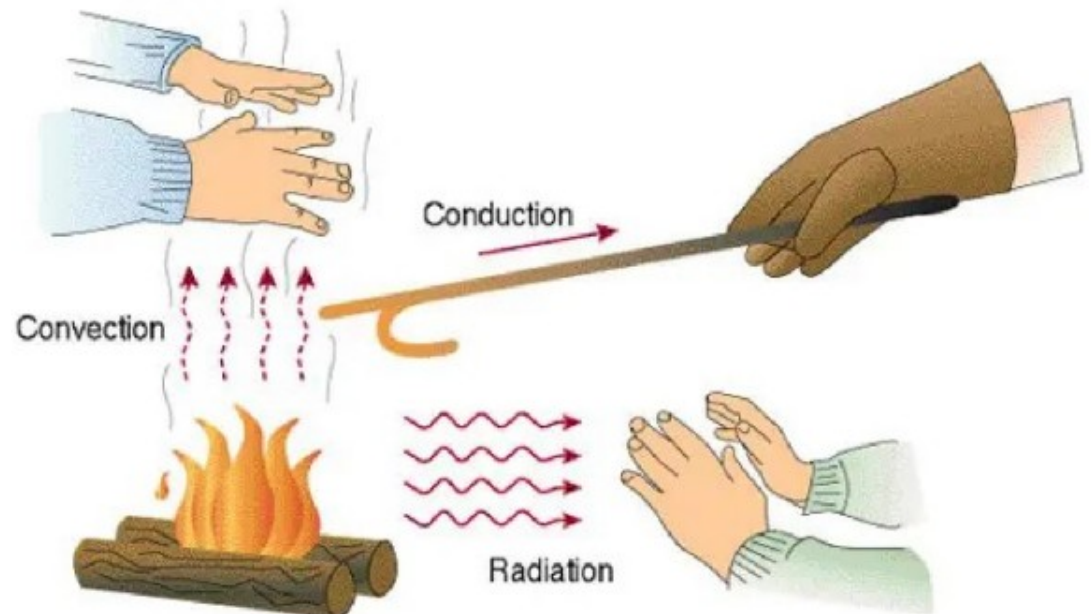
Los gases están compuestos de **muchas partículas**, imposibles de ver, que se **mueven de manera aleatoria**.



A principios del siglo XIX, se consideraba al calor como un fluido invisible llamado *calórico* que fluía de los cuerpos más calientes a los más fríos.

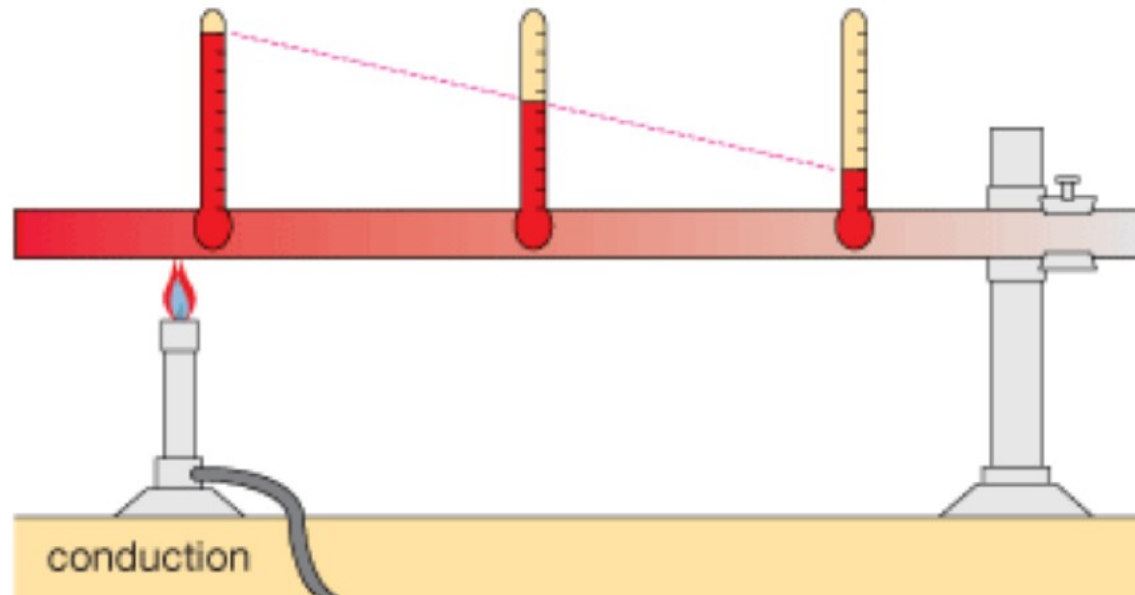
# Mecanismos de transferencia de calor

- El **calor fluye** desde cuerpos o sistemas de **mayor temperatura a los de menor temperatura.**
- El calor se transfiere mediante **tres mecanismos**:
  - Conducción.
  - Convección.
  - Radiación.



