UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

El concepto energía desde una aproximación holística
Una propuesta didáctica desde el modelo constructivista para educación media vocacional

Helmer Rigoberto Avendaño Ramírez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales
Bogotá, Colombia
2014

El concepto energía desde una aproximación holística
Una propuesta didáctica desde el modelo constructivista para educación media vocacional

Helmer Rigoberto Avendaño Ramírez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

PhD. Marco Fidel Suárez Herrera

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Bogotá, Colombia

2014

"La mejor arma contra la ignorancia es el estudio."

A mis padres, hermanos, hija y esposa. Por su incondicional apoyo en las extensas jornadas de estudio

Agradecimientos

El autor expresa sus más grandes y sinceros agradecimientos a:

Marco Fidel Suarez Herrera, Profesor Asociado Departamento de Química Universidad Nacional de Colombia, por sus aportes de referentes conceptuales e históricos y sus pertinentes correcciones en la redacción del presente trabajo.

Resumen

Se presenta una propuesta didáctica basada en el modelo pedagógico constructivista, para la enseñanza del concepto de energía dirigida a estudiantes de grado décimo y/o undécimo de educación media vocacional. El presente trabajo incluye un análisis epistemológico del concepto de energía, una discusión sobre los preconceptos y conceptos erróneos acerca del significado de energía y una introducción de los conceptos más importantes de la termodinámica en dos niveles: el fenomenológico y el microscópico basado en una descripción estadística. Finalmente, se proponen algunas actividades pedagógicas y didácticas tanto teóricas como prácticas cuyos principales objetivos son identificar los preconceptos y nociones erróneos de energía y ayudar a los estudiantes a entender este concepto desde un punto de vista holístico e interdisciplinar.

Palabras clave: energía, calor, trabajo, entropía, equilibrio térmico, micro estados, trasformación de la energía

Abstract

In this work it is proposed a didactical approximation to teach the energy concept to 10th grade secondary school students using a constructivist-based pedagogical model. This work includes an epistemological analysis of the energy concept, a discussion about the preconceptions and misconceptions about the energy meaning and an introduction of the most important concepts of thermodynamics at two levels: the phenomenological and the microscopic-statistical descriptions. Finally, some experimental and theoretical teaching activities are proposed whose main goals are to find out preconceptions and misconceptions about the energy notion and to help the students to understand this concept from a holistic point of view.

Keywords: energy**,** heat, work, entropy, thermal equilibrium, micro states, energy transformation.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XI**

Lista de Símbolos y abreviaturas ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XIV**

Introducción **17**

1 Desarrollo epistemológico del concepto de Energía **21**
1.1 La vis viva 21
1.2 Teoría del calor como energía 23
1.3 Conservación de la energía 26

2 Conceptos básicos de termodinámica y teoría cinético molecular de la materia **35**
2.1 Micro estados y entropía 40

3 Preconceptos y dificultades en la enseñanza del concepto de Energía en estudiantes de educación media vocacional **49**

4 Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de energía en estudiantes de educación media. **53**
4.1 Introducción a los conceptos energía, calor, trabajo, energía interna y entropía desde la termodinámica estadística y la teoría cinético molecular. 56
4.2 Prácticas experimentales sobre las manifestaciones de la energía, su transferencia y transformación 67
4.2.1 Diseño, montaje y explicación desde el punto de vista energético del motor de Stirling casero 67
4.2.2 Montaje y explicación de una batería hecha con limones 72
4.2.3 Explicación del funcionamiento de una celda fotovoltaica 74
4.2.4 Explicación del funcionamiento de una vela y de un fósforo o cerillo .. 77
4.2.5 Explicación del funcionamiento de un dínamo o generador eléctrico. . 78

5 Conclusiones y recomendaciones **83**
5.1 Conclusiones 83
5.2 Recomendaciones 84

Bibliografía **87**

Lista de figuras

Pág.

Ilustración 1-1. Esquema del mecanismo empleado por Joule para medir el equivalente mecánico del calor. 27
Ilustración 2-1. Mecánica estadística del trabajo y el calor (donde E representa la energía, p la probabilidad, V volumen, β= 1/kT, j niveles energéticos, W trabajo, q calor, y rev reversible). 37
Ilustración 2-2. Compresión de un gás dentro de un pistón. 39
Ilustración 2-3. Calentamiento de un gas dentro de un sistema cerrado. 40
Ilustración 2-4. Sistemas en contacto térmico a t = 0. 41
Ilustración 2-5. Sistemas en contacto térmico a t_1>0. 42
Ilustración 2-6. Evolución en el tiempo del sistema en contacto térmico a t_2>t_1. 42
Ilustración 2-7. Dos micro estados equivalentes. 43
Ilustración 2-8. Dos cuerpos en contacto térmico. 45
Ilustración 2-9. Objetos en contacto térmico al transcurrir un cierto tiempo, t>0. 46
Ilustración 2-10. Dos estados excitados en el cuerpo grande. 46
Ilustración 4-1. Recipientes con el mismo volumen de agua a diferentes temperaturas.. 57
Ilustración 4-2. Canicas. a) 100 Canicas blancas b) 100 Canicas blancas y se agregan 12 canicas rojas. 57
Ilustración 4-3. A) Partículas con una cierta cantidad de energía. B) Partículas con baja energía respecto a las de A. 58
Ilustración 4-4. Dos recipientes a 100° C y 20° C respectivamente en contacto térmico. 59
Ilustración 4-5. La compresión de un gas. 60
Ilustración 4-6. a) Aerosol saliendo del recipiente. b) Vapor de agua saliendo de una olla a presión. 61
Ilustración 4-7. Compresión de aire para inflar un globo. 62
Ilustración 4-8. Formas diferentes de como se pueden organizar 2 partículas en dos contenedores. 64
Ilustración 4-9. Número de micro estados para un sistema de 4 partículas en 2 contenedores idénticos. 65
Ilustración 4-10. Dos cuerpos en contacto, térmico. Uno sin excitación energética (color gris) y el otro con sus particulas con excitación energética (color rojo). 65
Ilustración 4-11. Esquema del motor de Stirling. 68
Ilustración 4-12. Expansión isotérmica del motor de Stirling. 70
Ilustración 4-13. Enfriamiento isocórico del motor de Stirling. 70

Ilustración 4-14. Compresión isotérmica. 71
Ilustración 4-15. Calentamiento isocórico. 71
Ilustración 4-16. Montaje de una batería de limones. 72
Ilustración 4-17. Montaje celda fotovoltaica. 75
Ilustración 4-18. Fósforo y veladora. 77
Ilustración 4-19. Montaje experimental del generador eléctrico. 79
Ilustración 4-20. Estructura de un generador eléctrico. 79

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
S	Entropía	J/K	$kLn(\Omega)$
F	Fuerza	N	ma
k, k_B	Constante de Boltzmann	JK^{-1}	$\frac{R}{N_A}$
Ω	Número de micro estados		*Definición*
N	Número total de partículas		*Definición*
P	Probabilidad		
Q	Calor	J	*Definición*
R	Constante universal de los gases	$\frac{J}{K.mol}$	*Definición*
T	Temperatura	K	*Definición*
E	*Energía*	J	*Definición*
U	Energía interna	J	*Definición*
V	Volumen	m^3	$\int dr^3$
j	Niveles energéticos		
β	$1/kT$	$1/J$	
W	Trabajo	J	$\vec{F}.\Delta\vec{r}$
rev	Reversible		

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Estándares de ciencias naturales relacionados con el concepto de energía de 1° a 11° 54

Introducción

En la enseñanza de las ciencias naturales en la educación media vocacional, en especial de la física y la química, es muy común encontrar el uso del concepto de energía como agente generador de cambios en los diferentes procesos y fenómenos naturales que se estudian ya que permite explicar y comprender éstos. Pero relativamente en muy pocas y contadas oportunidades se realiza un estudio de este concepto como algo transversal y universal, que está asociado y presente en todos y cada uno de los fenómenos observados. Éste concepto se utiliza como herramienta para estudiar y comprender la naturaleza, pero cuando se ahonda en él se encuentra un enorme vacío conceptual, ya que en cada disciplina se toma como algo aislado y descontextualizado, sin relación alguna con otros fenómenos (por ejemplo, en mecánica se habla de la energía cinética y potencial; en termodinámica de la energía interna, calor o trabajo; en la teoría de la relatividad masa y energía son equivalentes; en química se dice que las reacciones químicas liberan o absorben energía, etc.), sin comprender que todas son manifestaciones diferentes de un mismo ente llamado energía. Esto hace que la energía sea una palabra que sirve para justifica todo pero no se sabe realmente qué significado tiene. La energía debe ser un concepto transversal y universal en las diferentes asignaturas (física, química y biología) del área de ciencias naturales que permita tener una visión más global e integral de los fenómenos, ya que estos no se encuentran aislados sino en una compleja interrelación.

El problema anteriormente descrito se presenta en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales en las instituciones de educación media vocacional, debido a que las diferentes asignaturas que conforman el área de ciencias naturales no realizan procesos interdisciplinarios y transversales en donde cada asignatura aborda el concepto de energía de acuerdo a sus necesidades específicas, haciendo que los estudiantes adopten diferentes conceptos e ideas para un mismo ente. En algunas ocasiones se generan contradicciones, por ejemplo al estudiar los conceptos trabajo y calor, y realizar un análisis de las unidades de medida de estas dos magnitudes, se encuentra que son medidas con las mismas unidades (energía), pero que representan procesos diferentes, el primero hace alusión a procesos de transferencia de energía de forma coherente y organizada, y el segundo a procesos de transferencia de energía de forma azarosa y desordenada. Por otro lado, es común escuchar que las reacciones químicas liberan o absorben calor, lo que es incorrecto ya que las reacciones químicas liberan o absorben energía y dependiendo del reactor donde se lleve a cabo la reacción, ésta liberación de energía se puede trasferir en forma de calor, trabajo o una combinación de los dos. Estas situaciones han hecho que el concepto sea ambiguo y tenga poca significación en los estudiantes. Como consecuencia de esta forma inadecuada de abordar el concepto de energía se deja

a un lado el enfoque holístico y global que permite comprender la energía como un todo (masa, radiación electromagnética, materia oscura, energía oscura, energía potencial y energía cinética) y que los diferentes fenómenos no son más que transformaciones y transferencias de energía.
Adicionalmente los estándares de ciencias naturales y sociales formulados por el ministerio de educación nacional (MEN) en el año 2006, hacen un llamado a los docentes a adoptar los procesos y fenómenos naturales desde una perspectiva global e integral, como se puede evidenciar en las siguientes citas:

"Los procesos estudiados por las ciencias naturales pueden dividirse en tres grandes categorías: procesos biológicos, procesos químicos y procesos físicos. No obstante, estos procesos no se dan de manera aislada. Así, por ejemplo, para estudiar la visión es necesario entender cómo interacciona la luz con las células del ojo y cómo esta interacción conlleva unas reacciones químicas que generan impulsos nerviosos que van al cerebro".

"Por ello, conviene que la formación en ciencias en la Educación Básica y Media contemple el abordaje de problemas que demandan comprensiones holísticas (como por ejemplo la pobreza, la contaminación ambiental, la violencia, los modelos de desarrollo, el desarrollo tecnológico...) para que el estudio en contexto, además de vincular los intereses y saberes de los estudiantes, permita que los conceptos, procedimientos, enfoques y propuestas propios de las disciplinas naturales y sociales estén al servicio de la comprensión de situaciones, relaciones y entornos propios de estas áreas del conocimiento".

Los estándares planteados por el MEN, proponen abordar el concepto energía desde los primeros años de formación y, gradualmente, ir asumiendo el concepto desde una perspectiva más general (hasta los últimos años de formación de educación media). Un gran inconveniente que puede evidenciarse es que en el proceso de articulación curricular se hace alusión a unas cuantas manifestaciones de la energía dejando de lado que absolutamente todo (masa, materia, movimiento, electricidad, ondas, sonido, luz, etc.) tiene relación con ésta.

Por tal razón, surge la necesidad de crear una propuesta didáctica que parta de la observación, discusión y construcción de ciertos artefactos (motor de combustión, hacer funcionar una linterna mediante una reacción electroquímica, transformación de la energía en una foto celda, hacer funcionar una linterna mediante un dínamo, etc.) y que mediante los pre conceptos y las ideas previas, que tengan los estudiantes acerca de estos fenómenos y orientaciones oportunas en el proceso (intervenciones) por parte del docente, puedan surgir explicaciones y nuevos conocimientos más globales, interdisciplinares y profundos (aprendizaje significativo) acerca de todas las manifestaciones de energía y encontrar las interrelaciones entre todas éstas. Se pretende que el estudiante pueda adquirir un concepto más general que le permita tener una visión más holística y actual del concepto energía.

1 Desarrollo epistemológico del concepto de Energía

En la enseñanza de las ciencias naturales existe una “inercia” o tradición didáctica que evita que ella evolucione a la misma velocidad a la que lo hacen los conceptos científicos. Todo concepto o teoría científica es dinámica, por tanto permanentemente se debe evaluar la forma en la que se introducen los conceptos científicos a estudiantes de las primeras etapas de formación para que estén acordes a los avances científicos del momento.

En la enseñanza de la física en la educación media vocacional no existe concepto más relevante y generalizador que el de energía, (Pohl Valero, 2010) pero a la vez menos trabajado y mucho menos conceptualizado a los conocimientos actuales de las ciencias naturales. Este concepto es empleado en diversas ocasiones y de diversas maneras, pero al profundizar en él se encuentra una gran deficiencia en su definición y comprensión. Por eso es de gran relevancia el poder establecer el desarrollo histórico y epistemológico de este concepto fundamental para entender la evolución de él, pero sobre todo para ayudar a planear una aproximación didáctica que ayude a asimilar por parte de los estudiantes un concepto de energía que esté acorde con la ciencia actual. Ya que es imposible aprender un concepto aislado de otros, es importante introducir el concepto de energía junto a otros conceptos como son: la ley de conservación de la energía, trabajo, calor, energía interna y la entropía (Feynman, 1971). De esta forma se da mayor solidez a la definición de energía.

1.1 La vis viva

En el siglo XVII uno de los problemas que se aborda es el de choques entre cuerpos, más específicamente los choques elásticos. Los datos recogidos producto de la experimentación arrojaron como resultado que antes y después de un choque de esta naturaleza “algo se conservaba”. Descartes se inclina por la conservación de la cantidad de movimiento, pero Leibniz, Huygens y Wallis se inclinan por decir que lo que se conservaba antes durante y después de un choque es la *“vis viva”,* claramente haciendo referencia a la primera aproximación hacia la energía que más adelante sería la energía cinética. La no conservación de la vis viva en los choques inelásticos abre la puerta al

concepto de energía interna, que más adelante se desarrolla en la termodinámica (Gerald, 1989).

Galileo Galilei estudia la caída libre de los cuerpos y su relación con la altura y la velocidad, (implícitamente haciendo referencia a lo que más adelante sería la energía cinética y potencial gravitacional) encontrando que la relación de estas cantidades se hace mediante la velocidad al cuadrado. Chrystian Huygens en el año de 1668 decide emprender la solución al problema planteado por la Royal Institution de Londres acerca de los choques elásticos entre 2 cuerpos, solución que publica en el Journal de Savants (1669), concluyendo que en un choque elástico se conserva la vis viva. Los choques inelásticos fueron analizados por J. Wallis que reconoce 2 clases de cuerpos, los cuerpos duros (hard) y los cuerpos blandos (soft). Al hablar de los cuerpos blandos afirma que parte de la vis viva es utilizada en deformarlos y concluye que por tal razón la vis viva no podría conservarse.

Gottfried Wilhelm Leibniz retoma los experimentos realizados por Galileo sobre la caída libre, en ellos se afirma que todos los cuerpos sin importar su peso al dejarlos caer desde la misma altura, llegan al suelo con la misma velocidad, pero G.W. Leibniz analiza una circunstancia aparentemente contradictoria en estos experimentos, si bien todos los cuerpos al caer desde la misma altura (causa) llegan con la misma velocidad, el daño causado en su caída era diferente (efecto), ya que los cuerpos más pesados producen un mayor daño en su caída. Otro hecho que genera gran confusión es el efecto de un objeto de igual masa al caer desde distintas alturas, por ejemplo un ladrillo al caer desde diferente altura genera un efecto diferente en su caída. Con estos hechos Leibniz encuentra que no sólo al dejar caer un cuerpo contra el suelo sino que también al chocar cuerpos entré sí, existen dos cantidades fundamentales en el análisis, la masa y la velocidad, pero a diferencia de Descartes y Newton que proponen el momentum o cantidad de movimiento (producto entre la masa y la velocidad) como una cantidad que se conserva en los choques, Leibniz propuso una nueva magnitud que se conserva, “la vis viva”. Esta cantidad, a diferencia del momentum, permite un perfecto equilibrio entre causa y efecto. Esta conservación de la magnitud propuesta por Leibniz más tarde se transforma en lo que hoy se conoce como energía cinética, y se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$vis\ viva = masa\ x\ velocidad^2$$

D. Bernoulli generaliza la conservación de la vis viva para los fluidos, y estudió las pérdidas de vis viva en un fluido al pasar por un tubo comparando este hecho con un choque inelástico.

Lazare Carnot, se da a la tarea de estudiar los choques inelásticos y la no conservación de la vis viva, llegando a concluir que:

“En el choque de cuerpos duros (inelásticos), la suma de las fuerzas vivas antes del impacto es siempre igual a la suma de las fuerzas vivas después del impacto y a la suma de las fuerzas vivas que tendría cada uno de los cuerpos si se moviera libremente con la velocidad que perdió en el impacto” (DUGAS, 1988).

Los estudios de Lazare Carnot (1753-1823) realizados en su obra "*Essai sur Les Machines Fondamentaux de l'Equilibre et du Movement"* fueron los primeros en tratar la cuantificación de la pérdida de vis viva (Jordi & Francisco, 2008).

En los siglos XVII y XVIII surge de forma implícita el concepto de energía potencial a partir de los estudios de Galileo, Leibniz, Huygens, y Bernoulli haciendo referencia a la fuerza muerta a través de la tensión. Euler de forma explícita estudia la "vis potencialis" de los objetos elásticos cuando se deforman, a lo cual hoy en día se llama energía potencial elástica.

El concepto de potencial surge cuando Lagrange (1736-1813) soluciona el problema de las fuerzas gravitacionales que ejercen entre sí una cierta cantidad de objetos. Al colocar un objeto que no pertenece al sistema (objeto de prueba) en un punto P, Lagrange determina que al derivar la función V (función de energía potencial) se obtiene la fuerza gravitacional entre el grupo de partículas, dicha función se halla al sumar la masa de cada una de los objetos (del sistema) dividida entre la distancia al punto P. Esta función simplifica el problema ya que no se debe tener en cuenta la dirección de las fuerzas. Esta función de energía potencial no se asociada a ningún principio de conservación.
El concepto de vis viva se eleva a la categoría de principio de conservación de la mecánica a pesar que no se cumplía en los choques inelásticos, ni tampoco en los rozamientos.

1.2 Teoría del calor como energía

El calor se define según Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) como un fluido incoercible (que no se puede mantener confinado en un recipiente), completamente elástico y que siempre se conservaba (Güémez, 2003). En esta concepción de calor, éste era tomado como un fluido auto-repulsivo capaz de llenar los espacios vacíos existentes entre los cuerpos; el calórico (como más tarde le llamó Lavoisier) ejercía una fuerza de repulsión entre las moléculas de un objeto haciendo que se separasen. Si sólo existiese dicha fuerza provocada por el calórico no existiría sólido alguno, más sin embargo existe otra fuerza que contrarresta este efecto, la fuerza de atracción (se desconocía la causa de dicha fuerza, se especulaba que era de carácter gravitacional) que mantenían las moléculas muy cerca unas de otras haciendo que permaneciesen en equilibrio. De acuerdo a la idea de Lavoisier de que la materia no era un continuo sino que por el contrario consideraba que era de conformación discreta formada por partículas separadas entre sí a una cierta distancia. De acuerdo al grado de separación, algunos cuerpos podían contener más calórico que otros, de ésta forma Lavoisier daba indicios sobre lo que hoy en día se llama "capacidad calorífica". Para Lavoisier existían 2 clases de calórico: calórico libre y calórico combinado, el primero era el que no estaba asociado a cuerpo alguno, el segundo era el que estaba ligado a un cuerpo por la fuerza de afinidad o atracción.

