Tema 2: ENERGÍA, CALOR Y TRABAJO

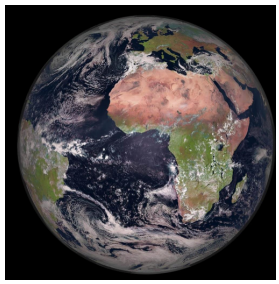
INTRODUCCIÓN

En esta parte de la Física Aplicada no se va a desarrollar todavía contenido técnico, se va a enmarcar el tema y dejar claro que vamos a estudiar fenómenos físicos muy presentes en la vida diaria, **como el calor, la temperatura, el trabajo y la energía**.

Conviene quedarse con una idea de arranque: aunque estas palabras se usan mucho en el lenguaje corriente, en Física tienen un significado muy preciso. A lo largo del tema iremos afinando cada una de ellas para no confundirlas.

Primero vamos a estudiar el tema de energía, calor y trabajo, y después se aplicarán esas ideas a la atmósfera terrestre, a su estructura vertical, a la convección y a la formación de nubes y precipitaciones.

Todo lo que se explique sobre calor, equilibrio térmico y radiación servirá después para entender mejor el comportamiento real de la atmósfera y del clima.



→ Esta diapositiva con la imagen de la Tierra recuerda que la Física del calor no es solo cosa de laboratorios o máquinas: también gobierna el equilibrio energético del planeta y muchos fenómenos naturales.

⇒ QUÉ ES LA ENERGÍA Y POR QUÉ SE CONSERVA

La idea central de toda la Física se puede manifestar de esta manera: **la energía es una magnitud que se conserva.**

Eso significa que no aparece de la nada ni desaparece sin más, sino que va pasando de unas formas a otras. Puede estar como energía **cinética**, **gravitatoria**, **eléctrica**, **magnética** o **interna**, pero la cantidad total se mantiene cuando se analiza el sistema completo.



La definición de la RAE "*capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E)*", es útil como punto de partida, aunque luego veremos que en Física conviene matizarla. Lo verdaderamente importante aquí es entender que la energía se puede almacenar de diferentes maneras y transformarse continuamente.

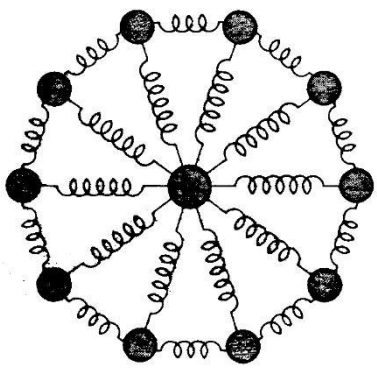
⇒ GRANDES ÁREAS EN LAS QUE APARECE LA ENERGÍA

Las distintas formas de energía están relacionadas con tres grandes campos de la Física: **la mecánica, el electromagnetismo y la termodinámica**. Por lo que algunas energías están ligadas al movimiento visible de los cuerpos, otras a campos eléctricos y magnéticos, y otras al estado microscópico de la materia.

Nos interesa especialmente esta última, **la energía interna**, porque será la base para entender el calor, la temperatura y las leyes de la termodinámica.

⇒ ENERGÍA INTERNA: SU ORIGEN MICROSCÓPICO

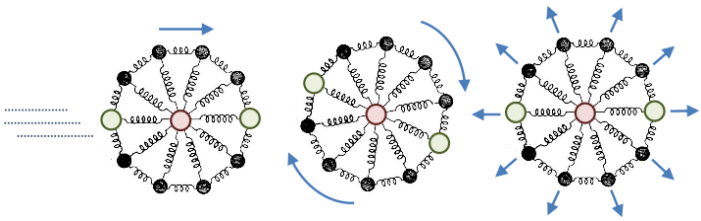
La pregunta de la diapositiva es muy buena: ¿de dónde sale la energía interna? La respuesta es que procede del movimiento y de las interacciones de las partículas que forman la materia. Aunque un cuerpo parezca quieto a simple vista, en su interior hay átomos y moléculas moviéndose, vibrando y atrayéndose o repeliéndose.



Por eso la energía interna no suele verse directamente como se ve el movimiento de una pelota. Es una energía ligada a la estructura íntima del cuerpo.