# Conducción

- La **conducción** es la transferencia de energía en un **material** debido a las **colisiones** entre las **partículas microscópicas**.
- La energía (cinética) se transfiere desde las partículas más energéticas a las menos energéticas.
- Es la forma dominante en **sólidos**.

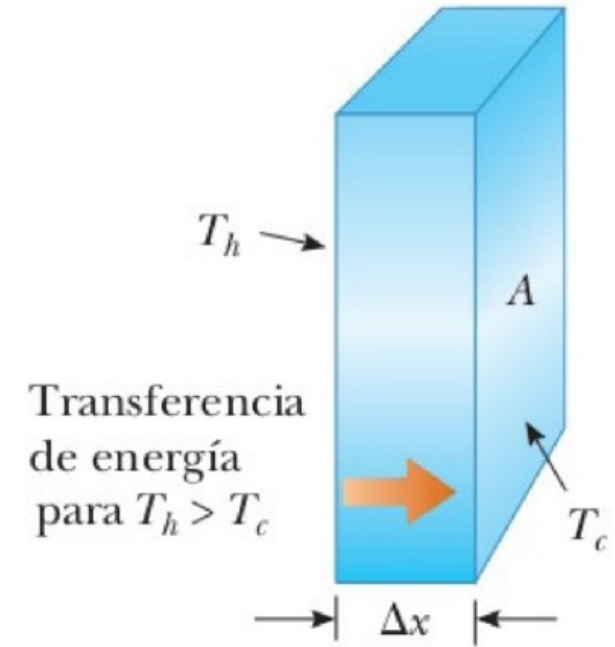


# Conducción y Ley de Fourier

- La **tasa de calor** transferida por una **capa de espesor**  $\Delta x$  con una **diferencia de temperatura**  $\Delta T$  cumple que

Potencia  $\longrightarrow$  
$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

donde  $A$  es el **área** perpendicular a la dirección de transferencia de calor, y  $k_t$  es la **conductividad térmica**.



- Su forma diferencial se conoce como **Ley de Fourier**,

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = k_t A \frac{dT}{dx},$$

donde  $dT/dx$  es el **gradiente de temperatura**.

- Es importante tener cuidado con los signos: el calor se transfiere hacia la superficie de menor temperatura.

# Conductividad térmica

- Como es esperable, los metales cotidianos tienen coeficientes de conductividad térmica grandes.

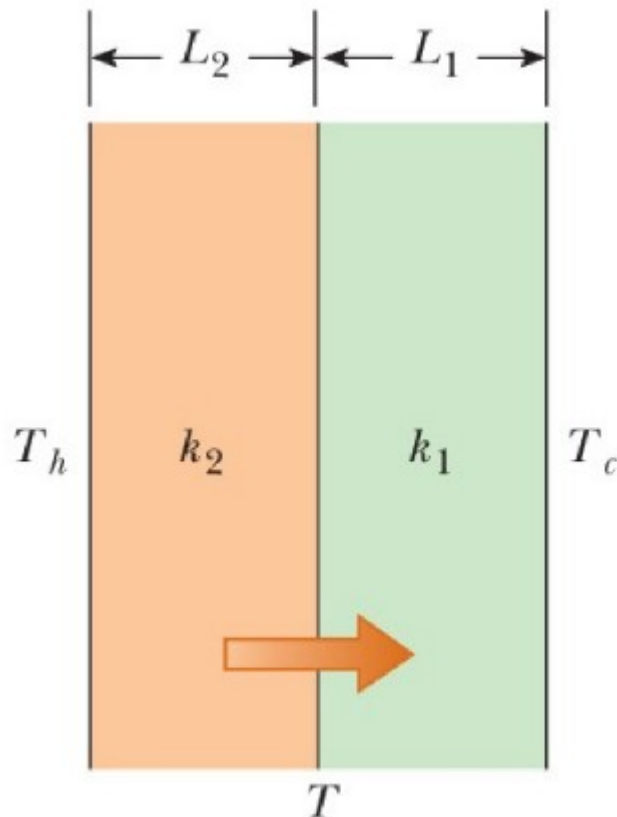
Conductividades térmicas de  
algunos materiales en condiciones  
ambiente