De acuerdo a esta teoría del calórico la diferencia ente los sólidos, líquidos y gases es la fuerza de atracción gravitacional entre las partículas, si a un sólido se le aumenta la temperatura, éste contendría más calórico haciendo que las partículas se separasen más aumentando la fuerza de repulsión, logrando que los átomos no permanezcan en posiciones fijas y haciendo que el cuerpo cambiase de estado sólido a líquido, si el contenido de calórico era muy elevado permitiría que la fuerza gravitacional fuese despreciable convirtiendo el líquido en un gas.

Con esta teoría se logra diferenciar entre intensidad y cantidad de calórico, ya que la intensidad de calórico es medida por la temperatura mediante la siguiente relación: Si un cuerpo contiene una cantidad a_1 de calórico y una masa m_1 su temperatura sería $T_1 = a_1/m_1$, es decir que para obtener la cantidad de calórico que tiene un cuerpo solo era necesario medir su temperatura y multiplicarla por la masa del cuerpo (Güémez, 2003).

Desde esta época ya es posible diferenciar estos conceptos, en donde calor se asume como la cantidad de fluido ígneo que posee un cuerpo y la temperatura es la intensidad de este fluido por unidad de masa. Junto a los trabajos de Lavoisier se encontraba, Joseph Black (1728-1799) realizando aportes acerca de la teoría del calórico y la forma como éste se diferencia de la temperatura, haciendo experimentos demuestra que objetos de diferente sustancia con igual masa suministrándoles la misma cantidad de calórico no aumentaban de la misma forma su temperatura, introduciendo de esta forma el concepto de calor específico. También comprueba que el hielo al fundirse recibiendo calórico no cambia su temperatura, descubriendo así el calor latente de fusión. Estas demostraciones hicieron pensar que calor y temperatura no corresponden a lo mismo. Vale la pena citar textualmente la forma como Black plantea la diferencia entre calor y temperatura (García Colín, 1997):

- *"Un avance en nuestro conocimiento sobre el calor, que puede lograrse mediante el uso de termómetros, es la noción mucho más clara que hoy tenemos sobre la distribución del calor en cuerpos diferentes. Aun sin la ayuda de termómetros podemos percibir la tendencia del calor a difundirse de cualquier cuerpo caliente hacia otros más fríos en sus alrededores, hasta que el calor se distribuye entre ellos de una manera tal que ninguno es capaz de tomar más que los restantes. Así pues, el calor alcanza un estado de equilibrio. La naturaleza de este equilibrio no se comprendía bien hasta que discerní un método para investigarlo. Se han adoptado muchos puntos de vista al respecto, todos unos tantos apresurados, como es imaginarse que en dicho equilibrio hay una misma cantidad de calor en cada volumen igual del espacio, independientemente de cómo se llene éste con cuerpos diferentes. Esto es confundir la cantidad de calor en diferentes cuerpos con su intensidad (temperaturas), aunque es claro que ambas cosas son diferentes."*

La teoría del calórico logra explicar algunos fenómenos pero deja algunas dudas, por ejemplo Nicolás Léonard Sadi Carnot (1796-1832) explica la máxima eficiencia de una máquina térmica a partir del flujo de calórico de un cuerpo de alta temperatura a un

> cuerpo de menor temperatura, en donde éste se conserva, y que lo que genera trabajo en la maquina es la “caída” de calórico (semejante a una caída de agua por una pendiente al mover un molino). Carnot desconoce cómo es que realmente se produce trabajo mecánico (García Colín, 1997). Esta teoría no ofrece una explicación satisfactoria, es por esto que surge la iniciativa de estudiar las propiedades y características de este fluido. Es así como Benjamín Thomson, Conde de Rumford (1753-1814) un gran personaje norteamericano que en la guerra de independencia de Estados Unidos se puso de lado de Inglaterra. Fue puesto al mando en una fábrica de cañones en Múnich, en donde al supervisar cómo se perforan los cañones con un taladro se percata que al perforarlos se produce una gran cantidad de calor, cuestiona el por qué se produce tanto calor de la nada, es así como pone en duda la teoría del calórico. Los defensores de la teoría del calórico afirman que este calor es desprendido de la viruta metálica que pierde su capacidad calorífica. Thompson para desmentir dicha afirmación toma cantidades iguales de viruta y de lámina metálica y las sumerge en agua en condiciones iguales (la misma temperatura y la misma cantidad de masa), llega a la conclusión de que tanto las virutas como la lámina metálica aumentan en la misma medida la temperatura del agua desvirtuando las afirmaciones, pero en su momento el experimento de Thompson no tiene la aceptación que él hubiese querido ya que la teoría del calórico está fuertemente arraigada en la sociedad de la época. Otra experiencia que realiza Benjamín Thompson es la de tratar de medir el peso del calórico, para ello emplea sustancias como agua y mercurio, aprovechando que el agua posee gran cantidad de calor latente, que al ser congelada éste sale de ella permitiendo medir su peso. Pero al realizar el experimento con gran cuidado no encuentra peso alguno, de esta experiencia se concluye que el calórico es imponderable o no posee peso (Gamow, 2001).

Con estos aportes, realizados por Benjamín Thompson se vislumbra un nuevo panorama en el estudio del calor, al permitir el avance en el estudio de la naciente termodinámica, el abandonar la idea del calor como un fluido y el desarrollar la idea de que el calor se relaciona de algún modo con el movimiento, ya que el calor surge a partir del movimiento y choques de cuerpos y la fricción entre éstos. Conclusiones que son extraídas por Thompson a partir de los experimentos que realiza perforando cañones mediante el esfuerzo mecánico de caballos moviéndose. Estos son los inicios de lo que años más tarde se conoce como el equivalente mecánico del calor. A pesar de las demostraciones y de los grandes esfuerzos realizados por Benjamín Thompson la idea del calórico persiste hasta mediados del siglo XIX cuando de forma independiente tres ilustres hombres de ciencia llegan al descubrimiento de la primera ley de la termodinámica, y confirman que la energía potencial gravitacional (un cuerpo a determinada altura) o la energía cinética de un cuerpo (un cuerpo con determinada velocidad) pueden convertirse en calor (Müller, 2007).

1.3 Conservación de la energía

Los tres científicos que llegan a demostrar que la energía cinética se puede trasferir a los alrededores en forma de calor y que por tanto la energía se conserva son: Robert Julius Mayer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), y Hermann Ludwig Ferdinand (von) Helmholtz (1821-1894).

Robert Julius Mayer es el primer aventajado en estos temas ya que plantea en forma general que toda forma de energía se conserva, y que lo que ocurre es una transformación de ésta. Mayer realiza sus aportes en el momento en el que viaja en un barco rumbo a Java, en donde presta su servicios como médico, se entera que cuando el mar está más activo y enfurecido, las aguas son más cálidas, y que la desoxigenación de la sangre es menor si el cuerpo produce menos calor para mantener la temperatura del cuerpo. Con estas observaciones inicia un período en el cual trata de establecer cómo es que la energía se "transforma" en calor. Intenta medir el equivalente mecánico del calor, es decir cuanta energía mecánica es necesaria para producir una cantidad dada de calor. Toma como base las capacidades caloríficas específicas del agua medidas por otros científicos, encuentra una relación en la cual establece que para incrementar la temperatura de 1 g de agua de 0°C a 1°C es necesario dejar caer un peso de prueba desde una altura de 365 m. Sus cálculos aunque no son precisos ya dan una medida aproximada de lo que más adelante Joule publica como equivalente mecánico del calor. Sus trabajos acerca de la conservación de la energía no son publicados y difundidos abiertamente ya que sus escritos carecen de un lenguaje matemático formal, esto ocurre debido a que él carece de conocimientos en física (mecánica) aunque un amigo le colabora enseñándole. Para Mayer la energía que proporciona el Sol, proviene de las colisiones de asteroides y meteoritos que ocurren sobre la superficie de éste (Müller, 2007).

Su idea sobre la conservación de la energía se lleva más allá de objetos inanimados, pues se atreve a decir que si una persona realiza alguna actividad física, la parte que la realice estaría con menos calor ya que éste se habría transformado en movimiento. Sobre las máquinas térmicas afirma que el calor que pasa de la fuente de alta temperatura a la de baja temperatura, es menor que el existente antes de iniciar el proceso ya que el calor restante es el que se transforma en trabajo (Müller, 2007).

La explicación que ofrece acerca del proceso en el cual la energía mecánica (cinética y potencial) es transformada en calor no es muy satisfactoria, ya que afirma que para que la energía se convirtiese en calor, el movimiento de los cuerpos debería cesar, y así poder manifestarse de esta forma. Esta apreciación es corregida por James Clerk Maxwell y Helmholtz a partir de la teoría cinética de los átomos que se presenta más adelante (Gerald, 1989).

La persona que perfecciona la medida del equivalente mecánico del calor hacia unos valores bastantes aceptables es James Prescott Joule quien piensa que la energía con la cual cuentan los cuerpos no puede desaparecer, ya que afirma que es imposible que las propiedades que Dios le da a los cuerpos fuesen destruidas. En busca de la explicación de por qué la energía de los cuerpos parece desaparecer, retoma los trabajos realizados por Benjamín Thompson (Conde de Rumford) acerca de la medida del equivalente mecánico del calor, cuyos resultados no son del todo precisos. Joule inicia una etapa experimental en donde de forma minuciosa realiza varias medidas y analiza los posibles errores en los que incurre, y la forma de minimizar las pérdidas de energía en sus experimentos. En sus apuntes deja evidencia de todo este proceso. Es así como llega a la medida del equivalente mecánico del calor, es decir, cuánta energía potencial es necesaria (desde que altura y qué cantidad de masa de un objeto se requiere) para obtener el calor necesario para incrementar en 1°C de temperatura una masa de un gramo de agua, que hoy en día en el sistema internacional de medida es 1Cal = 4,18 Joule. Esta medición la realiza mediante un instrumento (ver Ilustración 1-1) el cual cuenta con un recipiente lleno de agua, cuyas paredes son adiabáticas (no permiten intercambio de calor con el medio), un termómetro que registra los cambios de temperatura del agua, y unas paletas o aspas giratorias inmersas dentro de ésta y accionadas mediante unas pesas que se encuentran ligadas mediante poleas y cuerdas a una determinada altura. Al dejarlas caer a velocidad constante, accionan las paletas y hacen que el agua se agite experimentando un incremento en la temperatura. De ésta manera Joule puede observar cómo la energía mecánica de las pesas al caer una determinada altura es transformada en energía interna del agua; desmiente varias aseveraciones en las cuales se afirma que la energía se agota y destruye, si un cuerpo se detiene y pierde energía mecánica, su energía no se agota sino que simplemente se transforma en otra forma de energía (que no es tan fácil de observar), mediante la realización de un trabajo (Müller, 2007).

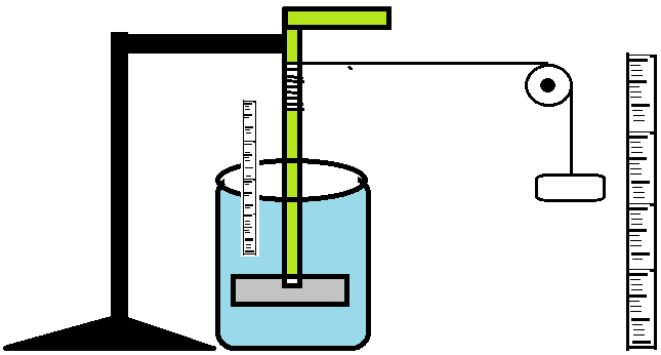

Ilustración 1-1. Esquema del mecanismo empleado por Joule para medir el equivalente mecánico del calor.

Joule también descubre el efecto que experimenta una corriente eléctrica cuando pasa por un alambre, que hoy en día se llama efecto joule, en donde el calor que se produce en el alambre es proporcional al cuadrado de la corriente que pasa a través de él. Es decir sin

importar la clase de trabajo comprueba que esta energía no desaparece sino que se transforma en calor.

Al realizar éste experimento Joule comprueba que el calor no se conserva, que lo que realmente se conserva es la energía, que el calor es una manifestación más del mismo ente, la energía, que se puede obtener de diferentes formas mediante la realización de trabajo mecánico, eléctrico, químico, etc., pero sin importar el tipo de trabajo se produce un cambio en la energía interna y que éste cambio es igual al trabajo realizado, siempre y cuando se realice adiabáticamente. El proceso contrario es decir, convertir calor en potencia motriz es estudiado por los ingenieros constructores de máquinas térmicas desde un punto de vista práctico (Sadi Carnot y otros). Así es como surge el concepto trabajo como una medida de la cantidad de potencia motriz producida por una máquina térmica. Hombres de ciencia como Émile Clapeyron y Rudolf Emanuel Clausius abordan este concepto desde una perspectiva más científica y conceptual, que a la postre les permite descubrir el segundo principio de la termodinámica, que establece la imposibilidad de convertir todo el calor en trabajo (Gamow, 2001) (Güémez, 2003) (Wilson, 1999).

Joule que estudia la equivalencia entre calor y trabajo, también argumenta acerca de la naturaleza del calor, sostiene que éste no es un fluido ni sustancia alguna, que más bien es movimiento pero no como el de los cuerpos sino que es un movimiento desordenado y caótico de las partículas que conforman un cuerpo. El calor para Joule no es más que movimiento de las partículas de un objeto.

El científico que definitivamente cambia el concepto de calor mediante la formulación del principio de la conservación de la energía (el principio físico más importante descubierto en el siglo XIX) es Hermann Ludwig Ferdinand (von) Helmholtz (1821-1894). Helmholtz, basándose en trabajos previos, aborda el problema que se tiene acerca de los choques inelásticos y la fricción, ya que estos problemas conllevaban a la destrucción de energía. El poder explicar de forma convincente y argumentada estos hechos es uno de sus grandes retos. Helmholtz argumenta que la fricción y los choques inelásticos son una manera de como la energía se transforma de un movimiento en el cual todas las partículas de un cuerpo se mueven simultáneamente y en la misma dirección (energía cinética) a un movimiento caótico y desordenado de los átomos. Es decir que tanto el trabajo como el calor son procesos (métodos) en los cuales la energía de los cuerpos es redistribuida pero como una energía interna de los átomos, en donde todos se mueven aleatoriamente y están sometidos a choques elásticos entre ellos. A este nivel no se puede hablar de fricción ya que las partículas elementales no experimentan este fenómeno. El calor es concebido como la energía cinética de las partículas, y la energía potencial debido a las fuerzas elásticas entre éstas se asume como el calor latente (Müller, 2007).

La forma como se plantea la primera ley de la termodinámica no es la más adecuada, ya que el calor es asumido como una propiedad o variable que define un estado termodinámico de un cuerpo. Rudolf Clausius quien enuncia la segunda ley de la termodinámica, describe que el calor libre es la energía cinética de las partículas de un

cuerpo. De este modo al realiza trabajo, parte de esa energía se convierte en ese tipo de energía cinética haciendo que la temperatura aumente. El calor latente es el calor que se transforma gracias al trabajo realizado en contra de las fuerzas de cohesión existentes entre moléculas. El anterior planteamiento se describe mediante la expresión: $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$, en donde ΔQ es el incremento de calor, ΔU es el cambio en la energía del cuerpo y ΔW el cambio en trabajo externo realizado. Aunque Clausius no introduce el concepto de energía interna, ya hace referencia de ella como una energía que queda dentro de los cuerpos por causa de dos procesos: trabajo y calor.

Con este aporte Clausius diferencia la temperatura como una variable de estado de un sistema, del calor y el trabajo, como procesos mediante los cuales la energía interna que posee un cuerpo varía.

También se interesa por la teoría cinética molecular, explicando que las moléculas de un gas se mueven en todas las direcciones sin tener preferencia por alguna de ella. También analiza como las moléculas colisionan unas con otras. Adicionalmente describe el camino libre medio, que es la distancia media que existe entre dos colisiones consecutivas entre moléculas de un gas. Además que las moléculas no solo poseen energía cinética de traslación, sino que además tienen energía cinética de rotación y vibración. Clausius abona gran terreno para lo que años más tarde conmociona a la comunidad científica, la teoría cinético molecular y la física estadística de James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann, entre otras.

El concepto de calor nuevamente experimenta cambios, puesto que pasa de ser movimiento de las partículas de un cuerpo (variable de estado de un sistema) a una concepción mucho más elaborada, indicando que *el calor no es más que, una de las formas como los cuerpos ceden u obtienen energía de otros cuerpos que están a diferente temperatura*. Es decir se pasa de una concepción estática del calor (condición de los cuerpos) a una dinámica (proceso de transferencia). Con esta evolución del concepto se puede rescribir la primera ley de la termodinámica, de la siguiente forma (Bellone, 1999):

Ecuación 1

$$\Delta \boldsymbol{U} = \boldsymbol{Q} + \boldsymbol{W}$$

Es decir que la variación de la energía interna (energía cinética y potencial de las moléculas) se debe a dos procesos:

1. Transferir energía debido a una diferencia de temperatura (calor) entre cuerpos cuyos volúmenes son constantes. Se puede realizar mediante 3 formas: radiación, convección y conducción.

2. Realizar trabajo (mecánico, eléctrico, químico, etc.), cuando hay cambio de la energía potencial o del volumen del sistema.

De esta forma en la actualidad el calor se entiende como un proceso de transferencia de energía debido a una diferencia de temperatura, y no como un movimiento molecular (que

está más relacionado con la temperatura), y mucho menos una sustancia inconmensurable que se encuentra dentro de los cuerpos y que sirve para describir el estado de un cuerpo.

Estos avances hacia un principio unificador en donde varios fenómenos están relacionados entré sí, surgen como resultado de una corriente filosófica llamada la *Naturphilosophie*, dicha corriente tiene gran influencia entre la comunidad científica de la época ya que se inicia la búsqueda de un principio unificador de todos los fenómenos y las diferentes trasformaciones entre éstos.

A finales del siglo XVIII se conoce diferentes fenómenos de la mecánica, calor, luz, electricidad, magnetismo, reacciones químicas pero no se encuentra relación alguna entre estos (Pohl Valero, 2010).

A inicios del siglo XIX, se descubren ciertas relaciones que hacen pensar que todos los fenómenos están relacionados, Herschel (1801) descubre el calor radiante mediante las ondas infrarrojas, Volta en 1800 descubre que una reacción química produce electricidad, pocos años después Faraday y Davy descubren el proceso contrario; que la electricidad produce reacciones químicas; Oersted en 1820 con su famosa experiencia de la brújula y el circuito eléctrico, descubre que la corriente eléctrica induce un campo magnético, en 1831 Faraday descubre el proceso contrario, que un campo magnético variable induce una corriente eléctrica. Todos estos experimentos y otros más realizados en esta época, permiten pensar en la idea de que estos fenómenos intercambiables entre sí deben conservar algo en estos procesos (Jordi & Francisco, 2008), ese algo es denominado fuerza.

Durante las décadas de 1850 y 1860 y especialmente debido a un grupo de científicos e ingenieros escoceses, [William Thomson (1824-1907), Peter Guthrie Tait (1831- 1901), Macquorn Rankine (1820-1872), James Clerk Maxwell (1831-1879) y Fleeming Jenkin (1833-1885)], el concepto fundamental al que se le debe aplicar la idea de conversión y conservación fue ampliamente aceptado bajo el término de energía (Smith, 1998). Desde entonces se asume que la luz, el movimiento molecular, el magnetismo, la electricidad, el calor y el trabajo (estos dos últimos como métodos de transferencia) son manifestaciones de un mismo concepto, la energía.