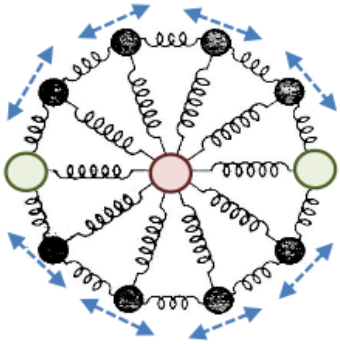
⇒ ENERGÍA MECÁNICA Y ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

Aquí se recuerdan ejemplos de energía macroscópica: **traslación**, **rotación**, **elasticidad**, **electricidad** o **magnetismo**. Todas ellas son formas de energía que solemos reconocer con facilidad porque producen efectos visibles o directamente medibles.



La comparación con la energía interna ayuda a no mezclar niveles. Una cosa es el movimiento global de un sistema y otra distinta es el movimiento desordenado de sus partículas.

⇒ ENERGÍA INTERNA Y MOVIMIENTOS SIN REFLEJO MACROSCÓPICO

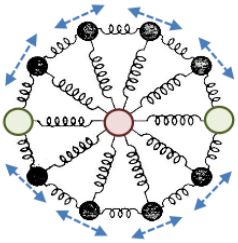


El mensaje esencial es que la energía interna está asociada a movimientos que no tienen reflejo macroscópico. Es decir, el cuerpo puede estar quieto como conjunto y, sin embargo, tener mucha actividad microscópica en su interior.

Esta idea es muy importante porque explica por qué un objeto puede calentarse sin empezar necesariamente a desplazarse o a girar.

⇒ LA MISMA IDEA REFORZADA CON UN EJEMPLO VISUAL

Aquí se repite la noción de energía interna para fijarla mejor. En enseñanza de ciencias esto es útil: cuando una idea es poco intuitiva, conviene verla varias veces desde ángulos distintos hasta que deja de parecer extraña.

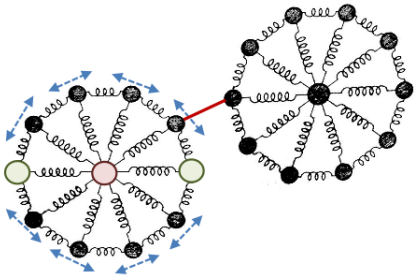




Lo que debemos retener es que "caliente" no significa necesariamente "moviéndose como conjunto", sino "más agitado por dentro".

⇒ LA ENERGÍA INTERNA PUEDE CAMBIAR Y TRANSFERIRSE

Aquí aparece una transición decisiva del tema: la energía interna no solo existe, sino que puede pasar de un cuerpo a otro o cambiar dentro de un sistema. Esa posibilidad de transferencia es justamente la puerta de entrada al estudio del calor y del trabajo.



En otras palabras, la energía interna no es una cantidad encerrada para siempre en un cuerpo. Puede aumentar o disminuir según lo que le ocurra al sistema.

⇒ LOS PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA COMO COLUMNA VERTEBRAL

Aquí se resume las cuatro grandes leyes o principios de la termodinámica. El primero habla de conservación de la energía; el principio cero, de equilibrio térmico; el segundo, de los límites reales de las transformaciones energéticas; y el tercero, del cero absoluto y de sus consecuencias.