Material	Conductividad térmica, W/m · K
Diamante	2 300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (ℓ)	8.54
Vidrio	1.4
Ladrillo	0.72
Agua (ℓ)	0.613
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Hule suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026



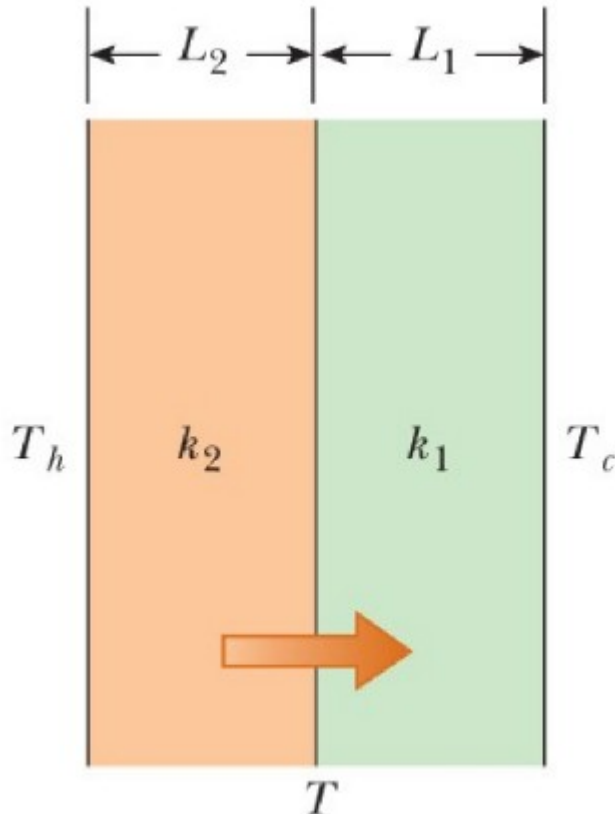
# Ejemplo 1: Conducción entre dos materiales

- Dos placas de **grosos**  $L_1$  y  $L_2$  y **conductividades** térmicas  $k_1$  y  $k_2$  están en contacto. Las **temperaturas** de sus superficies son  $T_c$  y  $T_h$ , como muestra la figura, con  $T_h > T_c$ . Determine la **temperatura de la interfaz** y la **rapidez** de la transferencia de calor en la condición de **estado estable**.



# Ejemplo 1: Conducción entre dos materiales

- Dos placas de **grosos**  $L_1$  y  $L_2$  y **conductividades** térmicas  $k_1$  y  $k_2$  están en contacto. Las **temperaturas** de sus superficies son  $T_c$  y  $T_h$ , como muestra la figura, con  $T_h > T_c$ . Determine la **temperatura de la interfaz** y la **rapidez** de la transferencia de calor en la condición de **estado estable**.



La tasa en ambas placas:

$$\dot{Q}_1 = k_1 A \frac{T - T_c}{L_1}, \quad \dot{Q}_2 = k_2 A \frac{T_h - T}{L_2}.$$

Ambas tasas deben ser iguales para que el calor fluya en una sola dirección:

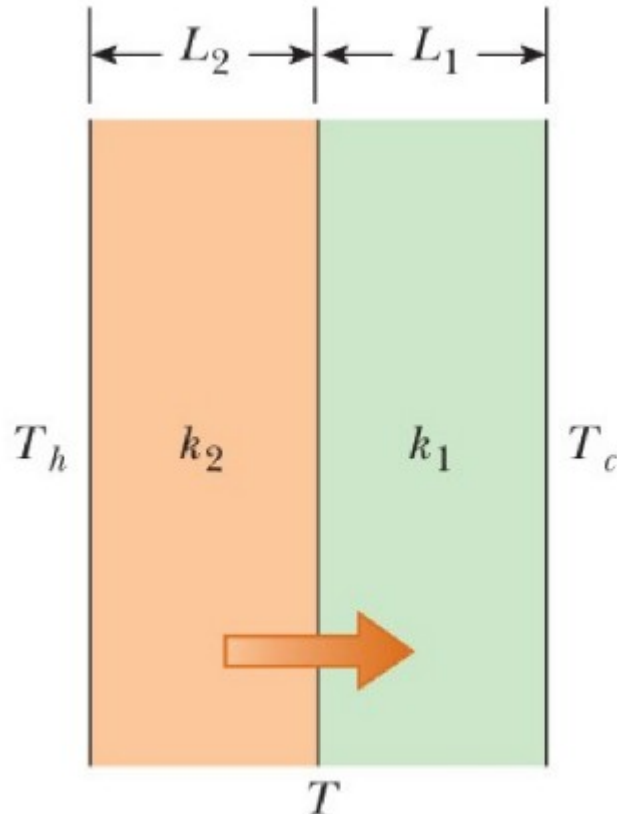
$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 \longrightarrow k_1 A \frac{T - T_c}{L_1} = k_2 A \frac{T_h - T}{L_2}.$$