Helmholtz generaliza este principio a todos los fenómenos observados, así por ejemplo calcula la fuerza electromotriz de dos metales en una pila, la interacción entre un imán móvil y la corriente generada por una pila, también aplica este principio para la determinación de la constante ε de las corrientes inducidas en una espira (trabajo realizado por Neumann) (Gamow, 2001). De todos estos trabajos se pueden extraer dos características relevantes acerca del principio de conservación de la energía: el carácter unificador de los fenómenos, es decir, los fenómenos guardan relación entre sí aunque en apariencia fuesen diferentes, y la aplicación del principio sin conocer la expresión de las fuerzas que actúan en el fenómeno, en otras palabras, se puede aplicar el principio de conservación de la energía aun desconociendo el origen de las fuerzas que actúan.

En el universo la energía es constante y lo que se transforma son sus manifestaciones. Esta definición introdujo un cambio radical al percibir el universo ya no como cuerpos interactuando mediante fuerzas, ni partículas moviéndose en el espacio vacío sino como un continuo de espacio y energía presentes en diferentes formas o manifestaciones.

EL CONCEPTO DE CAMPO

A mediados del siglo XIX la mecánica se desarrolla de manera prolija, pero faltan algunos aspectos por resolver, como por ejemplo la acción o fuerza a distancia entre objetos. Inicialmente se sugiere que la transmisión del efecto (fuerza) fuese instantáneo, a velocidad infinita y que el medio por el cual se propagase tuviese ciertas propiedades para tal fin, como el éter. Este mismo inconveniente fue presentado por la fuerza a distancia entre cargas eléctricas descubierta por Charles Agustín Coulomb.

Las líneas de fuerza magnética, visualizadas mediante limaduras de hierro, se usan en la época de Faraday, hacia 1820, para visualizar la interacción entre objetos ferromagnéticos. Faraday piensa que las líneas de fuerza tienen existencia física independientemente de si se pueden visualizar o no. De este modo piensa que toda interacción a distancia (ya sea gravitacional, magnética o eléctrica) debe ser mediada por las líneas de fuerza. Los argumentos físicos de la existencia de las líneas de fuerza dados por Faraday son:

- Las mismas líneas de fuerza magnética se obtienen mediante experimentos independientes
- Si se mueve un conductor a lo largo de las líneas de fuerza no se produce ninguna corriente inducida, ya que el campo magnético es constante a lo largo de estas líneas.

Surge entonces el concepto de campo que ayuda a entender el efecto de simultaneidad y también el de energía, de tal forma que un objeto dentro de un campo (eléctrico, magnético, gravitacional, o electromagnético) debe tener una energía asociada por este hecho (potencial). James Clerk Maxwell propone sus leyes del electromagnetismo, que permiten entender el flujo energético a través de un campo electromagnético y el hecho de que la radiación pueda moverse a través del espacio vacío sin sufrir transformación hasta que incide sobre los objetos y genera un aumento de temperatura. Este hecho permite comprender que la radiación electromagnética y el campo asociado son formas de energía.

El descubrimiento de que todos los cuerpos emiten y absorben energía mediante radiación permite entender que si un objeto mantiene una misma temperatura es porque emite y absorbe energía electromagnética en la misma cantidad, y que la emisión y absorción de energía se hace en un flujo continuo. Esto funciona bastante bien de acuerdo a la termodinámica clásica, la teoría ondulatoria y electromagnética. En esta etapa surge un inconveniente, al querer explicar la radiación del cuerpo negro (propuesto por Gustav Kirchhoff) este cuerpo puede absorber toda la radiación (todas las longitudes de onda) y emitir en todas las longitudes de onda. De acuerdo a la teoría electromagnética y a la

termodinámica, la emisión de radiación del cuerpo negro solo depende de la longitud de onda y la temperatura. Stefan propone que la Intensidad de radiación por unidad de tiempo depende de la cuarta potencia de la temperatura. Boltzmann demuestra teóricamente esta ley y la corrige (dicha ley se le conoce como ley de Stefan-Boltzmann). Pero no se tiene una función que caracterice la emisión de radiación para todo el espectro. Rayleigh propone un modelo que explica la distribución de la energía pero solo funciona bien para frecuencias bajas, ya que para frecuencias altas se llega a un absurdo y es que la emisión de energía tiende a infinito (a esto se le llama catástrofe ultravioleta). Wien propone un modelo que funciona bien para frecuencias altas y consiste en que a medida que se incrementa la temperatura la emisión de radiación tiene un corrimiento hacia frecuencias altas (ley de desplazamiento de Wien). (Edelmán, 1983)

En estas circunstancias surge Max Plank y entrega una teoría acertada y completa sobre la radiación del cuerpo negro basándose en la termodinámica y mecánica estadística de Boltzmann, los osciladores de Hertz y una nueva concepción de la energía, ya que según su modelo la energía que absorbe o emite un oscilador está dada en múltiplos de hv (h una constate llamada constante de Plank y v la frecuencia). Es decir que la emisión y absorción de energía no es un continuo como lo predice la mecánica clásica sino que es discreta y se presenta en paquetes o unidades básicas llamadas más adelante “quantos”. Estos hechos son ratificados cuando Albert Einstein explica el efecto fotoeléctrico, argumentando que para poder generar una corriente eléctrica (desplazamiento de electrones) mediante la extracción de electrones de una superficie metálica mediante la incidencia de radiación electromagnética solo se podría realizar mediante paquetes de energía llamados fotones. Otro hecho a favor de esta nueva teoría es la explicación dada por N. Bohr sobre el espectro de emisión del hidrógeno considerando que la energía de los electrones está cuantizada. (Jordi & Francisco, 2008)

A inicios del siglo XX se inicia una gran revolución, en cabeza de ésta se encuentra Albert Einstein y su teoría de la relatividad especial que entre otras cosas establece la relación entre masa y energía y el espacio tetra dimensional (espacio tiempo) partiendo de dos postulados: la invariabilidad de las leyes físicas en sistemas inerciales y que la velocidad de la luz es constante e independiente a la velocidad de la fuente y del observador. Einstein plantea la equivalencia entre masa y energía mediante la famosa ecuación $E = mc^2$. Plank también llega a las mismas conclusiones al argumentar que la masa inercial aumenta o disminuye de acuerdo al calor absorbido o emitido dividido entre la velocidad de la luz en el vacío. Estos grandes aportes de la relatividad especial ayudan a entender el origen de la energía de la desintegración radioactiva y las reacciones nucleares, y que la conservación de la masa en una reacción química es un caso especial del principio de conservación de la energía. (Hewitt, 2007)

Con el advenimiento de la energía nuclear y la desintegración β de núcleos radioactivos, ronda la idea de que el principio de conservación de la energía no se cumple a estas escalas, Bohr afirma que éste principio solo se cumple a escala macroscópica ya que a

escala microscópica solo lo hace estadísticamente. Ya que al haber desintegración radioactiva, la energía antes y después no se conserva.

En tales circunstancias W. Pauli, propone que en la desintegración β, surge una partícula llamada neutrino, que cumple con el principio de conservación de la energía, dicha partícula es aceptada pero no es encontrada experimentalmente sino hasta el año de 1953. Otro argumento en contra del principio de conservación es propuesto por N. Bohr al esgrimir una teoría acerca del cambio de frecuencia que se produce en el efecto Compton (el efecto Compton es un fenómeno que ocurre cuando un fotón de rayos x incide sobre un electrón y pierde energía aumentando su longitud de onda) suponiendo que se produce una "radiación virtual" es decir que un átomo pudiese absorber y emitir radiación sin transmitir ni absorber energía ni momentum. Esta teoría de Bohr- Kramers-Slater es dejada en el olvido debido a que los hechos experimentales no la apoyaron, la explicación de este efecto es una prueba más en favor de la teoría cuántica de la energía. (Hewitt, 33 El núcleo atómico y la radioactividad, 2007)

El concepto de energía es la idea más transversal y general que se puede usar para racionalizar todos los fenómenos de la naturaleza, prueba de ello es el estudio del origen del universo y su energía. Se asume que la energía del universo está presente en el mismo origen de éste en el Big Bang y que esta energía es constante, y que está presente en toda la materia del universo. Todas estas afirmaciones lentamente han ido cambiando en la medida que se han descubierto hechos que hacen pensar en algo más. De acuerdo a las evidencias, el universo se encuentra en expansión, cosa que se puede demostrar mediante el efecto Doppler, concluyendo que las galaxias se están alejando entre sí, a la vez se cree que debido a las fuerzas gravitacionales presentes, la velocidad con la que se expande el universo debe disminuir, es decir debe haber una desaceleración, pero al realizar mediciones recientes se encuentra todo lo contrario. En vez de disminuir la tasa de expansión del universo cada vez se incrementa más, es decir que en medio de todo el espacio existe "algo" que supera a las fuerzas de atracción gravitacionales. Ese algo es llamado **energía oscura** (su nombre radica en la dificultad de detección y el poco conocimiento que se tiene sobre ella), también se manifiesta que esta energía corresponde al 65% o 70 % del universo, es decir que el universo en un gran porcentaje es energía oscura. (Nóvikov, 1988)

Adicionalmente se encuentra que las galaxias están distribuidas en ramilletes y que al medir la velocidad con las que giran se descubre que su velocidad de rotación alrededor de su parte central es aproximadamente constante, en contradicción con lo que se debe esperar a partir de las leyes de Newton de la gravitación, ya que las partes más cercanas a su eje de rotación deben moverse con mayor velocidad que las partes más externas. Esto hace pensar que debe existir una gran cantidad de materia que no vemos pero que permite que esto ocurra. A esta materia se le llama materia oscura, su nombre radica en que no emite radiación, es decir que es indetectable directamente pero sabemos que debe existir por sus efectos en la materia "visible". Se asume que el universo está conformado en un 30% de materia oscura y tan solo un 3% a 5% de la materia ordinaria que conocemos, es decir que casi un 95% de la composición del universo es materia oscura y

energía oscura (Lawrence, 2002). Es así que si en algún momento se llega a pensar que la energía del universo y sus diferentes manifestaciones se conocen plenamente, y que el principio de conservación es uno de los grandes principios generales, ahora se debe tener en cuenta este nuevo componente (materia oscura y energía oscura) que resulta ser la mayor parte del universo (John, 2002).

El concepto de energía es uno de los más complejos y generales de toda la física y la ciencia en general, para su completa asimilación y comprensión no solamente se debe tener en cuenta su definición sino que a la par se debe abordar todas sus manifestaciones, transferencias, transformaciones, conservación y su degradación, solo así se puede tener un genuino y real significado de ésta, es decir tener una visión global del concepto y sus implicaciones (visión Holística). Todos, absolutamente todos los fenómenos que se estudian en física, deben abordar el concepto de energía y los demás conceptos afines, solo así se puede tener una visión que interrelacione los diferentes fenómenos.

2 Conceptos básicos de termodinámica y teoría cinético molecular de la materia

La termodinámica es la ciencia que estudia las leyes que rigen la trasformación y flujo de la energía en sistemas compuestos por un gran número de átomos, moléculas o en general partículas (provistas de masa o carentes de ella).

La energía es la propiedad fundamental de la naturaleza que da origen a todo lo que existe en ella. En estos momentos solo se reconoce cinco formas en la cual la energía se manifiesta: en forma de radiación electromagnética, masa (energía concentrada), masa oscura, "energía oscura" (se postula su existencia debido a las observaciones astronómicas y experimentos con altas energías) y en forma de campos de fuerza. Cada forma de energía se puede transformar en cualquier otra forma de energía.

El trabajo es la energía transferida a través de los límites del sistema que ocasiona el desplazamiento de un objeto en una dirección definida de un estado de energía potencial dado a otro o que ocasiona cambios del volumen del sistema. En general, cuando el desplazamiento del objeto entre dos puntos bien definidos necesita de la aplicación de una fuerza durante toda la trayectoria, o en alguna parte, se dice que se realiza un trabajo. El trabajo es una transferencia organizada de energía. Si el sistema hace trabajo en los alrededores se dice que el sistema realiza un trabajo negativo, de lo contrario el trabajo es positivo.

El calor es la energía transferida a través de los límites del sistema en forma desorganizada y es producto ya sea de un gradiente de temperatura con los alrededores o es la energía generada internamente a través de procesos irreversibles (como la fricción o reacciones químicas). Se dice que ocurre una transferencia únicamente en forma de calor hacia o desde un sistema cuando no hay cambios de energía potencial y de volumen en el sistema pero si existe cambio en la energía interna del sistema. Si el calor entra al sistema se dice que es positivo, de lo contrario es negativo.

La transferencia de energía en un sistema ya sea en forma de trabajo o de calor puede llevar al cambio de la temperatura del sistema.

Las formas de energía llamadas trabajo y calor están relacionadas con la manera en la que el sistema y los alrededores intercambian energía y por tanto no son propiedades del sistema, en el sentido en que son características únicas de un sistema en un tiempo dado. Trabajo y calor son características de cada una de las trayectorias posibles, o de los

procesos, para ir de un estado a otro. De este modo los sistemas no se caracterizan por tener un trabajo o un calor determinado, pero sí por tener una energía interna determinada.

La ley cero de la termodinámica establece que si dos sistemas, A y B, están en equilibrio térmico, y B está a su vez en equilibrio térmico con un tercer sistema C, entonces A y C se encuentran en equilibrio térmico. Esta ley establece que aquellos objetos en los cuales no hay transferencia neta de energía (calor) al ponerse en contacto forman una clase, o conjunto, caracterizado por la misma temperatura. Al tener en cuenta que la energía (calor) fluye de cuerpos con mayor temperatura a cuerpos con menor temperatura, esta ley permite ordenar éstos de acuerdo a su temperatura. Por tanto, a partir de la ley cero se pueden definir escalas de temperatura más no el significado de la temperatura. En otras palabras esta ley permite saber si un sistema está en equilibrio térmico o no, pero no dice el por qué los sistemas de forma natural tienden al equilibrio térmico. De este modo cuando no hay flujo neto de energía (calor) el sistema se encuentra en equilibrio termodinámico.

La primera ley de la termodinámica dice que la energía total del universo es constante. Por tanto, la energía no puede ser creada o destruida sino tan sólo trasformada.

La segunda ley de la termodinámica establece que los sistemas aislados naturalmente tienden a ir de estados de mínima probabilidad a estados de máxima probabilidad. El estado de un sistema más probable es aquel que tenga el mayor número de micro estados equivalentes que lo represente (Ω). De este modo se define la entropía (S) como:

Ecuación 2

$$S = k_B \ln W$$

La segunda ley de la termodinámica dice que los procesos naturales ocurren siempre en una dirección definida, hacia el equilibrio térmico y químico, que es el estado de máxima probabilidad.

La temperatura es una propiedad intensiva que relaciona los cambios entre dos propiedades extensivas la energía y la entropía. La temperatura mide el efecto que tiene un cambio de energía interna en la entropía del sistema. Como se observa en la ilustración 2-1 el trabajo no produce cambio en las poblaciones de los niveles energéticos por tanto esta forma de transferir la energía no cambia el número de micro estados que representan el estado macroscópicos y por tanto no tiene ningún efecto en la entropía del sistema. Por otro lado una transferencia de energía en forma de calor si cambia las poblaciones de los niveles energéticos, por tanto la transferencia de energía en forma de calor si cambia la entropía del sistema.

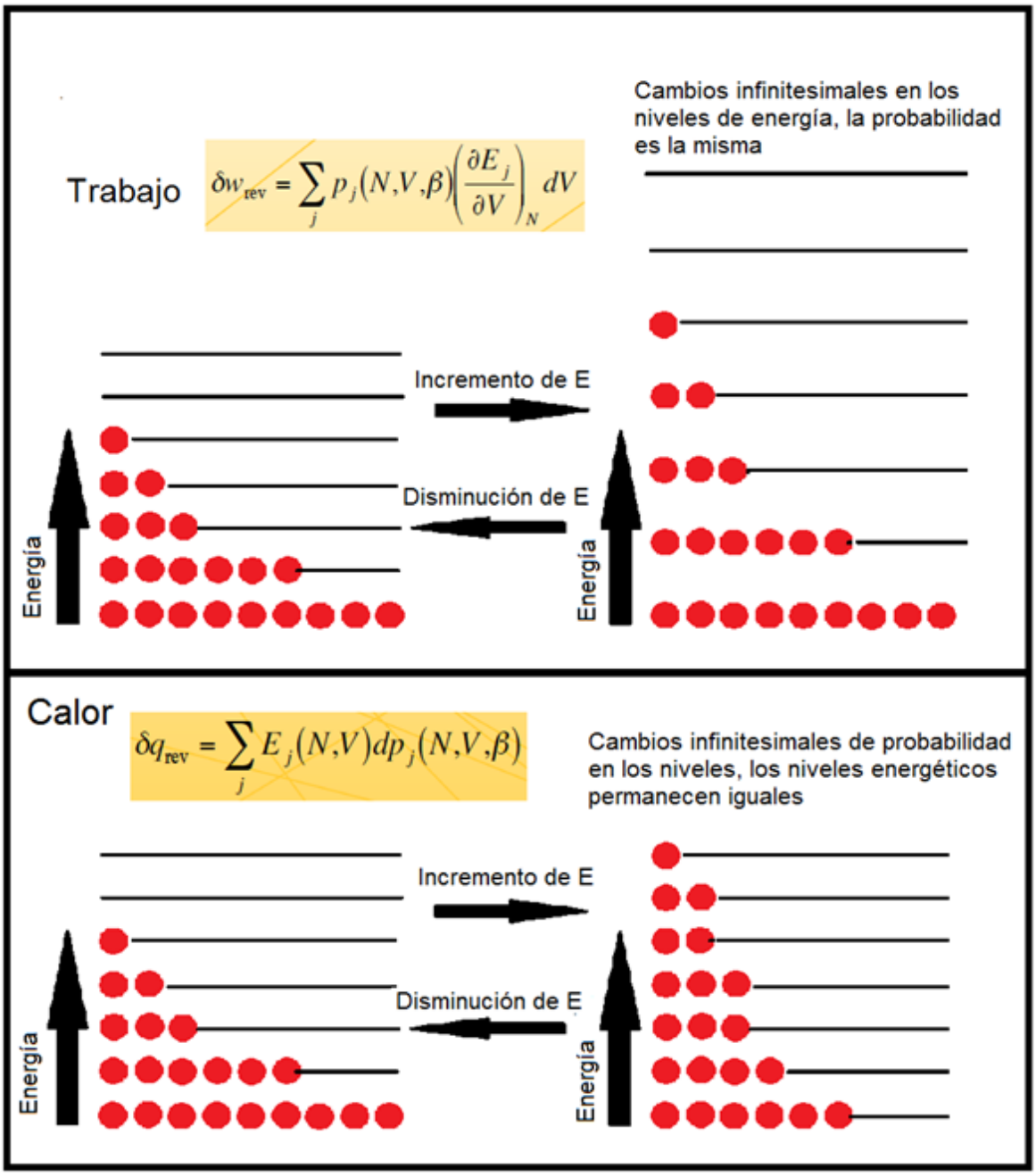

Ilustración 2-1. Mecánica estadística del trabajo y el calor (donde E representa la energía, p la probabilidad, V volumen, β= 1/kT, j niveles energéticos, W trabajo, q calor, y rev reversible).

Así entonces la temperatura de un sistema se define como:

Ecuación 3

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{V,N} = \left(\frac{\partial U}{\partial [k_B \ln \Omega]}\right)_{V,N}$$

En donde ∂U representa la variación de la energía en un sistema, ∂S representa el incremento en la entropía del sistema, K_B es la constante de Boltzmann y lnΩ es el logaritmo natural del número de micro estados.

En palabras, la ecuación anterior dice que si a un sistema se le proporciona una cantidad de energía (∂U), a volumen y número de partículas constantes, existirá un incremento de la entropía del sistema (∂S). Si esta cantidad de energía suministrada produce un efecto pequeño en la entropía del sistema entonces la temperatura del sistema será alta. Por el contrario si un sistema incrementa su energía interna y este incremento está asociado a grandes cambio de entropía entonces la temperatura del sistema será baja.

Los sistemas a altas temperaturas al absorber energía no cambian significativamente su entropía. Los sistemas a bajas temperaturas al absorber energía si cambian su entropía significativamente. En los puntos de transición de estado la temperatura es constante ya que el sistema absorbe mucha energía pero a la vez la entropía aumenta mucho de tal manera que al dividir el cambio de energía interna del proceso de transición de estado entre el cambio de entropía se obtiene una relación constante, lo que implica que estos procesos se dan a una temperatura constante.