Principio Cero de la Termodinámica (Fowler, 1935): equilibrio térmico

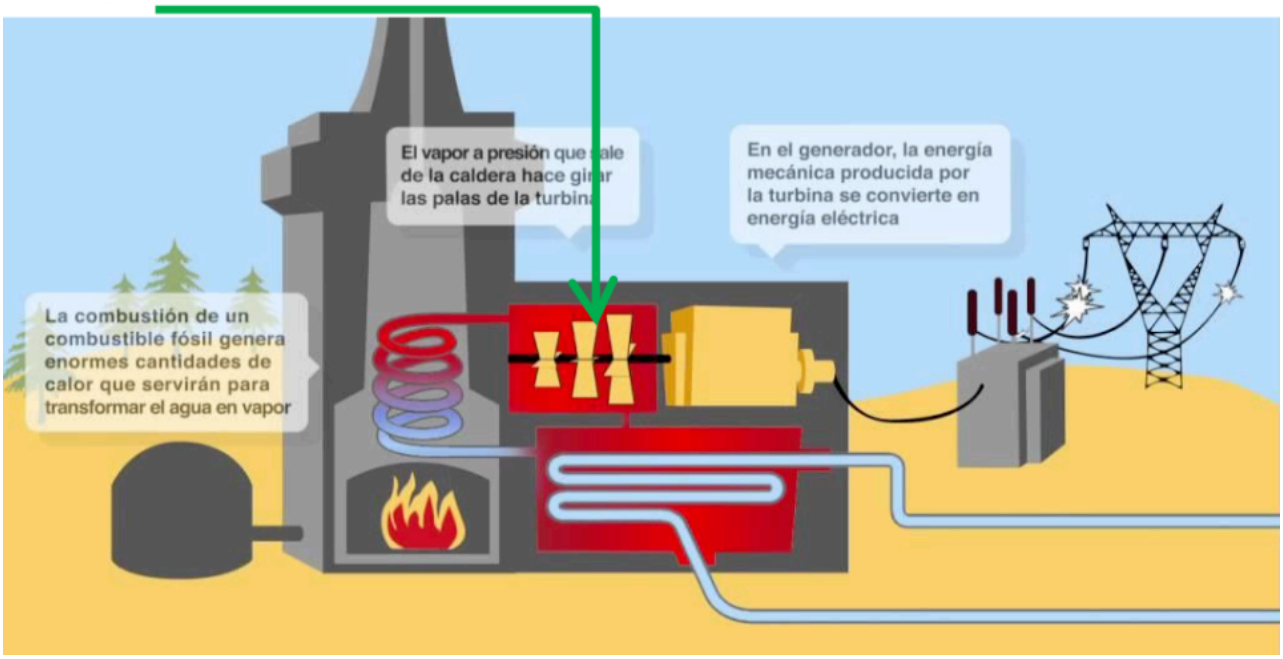
Primer Principio (Helmholtz, 1847): Conservación de la energía **"no puedes ganar"**

Segundo Principio (Carnot, 1824): **"¡ni siquiera puedes empatar!"**

Tercer Principio (Nernst, 1912; Masanes y Oppenheim, 2017): **"¡no puedes salir del juego!"**

Las frases coloquiales **"no puedes ganar"**, **"ni siquiera puedes empatar"** y **"no puedes salir del juego"** sirven para recordar, de manera sencilla, que la naturaleza impone restricciones muy firmes. La termodinámica no solo dice qué puede pasar, sino también qué no puede pasar nunca.

⇒ TRABAJO COMO FORMA DE TRANSFERIR ENERGÍA

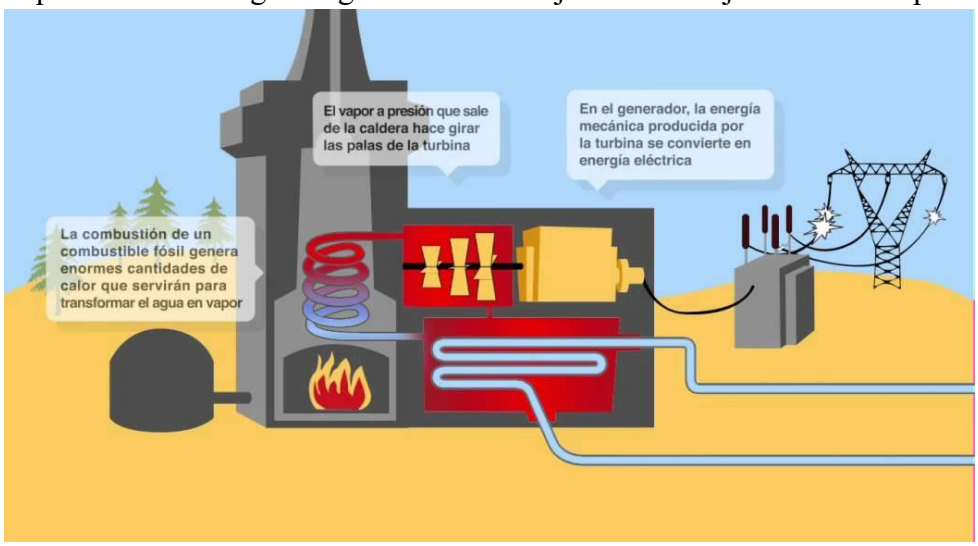


El trabajo aparece aquí como una forma de transferencia de energía ligada a una fuerza que actúa mientras hay desplazamiento. En mecánica esto es muy claro: empujar, elevar, comprimir o estirar son acciones que pueden transferir energía de un sistema a otro.

Por eso el trabajo no es una energía almacenada en un objeto, sino una manera de cambiar la energía de un sistema.