Despejamos la temperatura:

$$\longrightarrow T = \frac{k_1 L_2 T_c + k_2 L_1 T_h}{k_1 L_2 + k_2 L_1}.$$

# Ejemplo 1: Conducción entre dos materiales

- Dos placas de **grosos**  $L_1$  y  $L_2$  y **conductividades** térmicas  $k_1$  y  $k_2$  están en contacto. Las **temperaturas** de sus superficies son  $T_c$  y  $T_h$ , como muestra la figura, con  $T_h > T_c$ . Determine la **temperatura de la interfaz** y la **rapidez** de la transferencia de calor en la condición de **estado estable**.



La rapidez de transferencia es simplemente la tasa.  
Debemos remplazar T en cualquiera de las tasas:

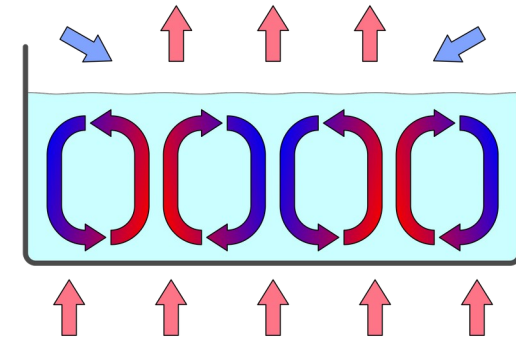
$$\dot{Q}_1 = k_1 A \frac{\frac{k_1 L_2 T_c + k_2 L_1 T_h}{k_1 L_2 + k_2 L_1} - T_c}{L_1}.$$

$$\longrightarrow \boxed{\dot{Q} = A \frac{T_h - T_c}{L_1/k_1 + L_2/k_2}.$$

Tarea: Verificar que se obtiene lo mismo con la tasa de  $\dot{Q}_2$ .

# Convección

- La **convección** es la transferencia de energía producida por el **movimiento de fluidos**.
- Es la transferencia **dominante** en **fluidos**, aunque la conducción sigue influyendo
- La convección se divide en dos tipos:
  - **Forzada**, donde el fluido es forzado a fluir (ej: ventilador).
  - **Libre**, provocada por diferencias en la densidad.



Convección forzada



Convección natural



# Ley de enfriamiento de Newton

- La **tasa** de calor transferido por **convección** está dada por la **Ley de enfriamiento de Newton**:

Potencia  $\longrightarrow$   $\boxed{\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_f),}$

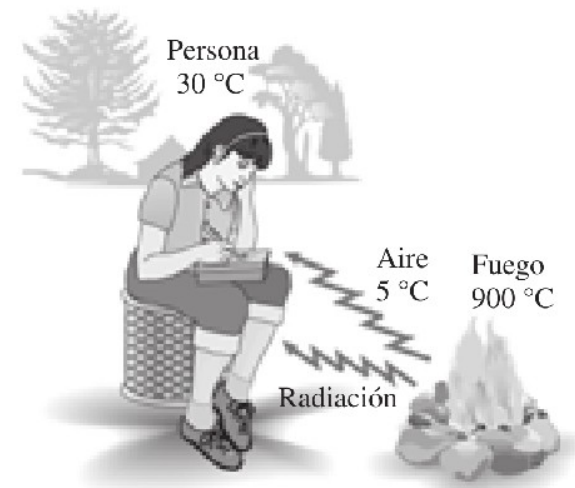
donde  $h$  es el **coeficiente de convección**,  $A$  es el área de transferencia,  $T_s$  es la **temperatura de la superficie**, y  $T_f$  es la **temperatura del fluido lejos de la superficie**.

- El coeficiente  $h$  no es una propiedad del fluido, ya que depende de todas las propiedades que influyen en la convección.