A continuación, y con el fin de precisar los conceptos anteriores en los siguientes párrafos se explican algunos conceptos relevantes de la mecánica estadística. Existen evidencias experimentales concluyentes que llevan a afirmar que los cuerpos están conformados por átomos y moléculas, en forma genérica llamadas partículas. Estas pueden tener energías debido a su movimiento y a su posición, energía cinética y potencial respectivamente. La energía cinética de dichas partículas se puede manifestar de tres formas: energía cinética de traslación, cinética de rotación y cinética de vibración. La energía potencial de las partículas se presenta debido a que las partículas al estar cargadas y cercanas entre sí, poseen energía debido a la interacción causada por la existencia de las fuerzas fundamentales de la naturaleza (eléctrica, gravitacional, magnética o nuclear). La suma de todas las energías cinéticas y potenciales es llamada energía total. Debido a que los objetos macroscópicos poseen una enorme cantidad de partículas (para 12 gramos de carbono la cantidad es aproximadamente de $6x10^{23}$) resulta bastante infructuoso analizar lo que sucede con cada partícula, por eso la termodinámica se encarga de estudiar lo que sucede con los valores promedio de conjuntos estadísticos relativamente grandes.

La energía total de un sistema (es decir la suma de las energías cinéticas y potenciales de todas las partículas que lo conforman) es llamada energía interna (U)

Ecuación 4

$$U = \sum E_i$$

Si se tiene un cuerpo rígido, todo el conjunto de partículas se mueven en la misma dirección y con la misma rapidez, por ejemplo al lanzar una pelota. En éste caso todo el sistema se

comporta como una sola partícula y se le aplican las leyes de la dinámica de Newton sin recurrir a descripciones estadísticas.

Pero existen otros tipos de sistemas en donde es imposible realizar una descripción detallada a partir de las propiedades de cada partícula. Por ejemplo un gas ideal, en donde cada partícula puede moverse en cualquier dirección y tener diferentes velocidades en el tiempo debido a la transferencia de momento durante los choques con otras partículas, se describe utilizando las leyes de Newton pero esta vez calculando propiedades promedio. La energía es constante, como en el ejemplo anterior, pero con la diferencia de que no existe movimiento global (no perceptible macroscópicamente). Ahora las partículas poseen un movimiento aleatorio, chocan entre sí y cambian de dirección permanentemente, pero macroscópicamente el objeto no posee movimiento alguno. Entonces se pueden distinguir dos clases de movimiento, uno coherente en el cual todas las partículas se mueven en la misma dirección y un movimiento aleatorio, al azar. Si el sistema anteriormente descrito varía su energía interna, de acuerdo a la primera ley de la termodinámica, dicha variación de energía puede ser realizada de dos maneras diferentes: la primera, haciendo trabajo sobre el sistema para cambiar su volumen y energía potencial y la segunda, transfiriendo energía a volumen constante llevando a un aumento en la temperatura del sistema (calor), sin realizar cambios en la energía potencial de éste. Estos cambios pueden expresarse mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 5

$$dU = \delta Q + \delta W$$

Así al realizar la transferencia de energía mediante trabajo sobre el sistema, se transmite un movimiento coherente (por ejemplo al comprimir un gas dentro de un pistón). De la misma forma cuando el sistema hace trabajo sobre el entorno, se transmite un movimiento coherente (ilustración 2-2).

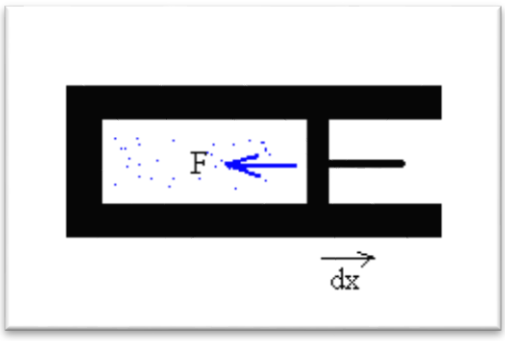

Ilustración 2-2[1]. Compresión de un gás dentro de un pistón.

[1] Imagen tomada de: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/termo/Termo.html

Ahora cuando se realiza el cambio de energía calentando un sistema se transmite una energía que aumenta el movimiento incoherente y aleatorio, de las partículas del sistema. La transferencia de energía en forma de calor aumenta las probabilidades de que las partículas individuales tengan mayores energías, o en otras palabras aumenta la probabilidad de poblar los niveles energéticos altos (ilustración 2-3).

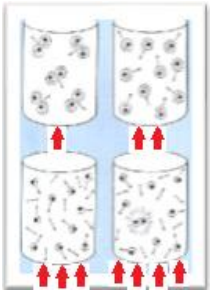

Ilustración 2-3[2]. Calentamiento de un gas dentro de un sistema cerrado.

En conclusión, para aumentar la energía interna de un sistema se puede hacer de 2 formas diferentes: con movimiento coherente (trabajo) y con movimiento caótico (calor).

2.1 Micro estados y entropía

A cada átomo, molécula o de forma genérica partícula, le corresponde un cierto nivel de energía debido a su velocidad, posición y frecuencia de vibración o rotación. De acuerdo a la mecánica cuántica estos niveles energéticos se encuentran cuantizados, es decir a cada partícula le corresponde una cierta cantidad de energía, dicha energía se encuentra representada mediante niveles discretos. Si se representa un gas mediante un gran número de partículas cuya única interacción se da mediante choques elásticos entre éstas, a cada partícula se le asocia una cierta energía que puede pasar de una a otra partícula mediante colisiones. Para simplificar la explicación se realiza la siguiente suposición: un sistema que tiene 25 partículas se pone en contacto con otro cuerpo de 375 partículas como se muestra en la ilustración 2-4:

[2] Imagen tomada de: http://www.creces.cl/images/articulos/2q11a11-3.jpg

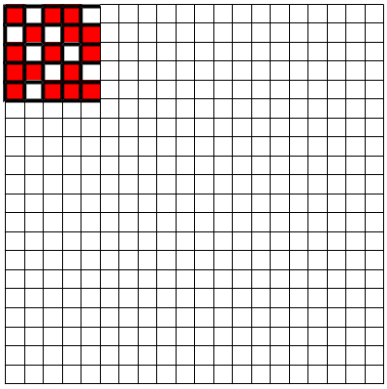

Ilustración 2-4. Sistemas en contacto térmico a t = 0.

El cuerpo que tiene menor tamaño está a una mayor temperatura (representado por el cuadrado de la esquina superior izquierda que contiene partículas rojas que identifican partículas que se encuentra en un estado energético mayor que las blancas), la proporción entre las partículas rojas y el total de partículas del cuerpo es mayor que la proporción entre las blancas y el total de partículas. El objeto de mayor tamaño tiene partículas que por simplicidad se consideran que tienen la misma energía (todos los cuadrados son blancos) pero menor que las partículas rojas. Al iniciar el proceso las partículas se mueven respondiendo únicamente a la regla del azar, moviéndose en cualquier dirección (sin preferencia alguna) y con diferentes velocidades, la única interacción que tienen es con las partículas vecinas y con las paredes del recipiente que las contiene. Si una partícula en un estado energético mayor (roja) choca contra otra que tiene un menor estado energético (blanca), la energía se transmitirá sin pérdida alguna, haciendo que ésta pase ininterrumpidamente de una partícula a otra. Claramente se puede ver que la temperatura hace referencia no a la energía total del sistema sino a la proporción entre las partículas excitadas y las no excitadas de cada objeto. Si para el presente ejercicio, se define la temperatura como la proporción entre el número de partículas rojas sobre el total de partículas $T = \frac{\#\ De\ partículas\ rojas}{Total\ de\ partículas}$, Entonces al iniciar el experimento (t=0) se tiene que la temperatura del cuerpo pequeño es $T_{CP} = \frac{16}{25}$; y la temperatura del cuerpo grande es $T_{CG} = \frac{0}{375} = 0$ y la temperatura total de los 2 cuerpos en contacto es $T_t = \frac{16}{400}$. Al cabo de cierto tiempo (t_1>0) la energía del sistema (conformado por los 2 cuerpos) sigue siendo la misma (cantidad de partículas excitadas energéticamente) pero ahora se observa que la distribución de dicha estado energético se encuentra disperso entre las diferentes partículas de los 2 cuerpos, como se puede observar en la ilustración 2-5. Ahora la temperatura del objeto pequeño es $T_{CP} = \frac{13}{25}$, sigue siendo mayor que la del objeto grande ($T_{CG} = \frac{3}{375}$). Como puede evidenciarse la energía se transfiere de forma no organizada, es decir que está ocurriendo una transferencia de energía mediante el calor. Este proceso continua indefinidamente excitando unas moléculas a unos mayores estados de energía y relajando otras a menores estados de energía. (P.W., Colapso en el Caos, 1992).

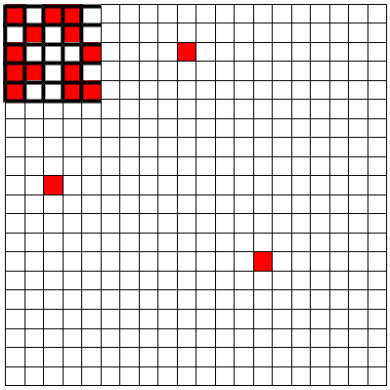

Ilustración 2-5. Sistemas en contacto térmico a $t_1>0$.

Al transcurrir más tiempo el sistema tendrá una configuración como la que muestra la ilustración 2-6

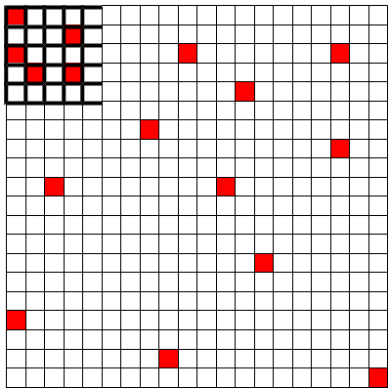

Ilustración 2-6. Evolución en el tiempo del sistema en contacto térmico a $t_2>t_1$.

Puede observarse que la energía es transferida entre las diferentes partículas del sistema de forma aleatoria y desordenada, los cambios que se evidencian son de temperatura, ya que el objeto pequeño ha disminuido la proporción entre los estados excitados y los no excitados, mientras que el objeto de mayores dimensiones ha aumentado dicha proporción. Esta condición ha de continuar de forma indefinida sin llegar a un estado en el cual las condiciones permanezcan estáticas, lo que ha de suceder es que el sistema llegará a una condición tal que las variaciones de una condición a otra sean indetectables ya que los 2 cuerpos llegarán a un equilibrio térmico. Esto quiere decir que la proporción entre los estados excitados y los no excitados de las moléculas de los 2 cuerpos puestos en contacto serán aproximadamente iguales. Adicionalmente, puede observarse que el cuerpo de mayor dimensión posee mayor cantidad de partículas excitadas que el cuerpo pequeño, esto puede ayudar a comprender la diferencia entre energía total y temperatura. Los 2 cuerpos no tienen la misma cantidad de energía total, (energía interna), ya que ésta

depende del tamaño de los cuerpos, pero sus temperaturas si son las mismas, la energía se ha distribuido equitativamente y en proporciones iguales entre las moléculas y el volumen de los objetos en contacto, de tal forma que la razón entre el número de partículas excitadas y el total de partículas es igual en cada uno de los cuerpos en contacto. Dicha condición no impide que de vez en cuando existan variaciones pequeñas (indetectables macroscópicamente); por ejemplo, en la ilustración 2-7 se muestran los dos gráficos que representan diferentes estados del sistema que no son iguales, pero sus temperaturas sí; ya que las proporciones entre átomos excitados y no excitados corresponde, aproximadamente, a un mismo valor, que en este caso es $T_{CP} = \frac{1}{25} = 0{,}04$ para el cuerpo pequeño y $T_{CG} = \frac{15}{375} = 0{,}04$ para el cuerpo grande. La organización de cada una de las partículas difiere, pero a la vista de un observador externo (provisto de un termómetro) no hay diferencia alguna. A estas diferentes formas como se organizan y configuran o distribuyen los átomos, moléculas y energía de un sistema se le llama micro estados.

Con este ejercicio se puede verificar como un objeto transfiere energía en forma de calor a otro sí existe una diferencia de temperatura, y que los sistemas evolucionan hacia un estado de equilibrio desde el punto de vista macroscópico donde las propiedades promedio del sistema de partículas (como la temperatura, energía cinética promedio, densidad, etc.) se mantienen independientemente de la porción del espacio que se seleccione para hacer la medida.

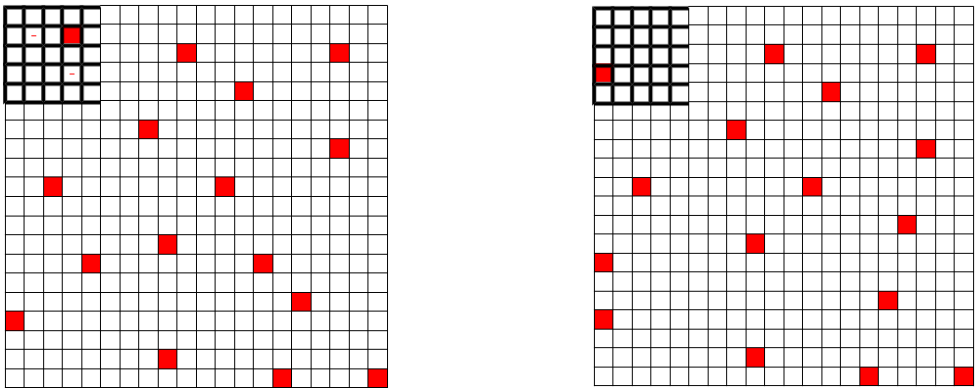

Ilustración 2-7. Dos micro estados equivalentes.

Ya que el movimiento continua de forma aleatoria e indefinida, y las transferencias de energía entre partículas de los dos cuerpos se sigue dando de una forma que no es posible diferenciar, solo se podría diferenciar al analizar una a una las partículas y sus diferentes estados energéticos, posiciones y velocidades, lo que no es posible ya que una de las características de los sistemas de partículas es que por más pequeños que sean, las cantidades de moléculas y átomos que los conforman es muy grande, imposibilitando la descripción individual (vale la pena recordar que en un mol hay más de 10^{23} partículas). Es por ésta razón que no tiene sentido hablar de temperatura de las partículas ya que es una magnitud que tiene en cuenta la distribución de las partículas en muchos niveles de energía. La temperatura es una propiedad inherente a una población grande de partículas.

Al analizar la situación particular planteada en los anteriores párrafos surge el siguiente cuestionamiento: ¿qué probabilidad existe de que el sistema evolucione a un estado semejante o equivalente al inicial? Para responder a la pregunta se deben analizar las condiciones muy particulares para que ello ocurra. Las velocidades, direcciones de desplazamiento e interacciones de todas y cada una de las partículas deben ser muy específicas y determinadas, de tal forma que dejarían de ser aleatorias e indicaría que se ha realizado una intervención externa sobre el sistema. Dicha anomalía (fluctuación) podría ocurrir de forma espontánea pero su probabilidad sería extremadamente baja, tan pequeña que podría transcurrir el tiempo desde el inicio del universo hasta nuestros días y no presentarse, (aun para un sistema pequeño como el mostrado en el ejemplo). Esto da cuenta de que los sistemas evolucionan a estados en los cuales la energía se distribuye de la forma más probable y las partículas tienden a ocupar todo el volumen disponible ya que esta es la configuración más probable de partículas que se mueven al azar (Bennett, 1999)

Hasta ahora se puede concluir que la energía se transmite, se conserva y se distribuye entre las moléculas siguiendo las reglas del azar. Ahora vamos a analizar otro aspecto de la energía, y es que a medida que ésta se transfiere existe menos energía disponible para realizar trabajo, para ello se puede analizar el siguiente caso:

Si al dejar caer una pelota desde cierta altura contra una superficie, se le puede asociar una cierta energía potencial gravitacional al iniciar su recorrido debido a la posición que ocupa respecto al campo gravitacional terrestre. A continuación la energía se transforma en energía cinética, todas las partículas que conforman la pelota se mueven coherentemente con la misma velocidad y en la misma dirección. Una vez colisiona contra la superficie, una cierta cantidad de energía se transmite a la superficie, y lo hace coherentemente pero otra parte de la energía es trasformada en movimiento incoherente (movimiento aleatorio) en la superficie y en la pelota, la energía restante se transmite de forma incoherente al aire mediante el sonido (onda mecánica). Con cada rebote de la pelota más movimiento coherente se transforme en movimiento incoherente en ambos objetos, finalmente la pelota queda inmóvil sobre la superficie, es decir toda la energía cinética de la pelota se ha transferido y transformado en movimiento molecular (movimiento al azar de las moléculas) ahora la pelota y la superficie se encuentran a una temperatura levemente mayor que antes. La energía no solamente se transmitió y transformó sino que se “degradó” a una forma de energía que difícilmente puede ser convertida en trabajo, ahora se encuentra en una forma desordenada en las partículas. Este caso da pie a explorar otra característica relevante de la energía ya que ésta no solamente se conserva, trasforma y transfiere sino que también se “degrada”. En la termodinámica este concepto ya se encontraba implícito en los estudios de Rudolf Emanuel Clausius y Lord Kelvin acerca de la eficiencia de las máquinas térmicas y la imposibilidad de la existencia real de una máquina cuya eficiencia fuese del 100%. Años después, Ludwing Boltzmann sería el encargado de cuantificar y unir dos aspectos de la energía y su degradación mediante la reconocida ecuación:

Ecuación 6

$$S = k_B ln\, \boldsymbol{\Omega}$$

Desde la perspectiva macroscópica la entropía informa qué estados de un sistema son más probables de ser observados en la naturaleza, dichos estados corresponden a aquellos que tengan un mayor número de micro estados equivalentes asociados a éstos (**Ω**). La constante k_B representa la constante de Boltzmann. Para tal fin se realizará la siguiente suposición de carácter práctico: se tiene un sistema conformado por 2 cuerpos (ilustración 2-8), uno de 100 partículas (A) y otro de 300 partículas (B). Los 2 cuerpos se

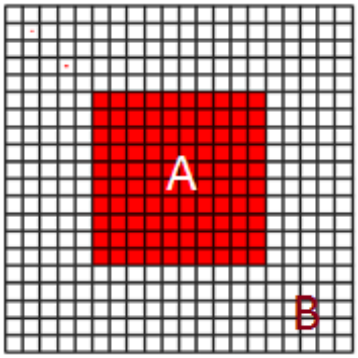

Ilustración 2-8. Dos cuerpos en contacto térmico.

encuentran en contacto térmico, inicialmente, el objeto A tiene todas sus moléculas con un cierto nivel de excitación energético (con gran cantidad de energía), y el cuerpo B posee un menor nivel de energía que el cuerpo A (se encuentra en un estado basal, es decir con un mínimo de energía). Puede afirmarse que el objeto A se encuentra a una altísima temperatura comparado con el objeto B. Si ahora se pregunta: ¿de cuántas formas diferentes se puede organizar el sistema sin que un observador externo aprecie cambio alguno en los sistemas? La respuesta en este caso muy específico es que solo hay una forma, que corresponde a la mostrada en la ilustración 2-8, es decir solo existe un micro estado para esta configuración. Ahora se cuantifica el número de micro estados equivalentes que presenta cada uno de los objetos y se obtienen los siguientes resultados: (para efectos prácticos se asume $k_B = 1$): $S_A = 0$; $S_B = 0$ debido a que Log 1 = 0. Se concluye entonces que la energía se encuentra acumulada y que hay un solo micro estado posible, de éste modo la entropía es 0. A continuación debido al contacto, inicia un proceso de transferencia de energía entre los objetos. En la frontera entre los 2 cuerpos debido a las colisiones la energía es trasferida de partícula a partícula.