⇒ DOS CAMINOS PRINCIPALES PARA TRANSFERIR ENERGÍA INTERNA

Aquí se añade el segundo gran mecanismo junto al trabajo: **el calor**. A partir de ahora el tema separa con claridad dos modos de cambiar la energía interna de un sistema: por **trabajo** y por **calor**.

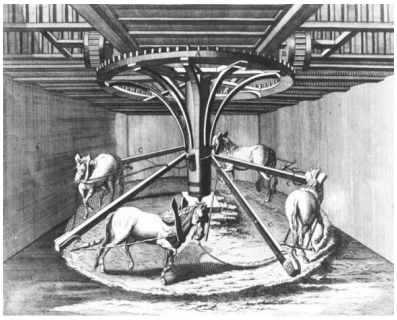


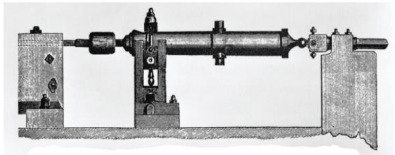
La diferencia es muy importante. El trabajo implica una acción mecánica organizada, mientras que el calor es transferencia de energía asociada a diferencia de temperatura.

⇒ QUÉ ES EL CALOR SEGÚN RUMFORD

El calor se presenta aquí como intercambio de energía, no como algo que un cuerpo almacena en forma de "sustancia". Este cambio de visión fue muy importante históricamente. El **conde Rumford (1753-1814)** ayudó a desmontar la antigua idea del calórico y relacionó el calentamiento con el movimiento y el rozamiento.

La consecuencia conceptual es profunda: un cuerpo no "guarda calor" como si fuera un líquido en un depósito. Lo que guarda es energía interna, y el calor solo existe cuando esa energía se está transfiriendo.





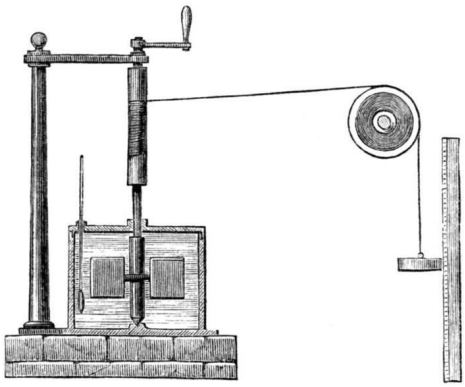
⇒ MAYER Y LA RELACIÓN ENTRE CALOR Y ENERGÍA



Julius Mayer (1814-1878) dio otro paso clave al vincular el calor con la energía de manera general. Ya no se trataba solo de observar que el movimiento puede producir calentamiento, sino de entender que calor y trabajo son dos expresiones diferentes de una misma realidad energética.

Este cambio permite integrar la termodinámica con el resto de la Física. El calor deja de verse como algo separado y pasa a formar parte de la gran ley de conservación.

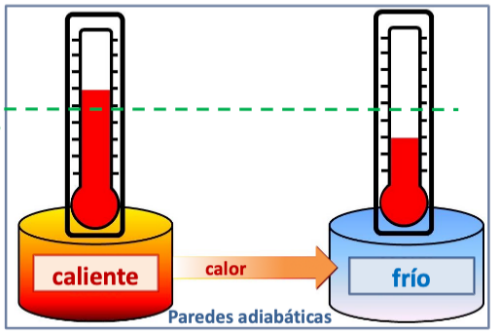
⇒ JOULE Y LA EQUIVALENCIA ENTRE CALOR Y TRABAJO



James P. Joule (1818-1881) demostró de forma cuantitativa que el calor y el trabajo son equivalentes. La equivalencia 1 caloría = 4,18 julios indica que una misma cantidad de energía puede expresarse en esas dos unidades cuando se estudia la relación histórica entre ambos conceptos.

Esto es clave porque ya no hablamos solo de intuiciones: la equivalencia se puede medir. Gracias a ello la termodinámica entra plenamente en el lenguaje matemático de la Física.

⇒ CALOR Y TEMPERATURA NO SON LO MISMO



Aquí aparece una distinción fundamental. El calor es energía en tránsito entre cuerpos a distinta temperatura, mientras que la temperatura es una magnitud que nos indica el estado térmico de un cuerpo. Cuando un cuerpo caliente y otro frío se ponen en contacto, fluye calor del más caliente al más frío.

Ese flujo continúa hasta que se alcanza el equilibrio térmico. En ese momento cesa el intercambio neto de calor, precisamente porque las temperaturas se han igualado.