# Radiación

- La **radiación** es la transferencia de energía debida a la **emisión de ondas electromagnéticas** (fotones).
- La radiación es producida por **cambios electrónicos** en los átomos y moléculas.
- La radiación **no necesita** la presencia de un **medio**. Esto permite que llegue calor desde el Sol por medio del espacio.
- En Termodinámica nos interesa la **radiación producida por la temperatura**.

Todos los cuerpos con temperatura emiten radiación.



# Ley de Stefan-Boltzmann

- La **tasa** de radiación que emite una superficie a **temperatura absoluta**  $T$  está dada por la **Ley de Stefan-Boltzmann**:

Potencia  $\longrightarrow$   $\boxed{\dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma \epsilon A T^4,}$

donde  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  es la **constante de Stefan-Boltzmann**,  $\epsilon$  es la emisividad y  $A$  es el área superficial.

- Notar que esta formula depende de la **temperatura absoluta** de la superficie (**con respecto al cero absoluto**), y no de diferencias de temperaturas.

# Emisividad

- La **emisividad** toma valores entre 0 y 1.
- La **radiación es máxima** cuando  $\epsilon=1$ . Este caso corresponde a un **cuerpo negro**.

Emisividad de algunos materiales  
a 300 K

Material	Emisividad
Papel aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

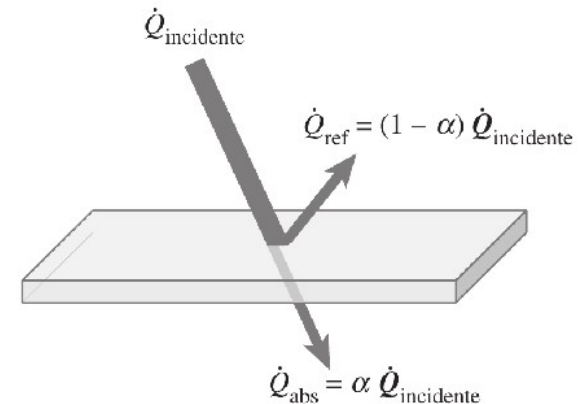


# Absorbancia

- La **absorbancia**  $\alpha$  es la fracción de radiación absorbida:

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \alpha \dot{Q}_{\text{rad, incidente}}.$$

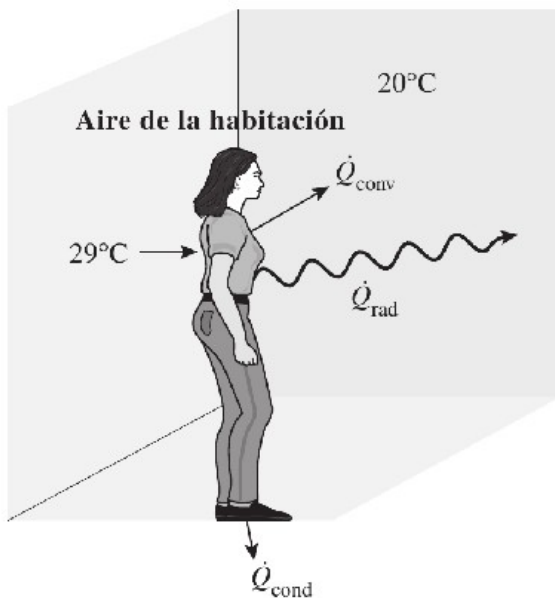
- Cuando un cuerpo está en **equilibrio térmico** con sus alrededores, **emite y absorbe la misma cantidad de radiación**.
- Resolver el problema completo con absorbancia es complicado.
- Sin embargo, en el caso de una **superficie** muchas más **pequeña** que su entorno, y el cual **no interfiere con la radiación** (ej: aire):



$$\dot{Q}_{\text{rad,tot}} = \epsilon \sigma A (T_{\text{superficie}}^4 - T_{\text{entorno}}^4)$$

## Ejemplo 2: Transferencia de calor en una persona

- Una **persona** está en una habitación con brisa a una **temperatura** de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Determine la **tasa total de transferencia de calor desde esta persona**, si el **área superficial** expuesta y la **temperatura de su piel** son  $1.6\text{ m}^2$  y  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Considere que el **coeficiente de transferencia de calor por convección** es  $6\text{ W/m}^2$  y que la **emisividad** de la piel es  $0.95$ .