La ilustración 2-9 representa los sistemas un instante después, en el cual ha cambiado el número de configuraciones en las cuales se puede organizar el sistema sin que un observador externo se percate de cambio alguno. El sistema A tiene 99 partículas excitadas energéticamente y 1 en el estado basal, ahora hay 100 formas diferentes de organizar el cuerpo A, es decir que su entropía ha aumentado, al aplicar la ecuación de Boltzmann su entropía final es de $S_A = kLn(100) = 4{,}6$.

Al analizar el cuerpo B hay 1 solo estado excitado, que se puede organizar de 300 formas diferentes, su entropía toma un valor de S_B=kLn(300)=5,7.

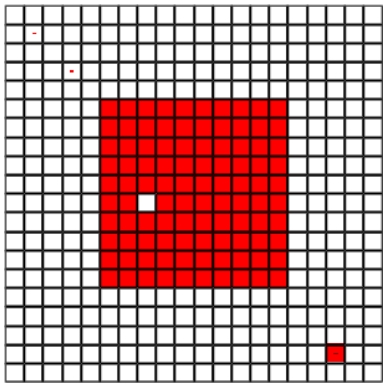

Ilustración 2-9. Objetos en contacto térmico al transcurrir un cierto tiempo, t>0.

Al comparar la entropía se observa que aumentó en los 2 cuerpos, pero aumentó a mayor razón en el cuerpo B debido a que hay mayor cantidad de micro estados posibles (mayor cantidad de formas diferentes de organizar la energía en las partículas del cuerpo).

Si el proceso continúa, y ahora 2 partículas en el cuerpo B (como lo muestra la ilustración 2-10) están excitadas las entropías de los 2 cuerpos aumentará.

En el cuerpo A al existir 98 partículas excitadas y 2 en estado basal, la cantidad de formas

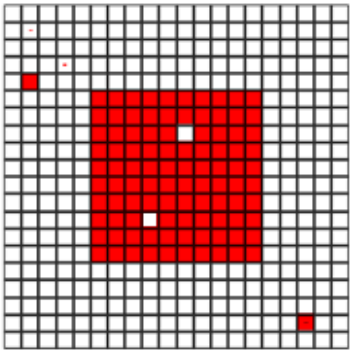

Ilustración 2-10. Dos estados excitados en el cuerpo grande.

diferentes de configurar las partículas es de 100X99 =9900, pero por cada configuración alcanzada hay otra idéntica, (ya que se obtuvo en otro orden diferente pero al final es la misma configuración) puesto que se asumen partículas indistinguibles, entonces realmente son 9900/2 =4950 micro estados. En el cuerpo B la cantidad de micro estados es de 300X299=89700 en realidad son 89700/2= 44850 por la misma razón que en el cuerpo A. Sus entropías son respectivamente S_A=KLn(4950)=8,50 y S_B=kLn(44850)=10,71. Como se puede apreciar la entropía sigue aumentando en los 2 cuerpos, pero en el cuerpo B lo hace más rápido, debido a su tamaño, ya que existe mayor cantidad de micro estados para los cuales la temperatura no cambia (proporción entre los estados excitados y los no excitados). La entropía sigue aumentando en la medida en que aumente la cantidad de

partículas excitadas en el objeto B y disminuyan en el objeto A, debido a que existe mayor cantidad de micro estados posibles en los dos objetos, siempre con una tendencia a aumentar más rápidamente en el objeto que tiene mayor cantidad de partículas (objeto B) pero cuando en el objeto de menor tamaño la cantidad de partículas excitadas llega a ser la mitad, la entropía de este objeto empieza a disminuir, debido a que ahora tiene menor cantidad de partículas excitadas para organizar en diferentes configuraciones, en cambio en el cuerpo B sigue aumentando ya que cuenta con mayor cantidad de posibilidades de organizar las partículas (P.W., Cuenta y razón del caos, 1992).

Si ahora se analiza la entropía del sistema (la suma de las entropías de los 2 objetos en su interacción) se observa que la entropía crece a medida que aumenta el número de micro estados en los 2 cuerpos, en la medida que ocurre el proceso de transferencia de energía del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Pero en un determinado tiempo la entropía del sistema llega a un máximo, esto ocurre cuando los dos sistemas entran en un equilibrio térmico (la razón entre los estados excitados y los no excitados es la misma para los dos cuerpos). Es justo allí cuando se encuentra la mayor cantidad de micro estados en los cuales se puede organizar el sistema y por lo tanto corresponde al estado más probable de todo el sistema. En otras palabras en el equilibrio térmico, no sólo la energía se encuentra distribuida de tal manera que mantenga la misma proporción entre partículas excitadas y las no excitadas sino que es allí en donde se encuentra la mayor cantidad de micro estados equivalentes para el sistema.

Finalmente se concluye que los sistemas siempre evolucionan hacia los estados más probables, y estos estados corresponden al equilibrio térmico donde la entropía es máxima. Por otro lado para realizar trabajo se necesita que el sistema no esté en equilibrio térmico o químico. Como cada vez estamos más cerca del equilibrio térmico y químico cada vez podemos realizar menos trabajo, que es otra forma de expresar la segunda ley de la termodinámica.

Mediante razonamientos similares a los anteriores se puede llegar a demostrar que la entropía es mayor en sistemas que tengan:

- Mayor cantidad de partículas ya que existe mayor cantidad de configuraciones diferentes.
- Aumento en la energía, debido a que existe más formas en las cuales se puede distribuir dicha energía (Energía cinética de vibración, traslación y rotación) y por tanto la entropía se incrementa.
- Mayor libertad de movimiento.
- Volumen mayor (mayor espacio para distribuir las partículas). Es por eso que la entropía de un gas es mayor que la de un líquido y esta a su vez es mayor que la de un sólido.

El concepto de entropía es de vital importancia para entender cómo se distribuye la energía, por lo tanto, los conceptos energía y entropía deben enseñarse simultáneamente ya que esto ayuda a comprender la irreversibilidad de los procesos y a mejorar la comprensión de los ciclos termodinámicos, la eficiencia de las máquinas térmicas, las reacciones químicas, etc.

3 Preconceptos y dificultades en la enseñanza del concepto de Energía en estudiantes de educación media vocacional

En la enseñanza de ciencias naturales (física, química y biología) en educación media vocacional (grado 10° y 11° de bachillerato) se tiene una gran dificultad a la hora de abordar el concepto de energía, dicha dificultad tiene múltiples aspectos que han incidido e inciden en un verdadero aprendizaje significativo del concepto (Alomá Chávez & Malaver, 2007) (Cordero, 2007). Diferentes investigaciones coinciden en afirmar que a pesar de que la energía es uno de los más importantes conceptos debido a su alto nivel de generalización en las ciencias naturales, en concreto en física y química, no se le ha prestado especial atención a su enseñanza y aprendizaje. Las dificultades empiezan en el desconocimiento por parte de docentes de los preconceptos que tienen los estudiantes. De tal forma que al no ser tenidos en cuenta no se diseñan actividades asertivas que ayuden a comprender éste concepto (Doménech, Limiñana, & Menargues, 2012), (Solbes & Tarín, 2004). Por tal razón, en los últimos años se han presentado trabajos de investigación sobre diferentes preconceptos que tienen los estudiantes sobre la energía, dichos preconceptos son influenciados por los diferentes medios de comunicación y por el manejo cotidiano que se le da al concepto de energía (Cordero, 2007) (Hierrezuelo & Molina, 1990). Las ideas previas que tienen los estudiantes se pueden clasificar en las siguientes categorías:

1. La energía como sustancia: En esta concepción se encuentran las ideas acerca de la energía como sustancia para que ocurran los fenómenos, y coincide con las afirmaciones tales como “recargue su energía”, “se le agotó la energía a la batería”; consumir alimentos para llenarse de energía”. Claramente esta idea está sustentada en los medios masivos de comunicación que constantemente refuerzan esta idea (Pacca & Henrique, 2004). Implícitamente se aborda la idea de la energía como una sustancia que después de haber sido empleada se agota.
2. Energía como causa o fuente: Esta concepción de la energía hace referencia a la energía como la causa de todo fenómeno e interacción, esta idea hace ver que por ejemplo la electricidad, el carbón, el sol o el viento, son los que originan los fenómenos de mover, calentar, iluminar y. En esta idea previa se le asigna el nombre de energía de acuerdo a la fuente que la produce, energía eólica, energía solar, energía eléctrica, etc.

3. Energía como movimiento: En este preconcepto la energía se asocia exclusivamente al movimiento, los cuerpos que se mueven lo hacen porque tienen energía, dejando a un lado la idea de energía potencial.
4. Equivalencia entre energía y fuerza: En esta categoría se clasifican los conceptos de energía y fuerza asignándoles el mismo significado. Los estudiantes utilizan uno u otro concepto indistintamente para hacer alusión a interacciones.
5. Energía como trabajo y calor: En este preconcepto de los estudiantes se evidencia la influencia que tienen algunos textos escolares en los cuales asocian el trabajo y el calor como manifestaciones de la energía (Alomá Chávez & Malaver, 2007).
6. La temperatura como cantidad de energía, movimiento o calor de un cuerpo.

Estas categorías son el resultado de varios trabajos de investigación didáctica sobre las ideas previas que tienen los estudiantes (Cordero, 2007), (Doménech, Limiñana, & Menargues, 2012) (Hierrezuelo & Molina, 1990) (Solbes & Tarín, 2004).

Las dificultades no solo son causadas por el desconocimiento de las ideas previas de los estudiantes por parte de los docentes sino que además son reforzadas por los tratamientos erróneos que dan los textos escolares (Alomá Chávez & Malaver, 2007), ya que parten de conceptos sin haberlos trabajado a profundidad. Por ejemplo, y generalmente, se plantea el concepto de trabajo, a continuación se da una definición de energía fundamentada en el concepto trabajo (creando mayor confusión en el estudiante), a continuación se expone el principio de conservación de la energía y finalmente la primera ley de la termodinámica donde se aborda el concepto de calor, generando una mayor confusión entre estos conceptos. Pocos textos abordan de forma integral y general el concepto energía, ya que se encuentra ligada a la conservación, transferencia, transformación y degradación, pero sobre todo no se apunta a describir la energía como el componente fundamental del universo que se manifiesta en múltiples formas (materia, materia oscura, energía cinética, energía potencial, energía oscura y radiación electromagnética). Adicionalmente, algunas investigaciones en didáctica (Pacca & Henrique, 2004) (Doménech, Limiñana, & Menargues, 2012) han concluido que los docentes de ciencias naturales de la educación básica y media vocacional tienen deficiencia conceptual en el momento de abordar el concepto energía, ya que tampoco lo han comprendido y asimilado oportunamente, esto es debido a que en su formación profesional no fue trabajado con la suficiente profundidad. Estas deficiencias son transmitidas de la misma forma a sus estudiantes, complicando aún más la comprensión de dicho concepto. Una alternativa que se ha venido implementando, ha sido el abordar la teoría cinética molecular de la materia, y así poder comprender más integralmente el concepto, pero en la implementación de dicha estrategia se han detectado algunos inconvenientes, tales como: asignar propiedades macroscópicas a las moléculas y partículas de forma individual (por ejemplo, color dureza, temperatura etc.). Por ejemplo es común ver que se piense que si un objeto se dilata al calentarlo se debe a que las moléculas también lo hacen de la misma forma, o si una sustancia cambia de fase, las partículas también lo hacen.

Ante la comprensión de un fenómeno como una reacción química que libere energía térmica, o un proceso de transferencia de calor, los estudiantes no acuden a la teoría cinético molecular para apoyar sus explicaciones, sino que hacen uso de su intuición y de las experiencias cotidianas, como por ejemplo considerar el calor y el frio como sustancias que pasan de un cuerpo a otro. Todos estos hechos y otros más hacen que se deba generar nuevas y diferentes estrategias didácticas para la enseñanza y el aprendizaje que aborden los diferentes aspectos y facetas del concepto de energía de forma integral y general.

En la enseñanza del concepto de energía no se debe caer en el reduccionismo y abordar solo un atributo (masa, posición, movimiento, capacidad para hacer trabajo, etc.) sino que hay que abordarlo desde todas sus manifestaciones de una manera holística y, sobre todo, teniendo en cuenta los resultados de la ciencia moderna y, no seguir definiendo energía como hicieron los científicos del siglo XVIII, los termodinámicos del siglo XIX o los físicos del siglo XX.

4 Propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de energía en estudiantes de educación media.

De acuerdo a los estándares básicos de competencias en ciencias naturales (Ministerio de Educación Nacional, 2004) (MEN) la enseñanza de las ciencias debe incorporar estrategias para que los estudiantes accedan al conocimiento holístico, interdisciplinar y contextual. La enseñanza de ciencias en el bachillerato, pretende abordar los fenómenos naturales y problemas desde una perspectiva global, integral y social que responda a una serie de desafíos que impone nuestra sociedad actual. Dichos desafíos requieren la mediación e intervención de conocimientos de diferentes áreas y disciplinas científicas, así como la interacción social con los demás. Los estudiantes deben tener la capacidad de poder enfrentarlos de la mejor manera posible, para ello deben comprender como es el funcionamiento de la ciencia. Si bien su formación no es la de un científico, deben ser capaces de entender en forma general el quehacer científico, ello requiere el trabajo en equipo, la interdisciplinariedad y poseer un pensamiento holístico y crítico.

En el establecimiento de estándares básicos en ciencias naturales por parte del MEN se pretende que todo estudiante de educación básica secundaria del territorio Colombiano adquiera unos conocimientos y competencias básicas, por tal razón, el MEN expidió unos estándares básicos en competencias en donde se plasman competencias y conocimientos básicos. Al realizar el análisis de los estándares básicos en ciencias se puede concluir que existen ciertos conceptos transversales relevantes que relacionan a todas y cada una de las ciencias básicas (química, física y biología). Entre éstos se destaca el concepto energía ya que se encuentra asociado a diferentes niveles de formación. En la tabla 1, se enlistan lo estándares relacionados con la energía, desde el grado 1° a grado 11°.

NIVEL DE FORMACIÓN	ÉSTANDAR
1° A 3°	• Identifico situaciones en las que ocurre transferencia de energía térmica y realizo experiencias para verificar el fenómeno. • Clasifico luces según color, intensidad y fuente.

4° Y 5°	• Escribo y verifico el efecto de la transferencia de energía térmica en los cambios de estado de algunas sustancias. • Verifico la conducción de electricidad o calor en materiales
6° Y 7°	• Describo el desarrollo de modelos que explican la estructura de la materia • Relaciono energía y movimiento
8° Y 9°	• Establezco relaciones entre energía interna de un sistema termodinámico, trabajo y transferencia de energía térmica, y las expreso matemáticamente.
10° Y 11°	• Establezco relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establezco condiciones para conservar la energía mecánica. • Explico la transformación de energía mecánica en energía térmica.

Tabla 1. Estándares de ciencias naturales relacionados con el concepto de energía de 1° a 11°

Como puede evidenciarse, el concepto energía está presente desde los primeros años de formación hasta grado once de educación media vocacional. En cada nivel de formación se exige un cierto tratamiento de acuerdo a la edad y el nivel de desarrollo del pensamiento de los estudiantes. Al realizar un análisis detallado de los estándares, se puede evidenciar que se hace alusión a la energía térmica, al movimiento, el principio de conservación de la energía mecánica, pero en ningún momento se hace referencia a puntos tan importantes como:

- La energía y el espacio son los constituyentes fundamentales del universo.
- Todos los fenómenos u objetos observados son manifestaciones de la energía.
- Una definición clara de temperatura.
- A medida que pasa el tiempo la energía disponible para realizar trabajo es cada vez menor.
- Los sistemas físicos tienden hacia estados más probables
- La entropía

Los estándares no incluyen todos los aspectos que se deben tener en cuenta en la enseñanza y el aprendizaje del concepto: múltiples manifestaciones de la energía (térmica, mecánica, química, electromagnética, energía interna, energía oscura y materia oscura entre otras), formas de transferir energía (calor y trabajo), transformación y disminución de la energía útil para realizar trabajo (entropía). Al no incluir todos estos aspectos no permite que los estudiantes sean capaces de generalizar y comprender este concepto de forma

articulada e interdisciplinar (desde la química, la biología y la física) y no les permite analizar un sinnúmero de fenómenos asociados a este concepto.

Como se ha mencionado anteriormente, existen múltiples inconvenientes en la enseñanza y aprendizaje del concepto energía, y para tratar de solucionar dichas problemáticas en la enseñanza y aprendizaje de tan relevante concepto, se plantea la presente propuesta didáctica desde el enfoque pedagógico del aprendizaje significativo, el cual tiene como uno de sus principales componentes, partir de la identificación reconocimiento y análisis de las ideas previas de los estudiantes, y así poder plantear e implementar estrategias que permitan el cambio cognitivo por parte de los estudiantes desde los pre saberes a unos aprendizajes que sean realmente significativos (Ausubel-Novak-Hanesian, 1983). Dicho marco pedagógico tiene por objetivo que el aprendizaje de nuevos conocimientos realmente sean significativos y se afiancen en la estructuras cognitivas de los estudiantes. Es por esta razón que cobra relevancia el estudio y seguimiento de los diferentes preconceptos que poseen los estudiantes, ya que a partir de ellos, es posible estructurar actividades que relacionen sus saberes con los nuevos conocimientos. Esto es posible lograrlo mediante el planteamiento de actividades contextualizadas, pensadas con finalidades concretas, que tienen como fin despertar curiosidad y motivación en los estudiantes. De acuerdo al aprendizaje significativo, los estudiantes aprenderán significativamente en la medida en que sean capaces de relacionar sus ideas previas con los nuevos conceptos mediante ciertos conceptos que los conecten y que sirvan de mediadores.

En la presente propuesta, se plantea una serie de actividades que pretenden abordar la enseñanza y el aprendizaje del concepto energía desde una visión holística, integral e interdisciplinar. Se realiza un análisis a profundidad de investigaciones sobre los diferentes preconceptos y dificultades que tienen los estudiantes a la hora de abordar dicho concepto. La primera parte de la propuesta está encaminada hacia la comprensión de los conceptos de energía, energía interna, temperatura, calor, trabajo y entropía desde la termodinámica estadística y la teoría cinético molecular. A continuación se plantean diferentes actividades de carácter experimental, para que los estudiantes las desarrollen con la asesoría y orientación del docente. Éstas tienen como principal característica su facilidad en el montaje e implementación. Con las actividades experimentales se pretende que los estudiantes asocien el concepto energía a múltiples manifestaciones y no como tradicionalmente se hace asociándola a la energía cinética y potencial en mecánica, al calor y el movimiento molecular en termodinámica o al campo eléctrico y magnético en electromagnetismo. Adicionalmente, se pretende que evidencien las diferentes transformaciones y transferencias de energía ocurridas en todas las actividades planteadas y, por último, que se percaten de como la energía útil para hacer trabajo disminuye a medida que se transfiere y transforma. Las prácticas mencionadas también ofrecen a los estudiantes una gran oportunidad de poner en práctica sus conocimientos. En la medida que sus ideas (pre saberes) no permitan explicar coherente y profundamente las prácticas experimentales y los fenómenos asociados a estas, se genera un conflicto cognitivo en los estudiantes, permitiendo que éstos sienta la necesidad de transformar sus

conocimientos y de adquirir nuevos conocimientos con base científica que amplíen y robustezcan sus explicaciones de los fenómenos. De esta forman adquieren un conocimiento verdaderamente significativo.

A continuación, se plantea la propuesta didáctica, incluyendo comentarios para el docente (C.P.D.) que piense y desee aplicarla con sus estudiantes, con los C.P.D. se busca explicar las pautas de aplicación y lo que se pretende alcanzar con dicha actividad. Como anteriormente se menciona la propuesta tiene dos componentes. El primero de ellos pretende, indagar los preconceptos que tienen los estudiantes sobre el concepto de energía, y, que comprendan los conceptos básicos de la termodinámica estadística y la teoría cinético molecular, mediante la formulación de preguntas, ejercicios y situaciones imaginarias que lleven a los estudiantes a reflexionar sobre los conceptos de Energía, calor, temperatura, energía interna, entropía, etc. El segundo componente de la propuesta didáctica plantea situaciones experimentales de muy fácil realización, que permita a los estudiantes desde una perspectiva experimental comprender a mayor profundidad todos los conceptos relacionados con el concepto de energía.