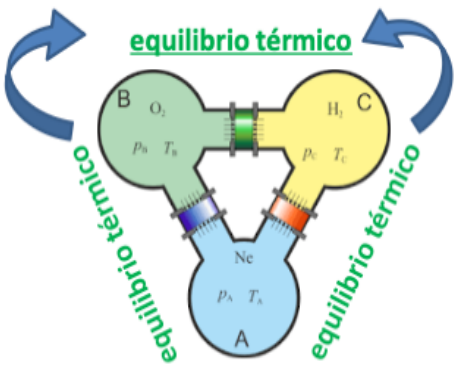
⇒ DEFINICIÓN OPERATIVA DE TEMPERATURA

La definición de la RAE ayuda a fijar la idea: "*Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente*".

En Física esto se concreta en una magnitud medible cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin.

Lo importante es no confundir temperatura con "cantidad de calor". Dos cuerpos pueden tener la misma temperatura y, sin embargo, no contener la misma energía interna total.

⇒ PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA



El principio cero (**Fowler, 1935**) formaliza la idea de equilibrio térmico. En lenguaje sencillo: si un sistema A está en equilibrio térmico con un sistema B, y B está en equilibrio térmico con un sistema C, entonces A y C también lo están entre sí.

Aunque parezca obvio, este principio es la base teórica de la medida de temperatura. Gracias a él tiene sentido usar un termómetro como sistema intermedio para comparar estados térmicos.

⇒ PRIMER PRINCIPIO: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN TERMODINÁMICA

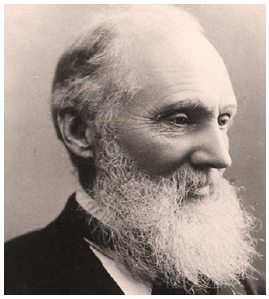
El primer principio (**Helmholtz, 1847**) aplica la conservación de la energía a los sistemas termodinámicos. Lo que dice, en esencia, es que el cambio de energía interna de un sistema depende del calor que recibe o cede y del trabajo realizado sobre él o por él.

La idea central es muy tranquilizadora: aunque la energía cambie de forma, no se pierde. Si el sistema gana calor o recibe trabajo, su energía interna puede aumentar; si cede calor o realiza trabajo, puede disminuir.

⇒ SEGUNDO PRINCIPIO: NO TODA LA ENERGÍA TÉRMICA SE APROVECHA

El segundo principio (**Carnot, 1824**) introduce una restricción que el primero no imponía. Aunque la energía se conserve, eso no significa que toda pueda transformarse de la manera que nos conviene. En particular, una máquina térmica no puede convertir en trabajo todo el calor que toma de un foco caliente.

Siempre debe expulsar parte de esa energía a un foco frío. Por eso el rendimiento nunca es del 100 %.



⇒ RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

Aquí el segundo principio se expresa en términos de rendimiento (**Kelvin, 1848**). El rendimiento es la fracción del calor absorbido que realmente se convierte en trabajo útil.

La enseñanza práctica es clara: toda máquina térmica tiene pérdidas inevitables. No porque esté mal diseñada, sino porque así lo exige la propia naturaleza.

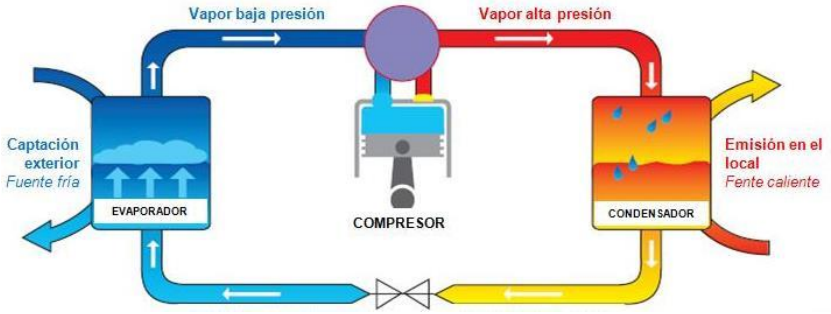
⇒ EL PAPEL DEL FOCO CALIENTE Y DEL FOCO FRÍO

La máquina térmica necesita dos focos: uno caliente del que toma energía y otro frío al que cede una parte. El foco frío no es un detalle secundario; es imprescindible para que el proceso pueda funcionar.

Eso ayuda a entender por qué motores, centrales o ciclos térmicos siempre necesitan disipar calor a un entorno más frío.