## Ejemplo 2: Transferencia de calor en una persona

- Una **persona** está en una habitación con brisa a una **temperatura** de 20 °C. Determine la **tasa total de transferencia de calor desde esta persona**, si el **área superficial** expuesta y la **temperatura de su piel** son 1.6 m<sup>2</sup> y 29 °C, respectivamente. Considere que el **coeficiente de transferencia de calor por convección** es 6 de W/m<sup>2</sup> y que la **emisividad** de la piel es 0.95.

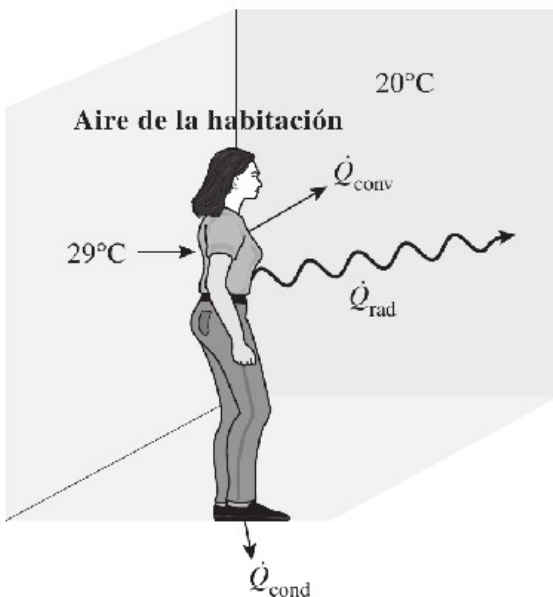
La tasa por **convección** es:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{conv}} &= hA(T_s - T_f), \\ &= 6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}} 1.6\text{m}^2 (29 - 20) \text{ C} = 86 \text{ W}\end{aligned}$$

La tasa por **radiación** es:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{rad}} &= \epsilon\sigma A(T_{\text{superficie}}^4 - T_{\text{entorno}}^4) \\ &= 0.95 \times 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} 1.6 \text{ m}^2 (302^4 - 293^4) \text{K}^4 \\ &= 81.7 \text{ W}\end{aligned}$$

Notar que las temperaturas se convirtieron a Kelvins.



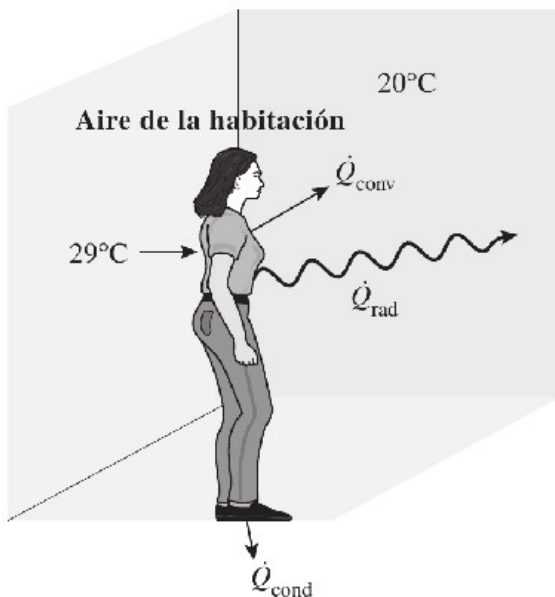
# Ejemplo 2: Transferencia de calor en una persona

- Una **persona** está en una habitación con brisa a una **temperatura** de 20 °C. Determine la **tasa total de transferencia de calor desde esta persona**, si el **área superficial** expuesta y la **temperatura de su piel** son 1.6 m<sup>2</sup> y 29 °C, respectivamente. Considere que el **coeficiente de transferencia de calor por convección** es 6 de W/m<sup>2</sup> y que la **emisividad** de la piel es 0.95.

Despreciando el efecto de la conducción, tenemos que:

$$\dot{Q}_{\text{tot}} = \dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}$$

$$\longrightarrow \boxed{\dot{Q}_{\text{tot}} = 168.1 \text{ W}}$$



Notar que al dejar al descubierto más piel, el área sería mayor, provocando una mayor transferencia de calor.

Este ejemplo no toma en cuenta la transpiración, que es el principal regulador de la temperatura corporal.

# Resumen

- Hemos revisado distintas **formas** que puede tomar la **energía**.
- Vimos que en sistemas cerrados la energía se puede transferir por medio de **calor** y **trabajo**.
- Revisamos los tres **mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección, y radiación**.
- Próxima clase:
  - Más detalles sobre la transferencia de energía.
  - 1<sup>ra</sup> Ley de la Termodinámica.