El orden en el que se encuentran planteadas las actividades experimentales en el presente documento no corresponde a una condición en especial, más sin embargo se decide colocar en primer lugar el diseño, montaje y explicación del motor de Stirling debido a que despierta un gran interés y genera un alto grado de motivación en los estudiantes. Los docentes que quieran aplicar la presente unidad didáctica con sus estudiantes pueden variar el orden de aplicación, suprimir alguna(s) actividad(es) o agregar nuevas actividades de acuerdo a su conveniencia y contexto educativo.

La propuesta didáctica planteada en el presente documento está diseñada de tal forma que pueda ser aplicada a estudiantes de media vocacional (grado 10° y/o 11°), debido a que en este ciclo de acuerdo a los planes y programas de estudio se abordan los conceptos y principios básicos de la estadística en el área de matemáticas, permitiendo una mejor comprensión de los conceptos a estudiar en la presente propuesta.

4.1 Introducción a los conceptos energía, calor, trabajo, energía interna y entropía desde la termodinámica estadística y la teoría cinético molecular.

- ***Comentario para el docente:*** *A continuación se presentan una serie de ejercicios y situaciones encaminadas a comprender de mejor forma el modelo cinético molecular de la materia, así como para afianzar las nociones básica de probabilidad que les permitan comprender a los estudiantes los conceptos básicos de energía, calor trabajo, energía interna, y entropía desde una perspectiva científica de la termodinámica estadística. Vale la pena aclarar que el objetivo es la comprensión de estos conceptos, por tal razón las herramientas matemáticas a usar no deben representar un mayor grado de dificultad, que distraigan su atención de lo que se*

pretende. Inicialmente se plantea una pequeña introducción al tema y, luego, las diferentes actividades. De igual forma estas actividades cumplen con la finalidad de explorar las ideas que tienen los estudiantes (pre saberes) acerca de estos conceptos

La materia está conformada por partículas fundamentales (quarks y leptones), átomos, moléculas, o de forma genérica por partículas. Estas a su vez debido a la posición y a su naturaleza eléctrica poseen energía potencial. Adicionalmente las partículas no se encuentran en posiciones fijas sino que se encuentran en permanente movimiento del cual se puede reconocer: rotación, vibración y traslación, es decir que las partículas también tienen asociada una energía cinética. Para entender mejor este concepto, se platean las siguientes situaciones:

1. Se tienen 3 recipientes idénticos con 200 cm^3 de agua, (ilustración 4-1) el primero con agua a 4°C el segundo con agua a 20 °C y el tercero con agua a 70°C. Se agrega una cantidad igual de colorante a los 3 recipientes.
    a. ¿Qué cree usted que pase con la mezcla de agua y colorante?
    b. ¿En cuál de los tres recipientes se mezcla más rápido y mejor el colorante? ¿Por qué cree usted que esto ocurre?
    c. ¿Qué relación encuentra entre la temperatura del agua y la capacidad de incorporar el colorante al agua?
    d. ¿Qué relación existe entre la energía cinética con la mezcla de agua y colorante en la situación?, o ¿no tiene relación alguna? Explique.

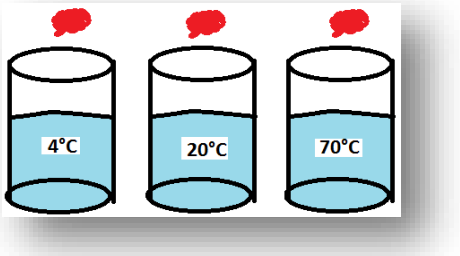

Ilustración 4-1. Recipientes con el mismo volumen de agua a diferentes temperaturas.

2. Para comprender más en profundidad el concepto de energía cinética molecular se plantea la siguiente situación con canicas: En una cubeta plástica se agregan 100 canicas blancas (Ilustración 4-2a) a continuación se colocan en forma organizada

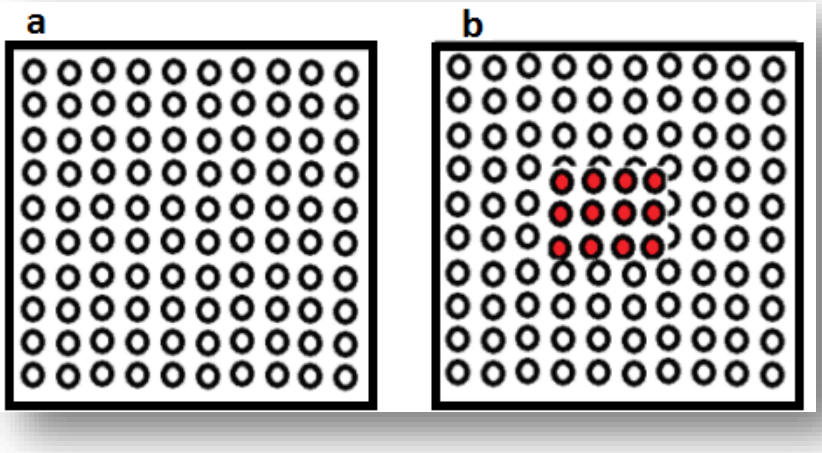

Ilustración 4-2. Canicas. a) 100 Canicas blancas b) 100 Canicas blancas y se agregan 12 canicas rojas.

12 canicas de color rojo (ilustración 4-2b), Se agita la cubeta muy lentamente durante 20 segundos.

   a. Describa la forma como quedaron distribuidas las canicas rojas en medio de las canicas blancas.
   b. Repita la actividad pero ahora agite la cubeta muy rápidamente durante el mismo tiempo. Describa como quedaron diseminadas las canicas rojas en medio de las blancas.
   c. De acuerdo a las 2 experiencias realizadas anteriormente. ¿Qué factor(es) incide(n) para que las canicas queden mezcladas homogéneamente en el menor tiempo posible?

3. Si ahora, este modelo de las canicas se aplica a la experiencia de los recipientes de agua a diferente temperatura (canicas blancas) con el colorante (canicas rojas).
   a. ¿Encuentra algún tipo de relación? ¿cuál?
   b. Con esta información. ¿Puede hallar algún tipo de relación entre Temperatura y movimiento molecular? Explique cuál.

- ***Comentario para el docente:*** *De acuerdo a estas experiencias, se puede encontrar una relación existente entre la temperatura y el movimiento molecular, más particularmente entre la temperatura y la energía cinética media de las partículas. Esta es: "la temperatura afecta la energía cinética de las partículas, pero debido a que los cuerpos poseen un extraordinario número de partículas es imposible determinar una a una la energía de éstas, es por esta razón que se requiere la estadística y ya no analizar las partículas individualmente sino de forma colectiva, de acuerdo a ello se habla de energía cinética media."*

Encontrada esta relación, ahora las actividades están encaminadas a reconocer el trabajo y el calor como procesos de transferencia de energía entre diferentes cuerpos. Para ello se plantean las siguientes actividades:

4. Se tienen 2 recipientes separados por una pared movible, (ilustración 4-3) dichos recipientes se encuentran aislados (es decir no intercambian materia ni energía con el medio exterior) tienen un cierto número de partículas. En el recipiente A las moléculas poseen un gran movimiento molecular (representado por los segmentos de recta rojo) a diferencia de las moléculas de recipiente B que tienen muy poco movimiento (casi nulo). Si se quita la pared móvil que se encuentra en

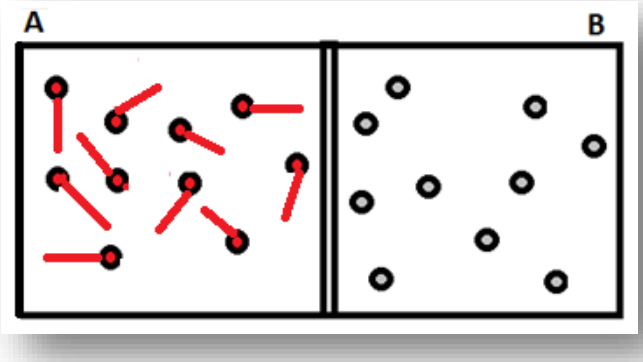

Ilustración 4-3. A) Partículas con una cierta cantidad de energía. B) Partículas con baja energía respecto a las de A.

medio de estos y la única forma de interactuar entre las moléculas es mediante un choque elástico (similar a como interactúan las esferas de billar):

a. Describa lo que debe ocurrir con el transcurso del tiempo, a las moléculas del recipiente A y a las moléculas del recipiente B.
b. ¿Qué ocurre con el movimiento de las moléculas que se encuentran en el recipiente A, a medida que pasa el tiempo?
c. ¿Qué ocurre con el movimiento de las moléculas que se encuentran en el recipiente B a medida que transcurre el tiempo?
d. Al cabo de bastante tiempo. ¿Qué se debería esperar del movimiento de las partículas del costado A en comparación con las partículas del lado B?
e. Si se pudiese visualizar el movimiento molecular de las partículas del lado A y el movimiento molecular de las partículas del lado B, al cabo de bastante tiempo. ¿se podría diferenciar a qué parte del recipiente pertenecía cada una de las partículas? Explique.
f. ¿Las partículas del lado A al cabo de mucho tiempo, tendrán mayor, menor o igual movimiento molecular en promedio que al inicio?
g. ¿Las partículas del lado B al cabo de mucho tiempo, tendrán mayor, menor o igual movimiento molecular en promedio que al inicio?
h. ¿Qué pasó con la energía total del sistema a medida que transcurrió el tiempo?
i. ¿Cree usted que es posible que los recipientes regresen al estado inicial sin intervención alguna? Explique
j. ¿Las interacciones de las partículas seguirán dándose o cesarán en alguno momento? Explique.

5. Si el modelo anterior se pone a prueba con 2 recipientes con agua hasta el mismo nivel, uno a 100 °C y otro a 20°C, estos 2 recipientes se ponen en contacto (ilustración 4-4):

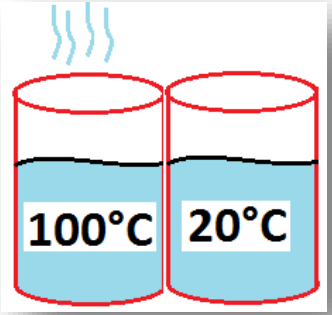

Ilustración 4-4. Dos recipientes a 100° C y 20° C respectivamente en contacto térmico.

a. ¿Qué piensa que debe ocurrir con la temperatura de los 2 recipientes, a medida que pase el tiempo?
b. Inicialmente. ¿Cuál de los 2 recipientes tiene más energía cinética molecular? ¿Cuál recipiente tiene moléculas con un mayor promedio de energía cinética?
c. Al cabo de mucho tiempo. ¿cómo deben ser las temperaturas de los 2 recipientes comparativamente? Y ¿la energía cinética media de las moléculas?
d. Si pudiese describir lo que sucede desde el punto de vista de las moléculas, ¿qué estaría ocurriendo entre las partículas de uno y otro recipiente?
   - ***Comentario para el docente:*** *Con esta experiencia se puede introducir el concepto de Calor. Proceso mediante el cual un cuerpo a mayor temperatura transfiere energía de forma aleatoria y desordenada a otro cuerpo cuya temperatura es menor, dicho fenómeno ocurre de forma*

natural (sin intervención externa alguna), este proceso continua hasta llegar a un estado de equilibrio en el cual la temperatura de los 2 cuerpos se iguale, (si se trabaja con gases la energía cinética media de las partículas de los 2 objetos llega a ser misma). Esto quiere decir que un incremento de energía interna definido va a producir el mismo incremento de entropía independientemente de la porción de espacio que se seleccione para hacer el experimento.

Ahora se plantea una nueva actividad para reconocer el trabajo como otro proceso de transferencia de energía, pero que a diferencia del calor se hace de forma coherente y organizada entre las partículas:

6. Se tiene un gas dentro de un recipiente adiabático, (no intercambia energía con el exterior) y un pistón como se ve en la ilustración 4-5, a continuación con el pistón se comprime el gas. Observe detenidamente lo que sucede con las moléculas y responda:
   a. A medida que el pistón comprime el gas. ¿qué sucede con la energía cinética de las moléculas del gas?
   b. ¿Es posible que el gas se comprimiese sin necesidad de aplicar una fuerza? Justifique
   c. ¿El movimiento molecular transferido en la situación del numeral 4 es de la misma naturaleza que el que se transfiere con el pistón? Explique

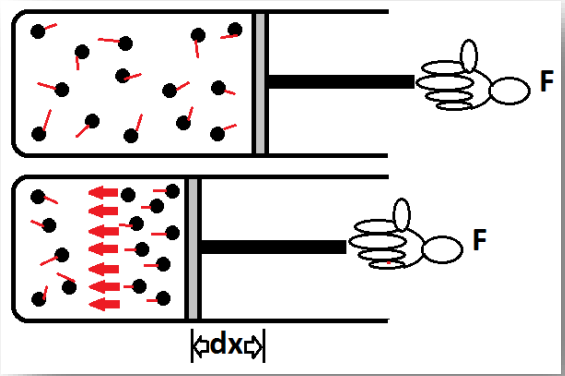

Ilustración 4-5. La compresión de un gas.

   d. Existe alguna diferencia entre la energía cinética que gana el gas en el presente numeral, y la energía que ganan las moléculas en el numeral 4? ¿qué diferencias encuentra?
      - ***Comentario para el docente:*** *En este caso puede evidenciarse otra forma de transferir energía entre cuerpos, pero a diferencia del calor, en este caso existe un movimiento coherente (todas las moléculas reciben movimiento en la misma dirección) adicionalmente se requiere de una fuerza F y producir un desplazamiento dx sobre el gas, en este caso se hace trabajo sobre el gas, pero también puede darse el proceso contrario, que el gas realice trabajo sobre el entorno. En ambos casos existe movimiento molecular coherente transferido desde o hacia las*

partículas. Es así como se han abordado las 2 formas de transferir energía a nivel molecular: trabajo y calor.

Finalmente para mejorar la comprensión de lo que ocurre en un proceso en el cual un gas se expande y se enfría, y en el proceso en el cual un gas se comprime y se calienta, se plantean las siguientes 2 actividades:

7. En la ilustración 4-6 se observan dos casos. En el primero de ellos, se oprime un recipiente con desodorante en aerosol que sale y se expande; en el segundo caso se tiene una olla a presión de la cual sale vapor al exterior.

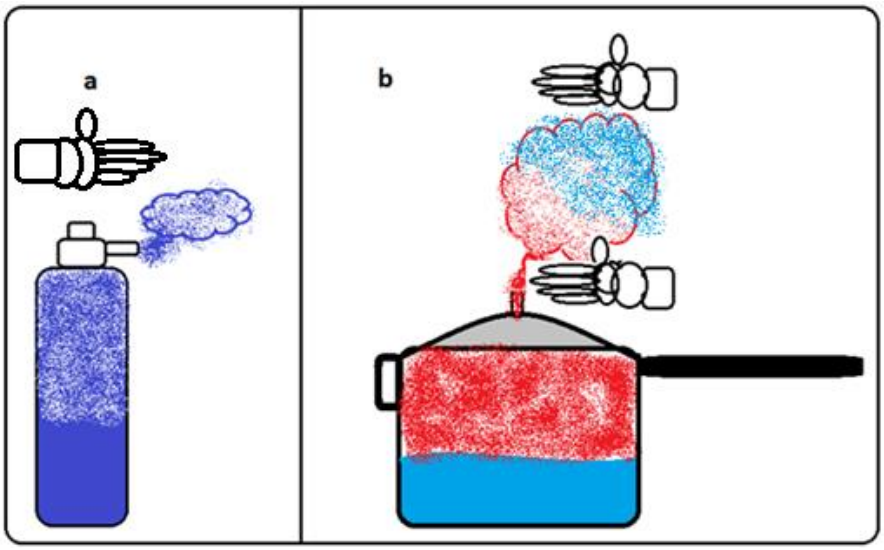

Ilustración 4-6. a) Aerosol saliendo del recipiente. b) Vapor de agua saliendo de una olla a presión.

   a. Si al tomar el envase de desodorante en aerosol, se oprime para que salga del recipiente ¿Qué sucede con la temperatura del recipiente a medida que el desodorante sale de éste?
   b. ¿Por qué razón al aplicar el desodorante sobre la piel, se experimenta una temperatura baja en ésta? Explique
   c. ¿Cuál cree usted que es la explicación a este cambio en la temperatura en los dos casos anteriores?
   d. ¿Por qué al acercar la mano, sobre la salida de vapor en la boquilla de la olla a presión se podría sufrir una quemadura mientras que si la mano se coloca a una distancia mayor de la boquilla se experimenta un enfriamiento en la mano?
   e. ¿Qué sucede desde el punto de vista molecular al vapor que sale de la olla a presión?

8. Al observar la ilustración 4-7 que representa una situación en la cual se comprime

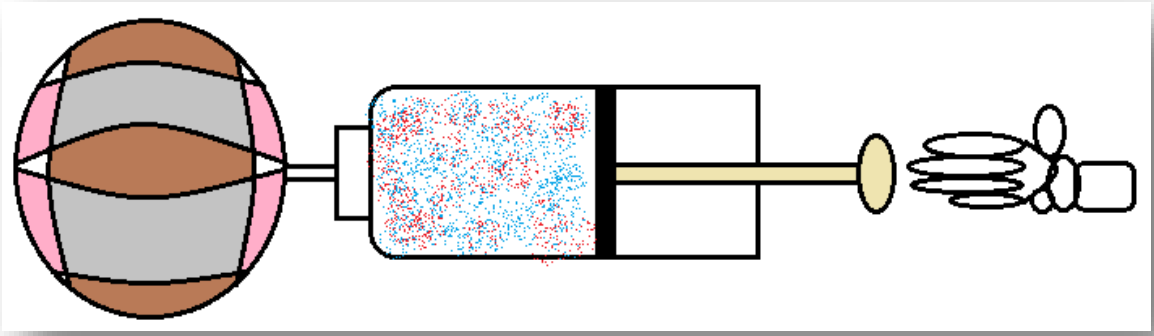

Ilustración 4-7. Compresión de aire para inflar un globo.

aire para inflar un balón.

a. ¿Por qué al inflar un balón de forma manual con una bomba como la representada en el gráfico anterior, se evidencia un incremento en la temperatura de la bomba y del aire que está dentro de ella? Explique.
b. ¿De dónde se obtiene la energía responsable de incrementar la temperatura de la bomba?
c. ¿Desde la perspectiva de las partículas, qué está ocurriendo en este proceso?
   - ***Comentario para el docente:*** *En el desarrollo de las actividades 7 y 8 el estudiante estará en la capacidad de explicar el enfriamiento cuando ocurre una expansión de un gas, de igual forma el incremento de la temperatura cuando se comprime un gas, fenómenos asociados al trabajo y el calor realizados hacia el sistema o desde el sistema a su entorno.*

Continuando con el desarrollo de las actividades ahora es intuitivo, que los estudiantes definan la energía interna y el principio de conservación de la energía.

9. Se tiene un sistema con un número finito de partículas, (puede ser un gas dentro de un recipiente), estas partículas tienen una cierta energía debido a su movimiento y a su posición (energía cinética y potencial respectivamente), la forma como interactúan entre ellas es mediante colisiones elásticas, al realizar un análisis detallado no se observan fluctuaciones para esta condición. De un momento a otro se observa que las moléculas van incrementando paulatinamente su energía cinética media. En base al anterior párrafo. Responda:
   a. ¿Qué se puede decir acerca de este incremento de energía en las partículas del gas?
   b. ¿De dónde y cómo han ganado energía?

c. Si se pudiesen observar las partículas y ver que incrementan su energía cinética gracias a un movimiento coherente y acompasado transmitido entre las partículas. ¿qué fenómeno está ocurriendo?
d. Si la energía adquirida se gana mediante movimiento aleatorio y desordenado, mediante colisiones con diferente rapidez y en diferentes direcciones. ¿Qué ha generado esa transferencia?