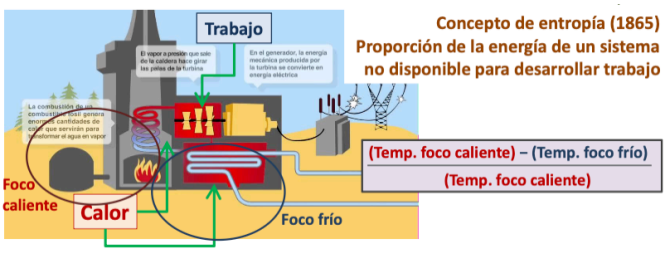
⇒ EL CALOR NO FLUYE ESPONTÁNEAMENTE DEL FRÍO AL CALIENTE

Otra formulación del segundo principio dice que el calor no pasa por sí solo de un cuerpo frío a uno caliente. Si queremos conseguir algo así, hace falta aportar trabajo externo, como ocurre en un frigorífico o en una bomba de calor.



Esta idea es muy cotidiana: enfriar una nevera requiere consumo eléctrico precisamente porque estamos forzando a que el calor salga del interior frío hacia el exterior más cálido.

⇒ ESQUEMA COMPLETO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA



La figura resume el funcionamiento general de una máquina térmica: toma calor del foco caliente, transforma una parte en trabajo y entrega el resto al foco frío. Esa es la estructura conceptual básica de muchísimos dispositivos reales.

La gran lección del segundo principio es que el residuo térmico no se puede eliminar completamente.

⇒ NACE EL CONCEPTO DE ENTROPÍA (Entropía es la magnitud física que mide el grado de desorden o caos molecular de un sistema. También representa la cantidad de energía en un sistema que no puede utilizarse para realizar un trabajo útil)



Clausius (1850) introdujo la entropía como una magnitud relacionada con la parte de la energía que no está disponible para realizar trabajo útil. Aunque su definición exacta es más técnica, para empezar, podemos verla como una medida del grado de dispersión o de degradación de la energía.

Cuando la entropía aumenta, la energía tiende a quedar más repartida y menos aprovechable desde el punto de vista práctico.

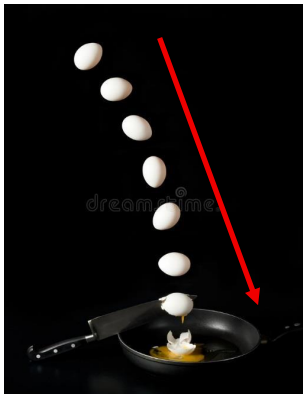
⇒ BOLTZMANN Y LA INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA



Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906) dio a la entropía una interpretación probabilística. Un estado muy ordenado es posible, pero poco probable; un estado más desordenado puede alcanzarse de muchísimas más maneras y, por eso, resulta mucho más probable.

La diapositiva sugiere que los procesos naturales evolucionan hacia estados más probables. Ese es el fondo estadístico de la llamada flecha del tiempo.

⇒ LA FLECHA DEL TIEMPO Y EL AUMENTO DE ENTROPÍA Y ESTADOS PROBABLES



Aquí se refuerza la idea de que el paso del tiempo tiene una dirección física observable en muchos procesos irreversibles. Vemos romperse un vaso o difundirse un perfume, pero no observamos espontáneamente el proceso contrario.

Eso se interpreta diciendo que la entropía tiende a aumentar: los estados más desordenados y probables aparecen de forma natural.

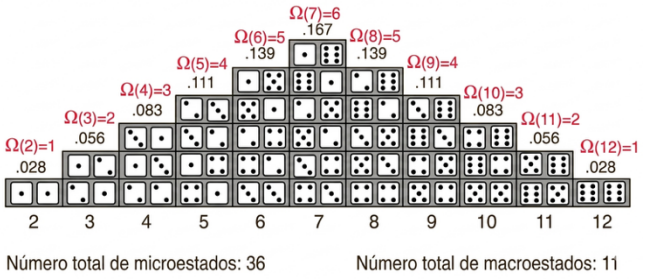
Cuanto mayor es el número de formas microscópicas compatibles con un estado macroscópico, mayor es su entropía.

Dicho de una manera sencilla, la naturaleza "prefiere" lo que puede ocurrir de muchísimas maneras frente a lo que solo puede ocurrir de unas pocas.

⇒ EL DESORDEN APARENTE NO ES SOLO UNA IMPRESIÓN

En termodinámica y física estadística, hablar de desorden no es una simple metáfora. Se refiere a la cantidad de configuraciones microscópicas posibles.