10. Se tiene un sistema con un número finito de partículas (puede ser un gas dentro de un recipiente), estas partículas tiene una cierta energía debido a su movimiento y a su posición (energía cinética y potencial respectivamente), la forma como interactúan entre ellas es mediante colisiones elásticas, al realizar un análisis detallado no se observan fluctuaciones para esta condición. De un momento a otro se observa que las moléculas van cediendo paulatinamente su energía cinética media. En base al anterior párrafo. Responda:
    a. ¿Qué se puede decir acerca de la disminución de energía en las partículas del gas?
    b. ¿Hacia dónde y cómo han perdido energía?
    c. Si se pudiese observar las partículas y ver que pierden su energía cinética gracias a un movimiento coherente y acompasado transmitido hacia las partículas de un objeto (por ejemplo un pistón). ¿qué fenómeno está ocurriendo?
    d. Si la energía adquirida se hace mediante movimiento aleatorio y desordenado, mediante colisiones con diferente rapidez y en diferentes direcciones: ¿Qué ha generado esa transferencia?

    - ***Comentario para el docente:*** *Estos fenómenos no solo ocurren cuando el sistema aumenta su energía, sino que también se da en sentido contrario, es decir el sistema puede ceder parte de su energía al exterior mediante estos mismo procesos. Ahora con la información que se tiene se puede definir "el principio de conservación de la energía". Si existen cambios de energía interna (la energía interna de un sistema se puede entender como la suma de las todas las formas de energía que tienen las partículas de un cuerpo: cinética y potencial), en un sistema éstos se pueden dar mediante 2 procesos transferencia de Calor y Trabajo. Estas ideas, de acuerdo a las actividades realizadas se pueden resumir en la siguiente expresión:*

Ecuación 7

$$dU = \delta W + \delta Q$$

Finalizando esta primera parte de la propuesta didáctica se aborda el concepto de entropía, que está asociada a la degradación de la energía.

11. La materia está compuesta por átomos y/o moléculas (partículas) que tienen una cierta energía asociada a su movimiento (energía cinética de rotación, vibración y traslación) y energía potencial debido a la posición que ocupen. Como no se puede analizar individualmente cada molécula se emplea la estadística que permite analizar una gran cantidad de partículas. Para realizar una primera aproximación a la estadística, se iniciará con un sistema muy sencillo el cual está conformado por 2 partículas distinguibles entre sí, cada una con una cierta energía y posición (Ilustración 4-8).

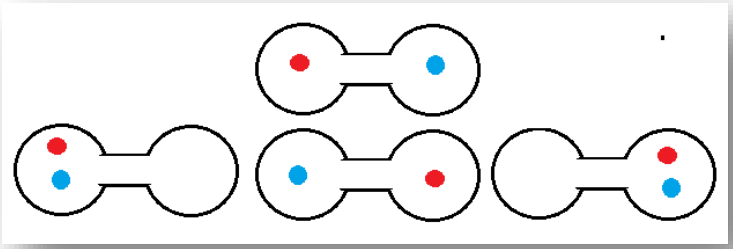

Ilustración 4-8. Formas diferentes de como se pueden organizar 2 partículas en dos contenedores.

   a. ¿En cuántas formas diferentes se pueden organizar estas 2 partículas en 2 contenedores idénticos conectados entre sí?
   b. Si las partículas perteneciesen a la misma clase (indistinguibles) existirían configuraciones equivalentes. De acuerdo a esta información. Calcule la probabilidad de hallar una partícula en cada contenedor y la probabilidad de hallar las 2 partículas en el contenedor de la izquierda y en el contenedor de la derecha. Recuerde que la probabilidad se calcula como:

$$P = \frac{Número\ de\ casos\ favorables}{Número\ total\ de\ resultados\ posibles}$$

   c. ¿Cuál caso obtuvo la mayor probabilidad?

12. Ahora, realice un esquema con 4 partículas (dibújelas de diferente color) y 2 contenedores idénticos conectados.
   a. Determine el número de configuraciones posibles que se pueden obtener.
   b. Organice las configuraciones equivalentes y represéntelas en el gráfico. Ahora diga cuantas configuraciones halló para todas las partículas en el contenedor de la derecha, cuantas para 3 partículas en el contenedor de la derecha y 1 en el de la izquierda, cuantas para 2 en el de la derecha y 2 en el de la izquierda, cuantas para 1 en el de la derecha y 3 en el de la izquierda y finalmente cuantas para 0 la derecha y 4 en el de la izquierda. La figura 4-9 le ayudará a realizar su tarea (asuma que las partículas no son distinguibles entre sí).

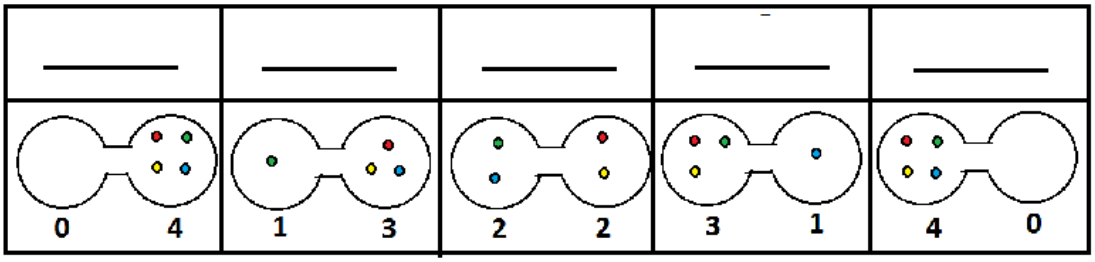

Ilustración 4-9. Número de micro estados para un sistema de 4 partículas en 2 contenedores idénticos.

c. Calcule la probabilidad para cada uno de los 5 macro estados.
d. ¿Cuál macro estado obtuvo la mayor probabilidad? ¿Por qué?
e. Si se incrementa a 6 el número de partículas en los contenedores. ¿En cuánto aumenta el número de micro estados?
f. ¿En cuánto aumenta el número de macro estados?
g. ¿Cuál macro estado tendrá la mayor probabilidad? ¿Por qué?

Al número total de configuraciones diferentes se les llama micro estados. Éstos corresponden a las diferentes formas de distribuir la energía y la posición de cada una de las partículas. A la agrupación de micro estados equivalentes, se les llama macro estados, por ejemplo en el presente ejercicio existen 5 macro estados.

Como conclusión se puede afirmar que a medida que el número de partículas se incrementa, la cantidad de micro estados aumenta rápidamente, y que la máxima probabilidad está asociada a los estados con mayor número de micro estados equivalentes, esto ocurre cuando las partículas se encuentran distribuidas equitativamente entre los 2 contenedores. Es decir, es mucho más factible que un sistema evolucione a estados en los cuales la energía se encuentre distribuida equitativamente entre todas las moléculas. En este estado se encuentra el mayor número de micro estados equivalentes a un mismo macro estado, el cual tiene la mayor probabilidad.

13. Analice el siguiente caso: un sistema que tiene 30 partículas, conformado por 2 cuerpos, uno con 9 partículas que se encuentran en un estado de excitación energética (color rojo), otro con 27 partículas sin excitación energética. A continuación se colocan en contacto como se aprecia en la ilustración 4-10. Si una partícula del cuerpo pequeño transfiere un único estado excitado al objeto grande haciendo que el objeto grande quede con 26 partículas no excitadas y una excitada y el pequeño con 1 no excitada y 8 excitadas. Responda:

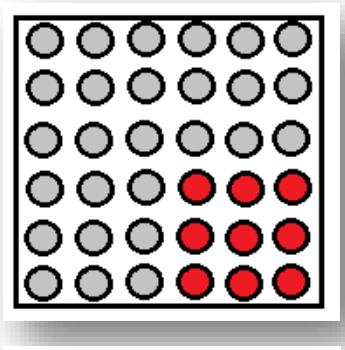

Ilustración 4-10. Dos cuerpos en contacto, térmico. Uno sin excitación energética (color gris) y el otro con sus particulas con excitación energética (color rojo).

a. ¿Cuántos micro estados diferentes se pueden encontrar para este estado excitado en el cuerpo de 27 partículas?
b. ¿Cuántos micro estados se pueden configurar con la ausencia de un estado excitado en el cuerpo pequeño?
c. Ahora se transfiere otro estado excitado al cuerpo de mayor número de partículas. ¿aumenta o disminuye el número de micro-estados en el cuerpo pequeño? ¿Aumenta o disminuye el número de micro-estados en el cuerpo de mayor tamaño?
d. Si el proceso de transferencia de estados excitados sigue ocurriendo. ¿el número de micro estados en los 2 cuerpos sigue aumentando?
e. ¿Este proceso de transferencia de energía e incremento del número de micro-estados sigue indefinidamente o finaliza en algún momento? Explique.
f. Si finaliza este proceso. ¿cómo cree que son las distribuciones de los estados excitados de energía en los dos objetos? ¿cómo cree que son las cantidades de micro estados en los dos cuerpos?
g. ¿Cree usted que es posible que el sistema (los dos objetos) regresen espontáneamente al estado inicial? Explique.
h. A medida que los estados excitados de energía son transferidos hacia el cuerpo de mayor tamaño. ¿cómo cambian las cantidades de micro estados en el sistema?
i. ¿Qué relación existe, si es que existe, entre el número de micro-estados y la probabilidad de un determinado macro estado en el sistema?
j. ¿Para qué estado del sistema ocurre la mayor probabilidad?

- ***Comentario para el docente:*** *con las anteriores actividades se realiza una aproximación por parte de los estudiantes al concepto de entropía. Mediante estos cálculos sencillos de probabilidad, el estudiante puede percatarse de que los sistemas siempre evolucionan a los estados con mayor probabilidad, y que dichos estados se obtienen cuando se encuentra el mayor número de micro estados asociados a un macro estado, es justo allí cuando la energía se encuentra distribuida equitativamente (equilibrio térmico). También se puede realizar una discusión con los estudiantes en clase que gire en torno a procesos reversibles y procesos irreversibles, realizando análisis desde el punto de vista probabilístico.*

4.2 Prácticas experimentales sobre las manifestaciones de la energía, su transferencia y transformación

En esta segunda parte de la propuesta didáctica se plantean diferentes prácticas experimentales cuyas características más relevantes son: facilidad en el montaje, gran capacidad para motivar, generar curiosidad, y estimular la generación de conocimiento global e integral por parte de los estudiantes sobre el concepto de energía, sus diferentes manifestaciones, transferencia, transformación y disminución de la cantidad de energía útil.

4.2.1 Diseño, montaje y explicación desde el punto de vista energético del motor de Stirling casero

- ***Comentario para el docente:*** *Con esta actividad se pretende mostrar cómo y bajo qué condiciones parte la energía que está en tránsito en forma de calor desde cuerpos con mayor temperatura hacia cuerpos con menor temperatura se transfiera en forma de trabajo. Los dispositivos que funcionan bajo este principio se les denominan máquinas térmicas. Se sugiere que se construya un prototipo de motor de Stirling por parte del docente como parte de la motivación inicial, y para mostrarles a los estudiantes el diseño básico.*

  Por otro lado, con el diseño, montaje y construcción de un motor de Stirling (máquina térmica sencilla) por parte de los estudiantes, se pretende que hagan uso de sus capacidades para: resolver problemas, trabajar en equipo, y liderar proyectos. Se hubiese podido mostrar el funcionamiento del motor en video y realizar el taller o guía acerca de su funcionamiento, no se plantea de esta forma debido a que tiene mayor valor didáctico proponer el diseño, la construcción y el funcionamiento del motor como un reto por parte de los estudiantes, ya que deben resolver todos los inconvenientes, de tipo práctico (diseño, montaje y construcción), y teórico (explicaciones, principios y leyes que se encuentran implicados en el funcionamiento); cuestionarse sobre las causas de las fallas si se llagasen a presentar y proponer mejoras para su correcto funcionamiento. De este modo los estudiantes pueden iniciar el proceso de transformación cognitiva desde sus saberes previos (que resultan siendo insuficientes) hacia conocimientos científicos, mediante el análisis, la consulta, y la experimentación.

PRESENTACIÓN Y MOTIVACIÓN INICIAL: Se realiza una exhibición del prototipo de motor de Stirling (construido por el docente) y su funcionamiento en el aula de clase para todos los estudiantes, como se puede observar en el siguiente enlace de video: https://www.youtube.com/watch?v=iyHs_Rhlv0w&feature=youtu.be

MATERIALES NECESARIOS: 4 latas de gaseosa (330 ml), 1 esponjilla (para brillar ollas también llamado algodón de acero), 1 radio de rueda de bicicleta, carrete de nylon (calibre

delgado), alambre acerado de 0,5 mm, 1 CD que ya no se utilice, 1 codo de PVC de ¾ de pulgada, un globo de caucho, abre latas, tijeras y bisturí.

El montaje se puede observan en la ilustración 4-11, en la que se representa la estructura del motor, así como sus componentes. En el siguiente enlace se muestra en detalle cada una de las partes que conforman el motor: https://www.youtube.com/watch?v=ySpixWot3Wk&feature=youtu.be

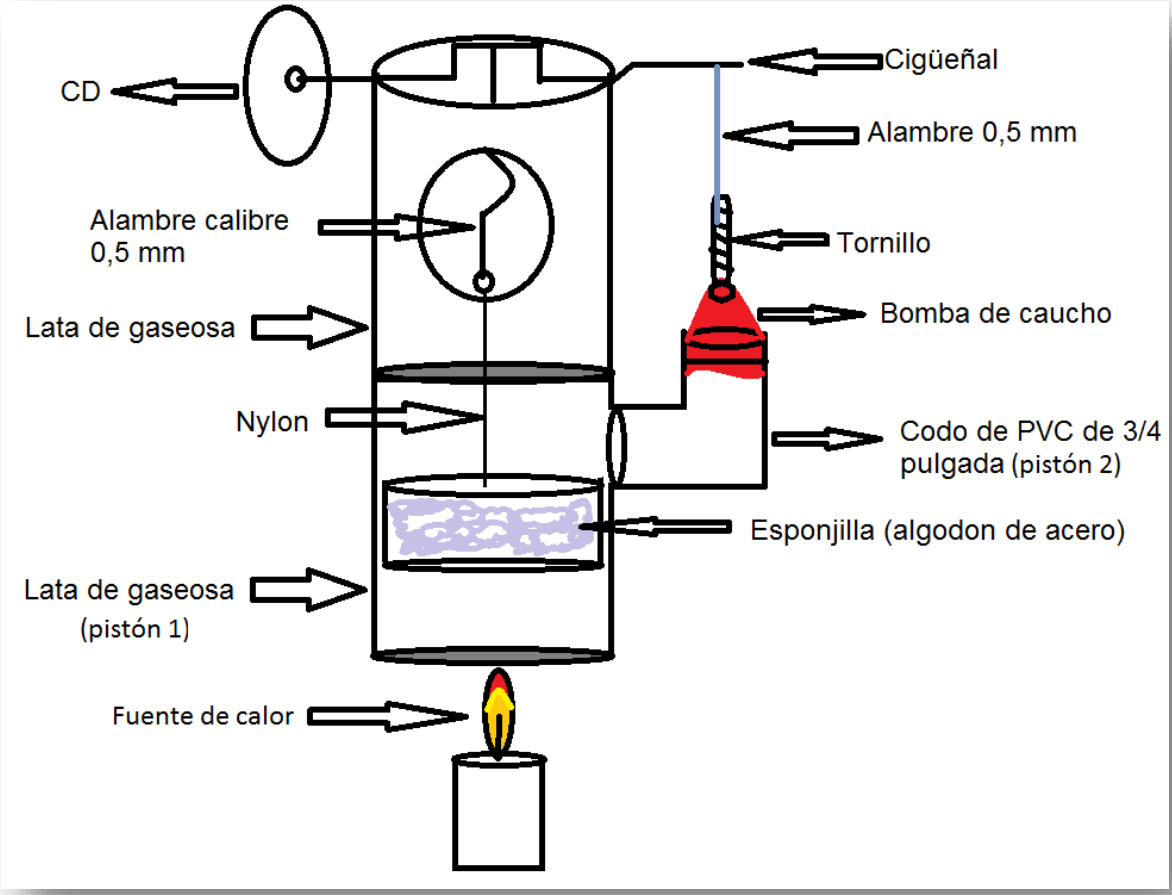

Ilustración 4-11. Esquema del motor de Stirling.

Un poco de Historia: El motor de Stirling fue inventado por Sir Robert Stirling, fraile Escoces a mediados de 1816, en su momento compitió con el motor de vapor, pero pronto fue relegado y entró en desuso, pero en los últimos tiempos ha sido nuevamente estudiado debido a que dicho motor tiene las siguientes características:

1. Rendimiento: Es un motor cuyo rendimiento es bastante elevado, muy cercano al rendimiento teórico de Carnot, con la desventaja de tener baja potencia.
2. Combustión externa: Este motor tiene la gran ventaja de funcionar con fuente externa de calor, (energía nuclear, geotérmica, etc.) es decir la combustión ocurre fuera de los cilindros, pudiéndose adaptar a bastantes fuentes de energía.

3. Ciclo cerrado: El ciclo del motor de Stirling es cerrado es decir que el fluido de trabajo opera en un ciclo cerrado, (el fluido se encuentra encerrado en medio de 2 pistones) haciendo que tenga bajas emisiones de gases contaminantes.

La estructura del motor de Stirling es bastante simple, cuenta con 2 pistones separados por el **regenerador** (la esponjilla en este caso) como se puede apreciar el fluido de trabajo empleado es el aire, que se encuentra confinado en medio de los pistones. Para que el motor funcione correctamente se debe tener especial cuidado en evitar al máximo las fugas de fluido, al realizar el orificio para conectar el pistón 1 con el cigüeñal (que es el eje que permite alternar la transmisión de potencia motriz), este debe ser muy pequeño para que el nylon pase exactamente, y en el otro pistón la bomba debe estar colocada de tal forma que encaje muy precisa en el codo de PVC, también se debe prestar especial atención a los rozamientos dentro del pistón y en el cigüeñal. Los cilindros de los pistones son realizados con latas de gaseosa y el codo de PVC respectivamente, los pistones son conectados con el cigüeñal mediante el nylon en la parte central y con el alambre en un costado (ver ilustración 4-11)

Funcionamiento: al calentar mediante una vela la parte inferior del pistón 1 se inicia el ciclo, los dos pistones se ponen en marcha de forma simultánea, a continuación se le da un pequeño impulso al disco, y éste inicia su marcha de forma autónoma.

- ***Comentario para el docente:*** *Después de hacer la presentación de los diferentes componentes del motor, se realiza una demostración frente de los estudiantes en el aula, en el anterior enlace se deja el video de la demostración, una vez los estudiantes observen el funcionamiento se formularán algunas preguntas con la finalidad de indagar los preconceptos acerca de la explicación física del funcionamiento.*

1. ¿De dónde obtiene la energía el motor para su funcionamiento?
2. ¿Si la temperatura fuese la misma en todo el cuerpo del motor éste funcionaría? Explique
3. ¿Qué cambios experimenta el fluido (aire) dentro de los pistones?
4. ¿Cómo se aplicaría la primera ley de la termodinámica en el funcionamiento del motor?
5. ¿Toda la energía suministrada al motor es aprovechada para generar movimiento en el disco? Si no es así, describa en qué partes y de qué forma la energía se disipa.
6. Describa qué manifestaciones de la energía se evidencian en el funcionamiento del motor.
7. Describa y explique en qué componentes del motor hay transferencia de energía mediante calor.
8. Describa y explique en qué componentes del motor hay transferencia de energía mediante trabajo.
9. ¿Qué función desempeña cada uno de los pistones?
10. ¿Qué función desempeña el regenerador?

11. ¿Cómo puede relacionar la segunda ley de la termodinámica con la eficiencia del motor ($Eficiencia = \frac{Trabajo\ obtenido\ por\ el\ motor}{Energía\ sumimistrada}$)?

- ***Comentario para el docente:*** *después de realizadas las preguntas a los estudiantes primero de forma individual (advertir que las respuestas no serán tenidas en cuenta para la calificación ya que el objetivo es indagar por los preconceptos) luego se realiza una puesta en común en diferentes grupos. Después de analizar y discutir sobre las preguntas propuestas, se realiza una descripción detallada del funcionamiento del motor.*

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE STIRLING: El motor de Stirling experimenta 4 pasos en su funcionamiento: 2 isotermas (a temperatura constantes) y 2 isocoras (volumen constante).