Por eso una distribución más mezclada o dispersa suele corresponder a mayor entropía y probabilidad.





⇒ BOLTZMANN COMO FIGURA CLAVE DE LA TERMODINÁMICA MODERNA

La presencia del monumento a **Boltzmann** subraya la importancia histórica de su aportación. Su famosa relación entre entropía y número de microestados permitió conectar la termodinámica con el comportamiento estadístico de átomos y moléculas.

Gracias a ello, la entropía dejó de ser una idea abstracta para convertirse en una magnitud con interpretación física profunda.

⇒ LA ENTROPÍA DEBE AUMENTAR EN ALGUNA PARTE

Tengamos presente este principio: **si localmente parece que aumentamos el orden, eso suele hacerse a costa de aumentar más la entropía en otro sitio.**

Por ejemplo, un frigorífico genera orden térmico en su interior, pero expulsa más entropía al ambiente exterior.

⇒ FORMULACIÓN GLOBAL DEL SEGUNDO PRINCIPIO

Aquí se condensa la idea en una frase clara: la entropía del universo aumenta en cualquier proceso natural. Dicho de otro modo, los procesos reales son irreversibles.

Es una afirmación muy poderosa porque no se refiere solo a máquinas térmicas, sino a la dirección general de todos los procesos espontáneos.

⇒ EL RENDIMIENTO SIEMPRE QUEDA POR DEBAJO DEL LÍMITE IDEAL

Se retoma la máquina térmica para recordar que existe un límite máximo de rendimiento. Ese límite depende de las temperaturas del foco caliente y del foco frío.

Cuanto más grande sea la diferencia entre ambas temperaturas, mayor puede ser el rendimiento. Pero nunca llega a ser total.

⇒ PARA LLEGAR AL 100 %, EL FOCO FRÍO TENDRÍA QUE ESTAR A CERO ABSOLUTO

Ahora se hace explícita una consecuencia importante de la fórmula del rendimiento máximo: solo sería del 100 % si la temperatura del foco frío fuese cero absoluto.

Como eso no puede alcanzarse en la práctica, el rendimiento perfecto queda fuera de las posibilidades reales.

⇒ PASO DEL SEGUNDO AL TERCER PRINCIPIO

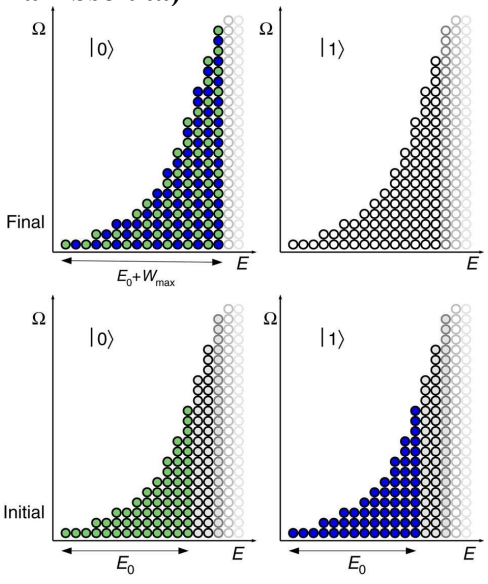
Ahora se enlaza de forma natural con el tercer principio. Si el rendimiento total exigiría un foco frío a cero absoluto, entonces entender ese límite extremo de temperatura se vuelve esencial.

La idea de "no puedes salir del juego" resume precisamente que hay un límite físico al que podemos acercarnos, pero no llegar en un número finito de pasos.

⇒ KELVIN Y EL TERCER PRINCIPIO (Temperatura Absoluta)

La escala Kelvin es la escala absoluta de temperatura. En ella, el cero no es una temperatura "muy baja" sin más, sino el límite inferior ideal asociado a la mínima agitación térmica posible.

El tercer principio afirma que el cero absoluto es inalcanzable mediante un número finito de procesos. Los gráficos sugieren justamente esa dificultad creciente a medida que uno intenta aproximarse a ese límite.



⇒ LAS TRES FORMAS PRINCIPALES DE INTERCAMBIO DE CALOR

Aquí se presentan de manera conjunta los tres mecanismos básicos de transferencia de calor: **conducción**, **convección** y **radiación**. Toda la parte final del tema se apoya en esta clasificación.

La idea general es sencilla: el calor puede transmitirse por contacto directo, mediante movimiento de un fluido o a través de ondas electromagnéticas.

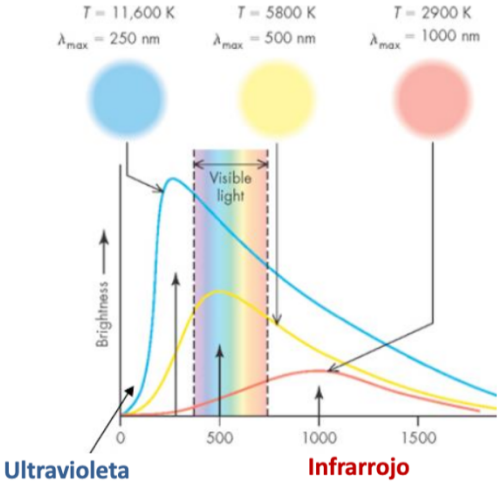
⇒ CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y RADIACIÓN EXPLICADAS CON EJEMPLOS

La conducción implica contacto material: por ejemplo, una cuchara metálica que se calienta. La convección requiere un fluido que transporte calor al moverse, como el aire caliente que asciende o el agua que circula en una olla.

La radiación, en cambio, no necesita contacto ni un medio material entre emisor y receptor. Por eso la energía del Sol puede llegar hasta la Tierra atravesando el vacío.



⇒ RADIACIÓN TÉRMICA



La radiación térmica es una emisión de ondas electromagnéticas asociada a la temperatura de los cuerpos. Cualquier cuerpo caliente emite radiación, aunque no siempre la veamos con nuestros ojos.

Si la temperatura no es muy alta, buena parte de esa emisión está en el infrarrojo. Cuando aumenta mucho, el espectro se desplaza y puede hacerse visible.

Está relacionada la temperatura con el tipo de radiación emitida. Un cuerpo más caliente emite más energía total y además desplaza el máximo de emisión hacia longitudes de onda más cortas.

Por eso cuerpos a distintas temperaturas pueden emitir con colores característicos diferentes.

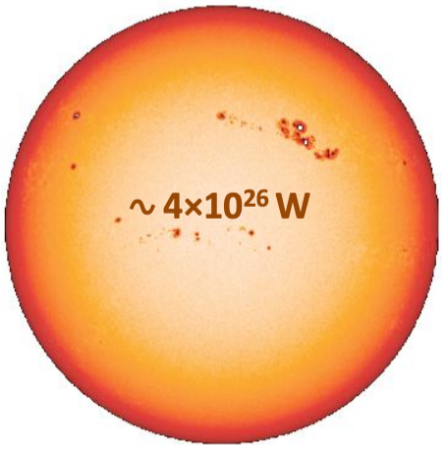
⇒ LEY DE STEFAN-BOLTZMANN Y POTENCIA RADIADA

Esta ley establece que la potencia radiada por un cuerpo crece muy deprisa con la temperatura, en proporción a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Eso significa que pequeños aumentos de temperatura pueden producir incrementos muy grandes en la energía emitida.

Es una ley esencial para estudiar estrellas, hornos, superficies calientes y, por supuesto, el **equilibrio radiativo** de la Tierra (El **equilibrio radiativo** es el balance entre la energía que absorbe un cuerpo o sistema (como la Tierra) procedente de la radiación y la cantidad que emite de vuelta al espacio. Cuando la energía entrante iguala a la saliente, la temperatura del sistema se mantiene estable.

⇒ TIERRA INTERCAMBIA ENERGÍA CON EL ESPACIO POR RADIACIÓN

Es esta diapositiva se aplica todo lo anterior a nuestro planeta. La Tierra recibe energía del Sol en forma de radiación y solo puede devolverla al exterior también por radiación. No puede hacerlo por conducción ni por convección con el vacío del espacio.



La llamada constante solar, del orden de 1370 W/m², representa la potencia solar recibida por unidad de superficie orientada perpendicularmente a los rayos solares a la distancia de la Tierra.

→ Temperatura de Equilibrio Radiativo

Si se hace un cálculo ideal muy simplificado, equilibrando la energía radiada al espacio con la energía solar absorbida, se obtiene una temperatura media de equilibrio radiativo cercana a -15 ºC.

Ese valor es mucho menor que la temperatura media real de la superficie terrestre. La diferencia se debe al efecto invernadero natural de la atmósfera, que retiene parte de la radiación emitida por la Tierra y eleva la temperatura superficial. Esta diapositiva cierra muy bien el tema porque une termodinámica, radiación y clima.