1. Expansión isotérmica:

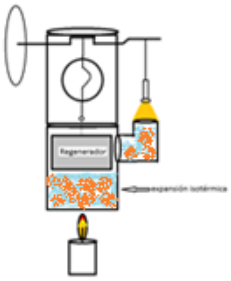

Ilustración 4-12. Expansión isotérmica del motor de Stirling.

En este primer paso, el calor suministrado por la vela (Q_{1-2}) hace que el aire dentro del pistón interno se expanda isotérmicamente, es decir a temperatura constante de V_1 a V_2. En esta primera etapa al no variar la temperatura (T_1) pero al disminuir la presión del gas, la variación de la energía interna es 0 (dU=0), entonces de acuerdo al primer principio de la termodinámica $dW_{1-2}=-dQ_{1-2}$, es decir que todo el calor suministrado se convierte en trabajo realizado por el aire haciendo mover el cigüeñal. (Ilustración 4-12)

2. Enfriamiento isocórico:

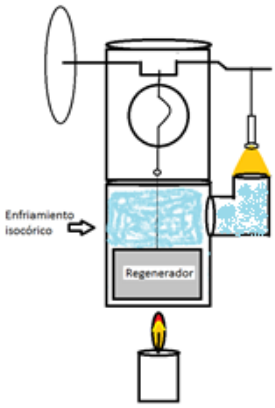

Ilustración 4-13. Enfriamiento isocórico del motor de Stirling.

En esta etapa del ciclo, el aire es enfriado al pasar a través del regenerador pasando de una T_1 a T_2 donde T_1 es mayor que T_2, el volumen permanece constante $V=V_2=V_3$. En un proceso en el cual no hay cambio en el volumen, el trabajo es cero dW=0 y de acuerdo a la primera ley de la termodinámica $du= -Q_{2-3}$, es decir que la energía que pierde el gas es entregada al regenerador y allí se encuentra disponible para ser empleada nuevamente, si no existiese regenerador esta energía sería transferida al exterior del motor, haciendo que su eficiencia fuese menor. (Ilustración 4-13)

3. Compresión isotérmica:

En esta parte del ciclo, el pistón de trabajo comprime el gas a temperatura T_2 constante, es decir que dU=0, como el volumen cambia de V_3 a V_4 y la presión aumenta, y de acuerdo a la primera ley de la termodinámica el trabajo realizado por el volante sobre el gas es: $dW = -Q_{3-4}$ es decir que Q_{3-4} es transferido al exterior del motor. (Ilustración 4-14)

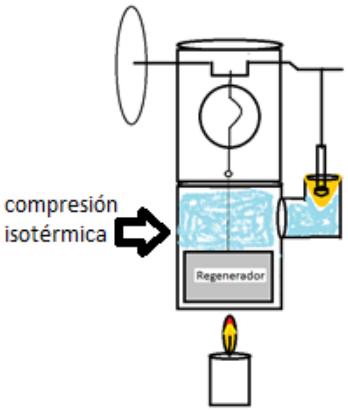

Ilustración 4-14. Compresión isotérmica.

4. Calentamiento isocórico:

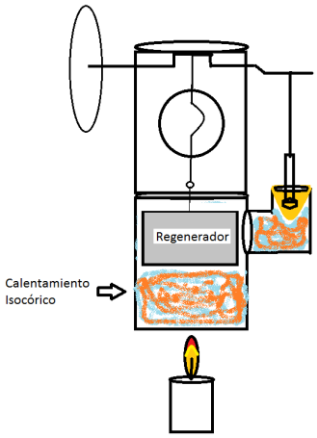

Ilustración 4-15. Calentamiento isocórico.

En esta parte del ciclo, el regenerador sube calentando el aire de T_2 a T_1 esta etapa ocurre a volumen constante, es decir que dW =0 por consiguiente $Q_{4-1} = -Q_{2-3}$ es decir que Q_{2-3} es transferido desde el regenerador al aire, calentando el aire pero enfriando el regenerador. (Ilustración 4-15)

Estos 4 pasos son en esencia los que ocurren dentro del motor (expansión isotérmica, enfriamiento isocórico, compresión isotérmica y calentamiento isocórico), de esta forma la energía es transferida desde la zona de temperatura alta T_1 a la temperatura baja T_2 pasando por varias etapas generando potencia motriz y transfiriendo Q al exterior.

- ***Comentario para el docente:*** *Después de hacer la explicación minuciosa del funcionamiento del motor, se plantea la última parte de la práctica, que es la construcción del motor de Stirling por parte de los estudiantes, teniendo en cuenta las recomendaciones y sugerencias que se han realizado. Para tal fin, se les sugiere que observen videos en internet acerca de la elaboración del motor y que inicien el proceso de construcción. El docente acompañará este proceso realizando sugerencias, cuestionamientos sobre los diferentes componentes y su funcionamiento.*

Es importante recalcar que se debe hacer énfasis en la forma cómo la energía es transferida, y transformada en el motor. Como elemento de análisis se usa la primera ley de la termodinámica, ¿en qué parte del proceso se realiza trabajo?, ¿quién lo realiza? ¿En qué parte la energía interna varía?, ¿por qué ocurre esta variación? Estos cuestionamientos se deben realizar para que el estudiante comprenda, en la medida que realiza su montaje, el funcionamiento del mismo. Adicionalmente se realiza una charla sobre la eficiencia del motor, su rendimiento, ¿qué

mejoras se pueden realizar para subir el rendimiento? ¿Por qué el rendimiento no puede ser mayor? Para esta reflexión es necesario emplear la segunda ley de la termodinámica y relacionar el concepto de entropía con el rendimiento del motor.

4.2.2 Montaje y explicación de una batería hecha con limones

- ***Comentario para el docente:*** *con la realización de la presente práctica se pretende mostrar como la energía se manifiesta de diversas maneras y cómo al transformarse de una forma a otra es posible hacer trabajo. En este caso, de una forma sencilla, se puede demostrar como mediante reacciones químicas, de oxidación-reducción, se puede obtener una corriente eléctrica, que a su vez pueda emplearse para encender un LED.*
  Como primera medida se puede hacer el montaje en el aula. Se pide a los estudiantes que lleven limones, naranjas, papaya, papa, manzanas… y adicionalmente se les pide que lleven trozos de cobre, zinc, tornillos, puntillas galvanizadas, cables conectores y un diodo LED.

MONTAJE EXPERIMENTAL: Se toma un limón, naranja, manzana, etc. Con un cuchillo se realiza una perforación y se toma un trozo de cobre y se inserta dentro; se realiza otro corte en una parte diferente y se incrusta el trozo de zinc o el tornillo galvanizado teniendo la precaución de que estos metales no entren en contacto dentro del limón, se repite el proceso con otros 3 limones más. A continuación se conectan mediante los cables los trozos de cobre y zinc en una conexión en serie (es decir el cobre de un limón se conecta con el zinc de otro limón y el cobre de este limón con el zinc del siguiente limón) como se muestra en la ilustración 4-16:

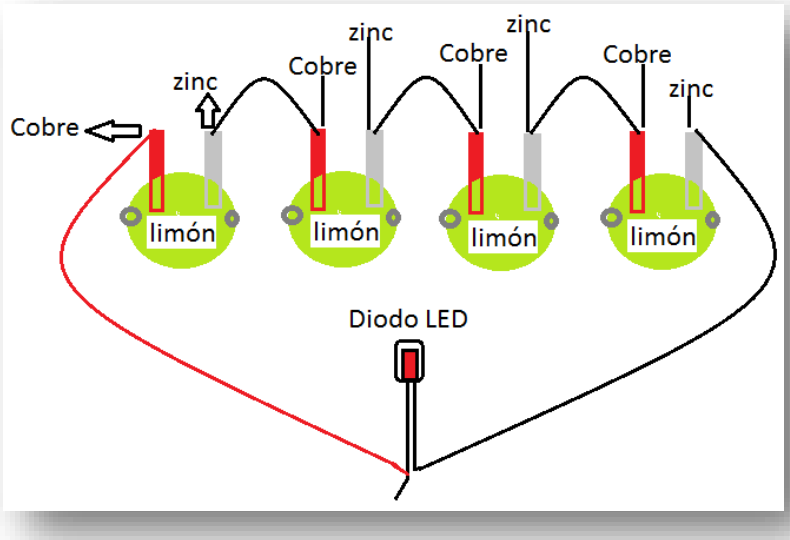

Ilustración 4-16. Montaje de una batería de limones.

1. Realice el montaje anteriormente descrito.
2. Observe detenidamente lo que sucede y describa lo visto.
3. ¿De dónde obtiene el LED la energía para iluminar?
4. ¿De dónde se obtiene la electricidad? ¿La poseen los limones? ¿Cómo cree usted que se origina?
5. Si se coloca un solo metal en los limones ¿se obtendrán los mismos resultados?
6. ¿Qué función desempeñan los trozos de metales diferentes y el limón en la presente experiencia?
7. ¿Qué tipos de energía cree usted que están involucrados en esta experiencia? Descríbalas y comente como se transforman y transfieren a través de toda la experiencia.
8. Observe detalladamente el montaje y déjelo durante un tiempo prolongado (un día si es posible) y describa los cambios que experimenta el montaje. Retire los trozos de cobre y zinc, analícelos minuciosamente y describa lo observado.
9. ¿La energía obtenida en esta experiencia es ilimitada?
10. ¿Por qué es necesario conectar varios limones de esta forma?

- ***Comentario para el docente:*** *se les pide a los estudiantes que contesten las anteriores preguntas de forma sincera de acuerdo a sus conocimientos y se les informa que las respuestas no son utilizadas para la valoración de la actividad, esto permite liberar de presión a los estudiantes y que contesten lo más sinceramente posible, dichas preguntas tienen como fin generar inquietud y curiosidad acerca del funcionamiento de la batería de limones. A continuación se les muestra un video en el cual se realiza la experiencia y su respectiva explicación. Ahora se pide que contrasten sus respuestas anteriores con la nueva información, y concluir que esta es otra manifestación de la energía. Una ventaja de esta práctica es que puede ser utilizada desde la química, la física, y la biología, es decir es un conocimiento transversal que permite un mayor grado de generalización y de integración entre las diferentes disciplinas científicas. Como recomendación se sugiere que para este tipo de prácticas exista un diálogo permanente entre los docentes de las diferentes asignaturas, en especial entre los docentes de química, física, y biología ya que se puede realizar un trabajo complementario, y así los estudiantes perciban que las diferentes disciplinas científicas no son ruedas sueltas, sino que por el contrario son complementarias en busca de las mismas finalidades.*

EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA BATERÍA DE LIMONES: En esta experiencia se puede evidenciar un proceso electroquímico mediante el cual se libera energía potencial química en energía eléctrica. Este proceso sucede de la siguiente manera: como se sabe el limón es una fruta rica en ácido cítrico, (un electrolito o buen conductor de iones) que conduce con facilidad las cargas eléctricas, al entrar en contacto

con el cobre y zinc (que son metales con diferente potencial eléctrico) se generan dos procesos o reacciones simultáneas, oxidación y reducción. En el zinc (ánodo) ocurre una oxidación es decir se desprenden cargas negativas (electrones) que son transportadas a través del cable hacia el otro electrodo (el cátodo). También se forman iones Zn^{2+} que son liberados al electrolito (el jugo de limón). Es importante tener en cuenta que los electrones tan solo se pueden trasportar por los metales o semiconductores y no pueden ser trasportados a través de los electrolitos (disoluciones acuosas de iones).

Los electrones que llegan al cátodo pueden ser trasferidos a sustancias presentes en el electrolito y así ser reducidas. Por ejemplo en el caso de usar limones la reacción de reducción más probable es la reducción de los iones hidronio (H^+) para formar gas hidrógeno (H_2). Si se utilizan papas lo más probable es que algunos carbohidratos sean reducidos.

El flujo de electrones desde el ánodo hacia el cátodo se debe a que los electrones están pasando de estados de alta energía potencial a estados de baja energía potencial. La energía liberada en este proceso puede ser utilizada para hacer trabajo mecánico, como mover un motor eléctrico, o se puede trasformar en energía electromagnética, luz o radiación infrarroja (calor), en un LED.

Al pasar el tiempo las características de los metales y de la sustancia electrolítica se ven alteradas, (ya que hubo una reacción química) por tal razón estos elementos deben ser renovados, si se quiere mantener una corriente eléctrica suficiente para encender el LED o realizar otra función.

Con esta experiencia se muestra una vez más como la energía se presenta en diferentes manifestaciones, se trasforma y transfiere mediante diferentes proceso físicos o químicos. Este montaje ayuda a comprender cómo es el funcionamiento de una batería convencional o una “pila”. En esencia, el proceso es el mismo solo que de una forma mucho más eficiente, cambiando las sustancias electrolíticas y los metales por aquellos que generen mayor potencia.

- ***Comentario para el docente:*** *Para complementar el trabajo se sugiere que los estudiantes observen el video del funcionamiento, a continuación se anexa el enlace al video: https://www.youtube.com/watch?v=1GC2nb7BnIw&feature=youtu.be*

4.2.3 Explicación del funcionamiento de una celda fotovoltaica

- ***Comentario para el docente:*** *Para la realización de esta práctica se requiere contar con una celda fotovoltaica, que es muy sencilla de adquirir, se puede desarmar una calculadora que tenga una de éstas, y se realiza el montaje. Simplemente se deja la calculadora con sus partes internas expuestas de tal forma que el estudiante pueda constatar que*

no existe pila, batería o fuente alguna que entregue energía a la calculadora, salvo la celda fotovoltaica. El objetivo de esta práctica demostrativa es generalizar un poco más el concepto de energía, ya que se relaciona la energía eléctrica (que es más común para los estudiantes) con la energía de radiación electromagnética, mostrando que la una es transformable en la otra.

MONTAJE EXPERIMENTAL: se realiza el montaje que se observa en la ilustración 4-17, la idea es realizar dicho montaje en un sitio con poca iluminación. A continuación se trata de encender la calculadora sin encender la lámpara o linterna, y se observa lo que sucede.

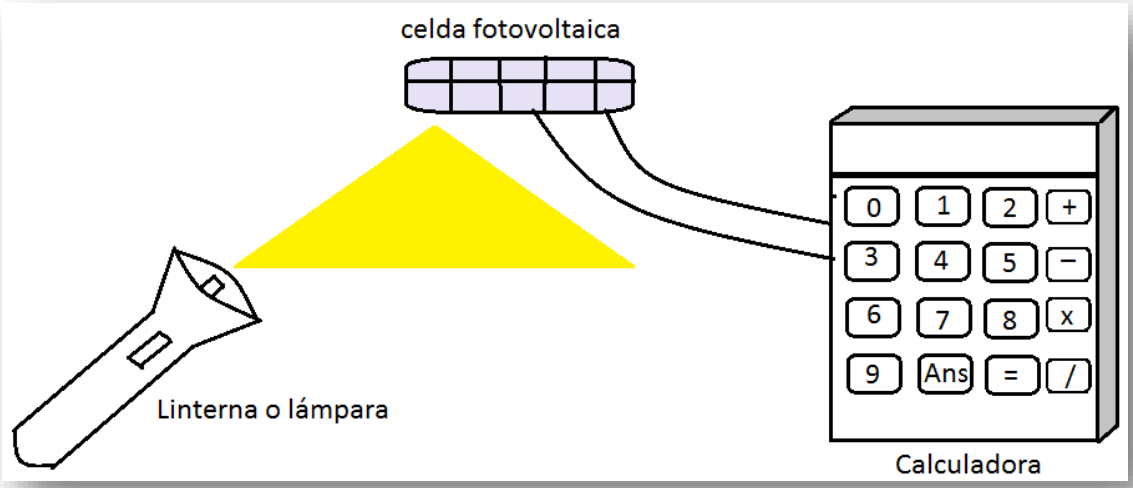

Ilustración 4-17. Montaje celda fotovoltaica.

Más tarde se enciende la lámpara, linterna u otra fuente de luz y se ilumina la celda fotovoltaica. Se enciende la calculadora y se observa lo que sucede, ahora se apaga la fuente de luz y se observa detalladamente lo sucedido.

- ***Comentario para el docente:*** *Después de realizada la práctica demostrativa con los estudiantes, se les pide que contesten de la forma más sincera unas preguntas de acuerdo a sus ideas preestablecidas, indicándoles que su función es exclusivamente indagar sobre lo que piensan acerca de la experiencia.*

1. ¿Por qué al tratar de encender la calculadora inicialmente no funcionó?
2. ¿Qué cree usted que ocurre al encender la lámpara o linterna y observar que la calculadora funcionó en esta oportunidad?
3. ¿Qué clases de energía cree usted que están implicadas en esta experiencia?
4. ¿Qué explicación puede ofrecer usted sobre la transferencia y transformación de la energía en esta situación?
5. ¿Por qué al apagar la linterna, la calculadora deja de funcionar?

6. ¿La corriente eléctrica que alimenta de energía a la calculadora, proviene de la luz de la linterna? Si no es así ¿de dónde se obtiene? Justifique la respuesta
7. ¿Qué piensa que ocurre cuando la luz de la linterna incide sobre la celda fotovoltaica?

- ***Comentario para el docente:*** *como recomendación se sugiere, haber trabajado previamente la teoría ondulatoria y corpuscular de la luz, de tal forma que se tengan mejores bases para una oportuna comprensión del funcionamiento de una celda fotovoltaica.*

  Una vez finalice el cuestionario, los estudiantes intercambian ideas y opiniones con los demás compañeros, finalmente mediante el uso de videos, maquetas y diapositivas se explica el funcionamiento y los principios físicos de una fotocelda. Vale la pena recordar que el principal objetivo que se persigue con esta actividad es mostrar a los estudiantes una manifestación más de la energía, en este caso como la radiación electromagnética es transformada en electricidad permitiendo el funcionamiento de una calculadora. Es de vital importancia que los estudiantes puedan vivir estas experiencias, ya que así los conocimientos nuevos se cimientan sobre unas sólidas bases, ya que dichos conocimientos están asociados con actividades realizadas por los alumnos.

EXPLICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA: para entender el funcionamiento de una celda fotovoltaica se debe comprender la teoría corpuscular de la luz que consiste, básicamente, en entender la luz como un flujo de partículas llamadas fotones, dichas partículas poseen una energía dada por la expresión E = hf, donde h representa la constante de Plank y f la frecuencia de la radiación. A mediados de 1905 existía un problema sin explicar, ¿cómo es posible que al incidir luz sobre una placa metálica, se produjese corriente eléctrica en ésta (movimiento de electrones)?. Desde una postura clásica se puede entender que al llegar un cierto frente de ondas electromagnéticas sobre un electrón, éste acumula su energía hasta que finalmente es liberada del átomo, pero al realizar mediciones se encontró que una luz tenue no tardaba más en liberar electrones respecto a como lo hace una luz intensa, como lo predice la física clásica es decir que la intensidad de la luz no afecta la velocidad con la que un electrón es desprendido, más sin embargo si afecta la cantidad de electrones desprendidos, de acuerdo a estos acontecimientos la física clásica es incapaz de explicar satisfactoriamente este efecto, hasta que en el año de 1905 Albert Einstein publica su artículo: “Heurística de la generación y conversión de la luz” (Einstein, 1993) en donde explica el efecto fotoeléctrico.

4.2.4 Explicación del funcionamiento de una vela y de un fósforo o cerillo

- ***Comentario para el docente:*** *Con la realización de esta práctica se busca una vez más que los estudiantes puedan comprobar cómo la energía se manifiesta de diversas formas. En este caso cómo mediante una reacción química la energía es transformada de energía química (que es la suma de las energías potencial y cinética de las partículas que conforman los compuestos químicos) en radiación electromagnética (luz y calor), para ello se requiere materiales muy simples de conseguir, tales materiales son: un fósforo y una veladora*

MONTAJE EXPERIMENTAL:

Este montaje es extremadamente sencillo (ilustración 4-18), se debe friccionar el fósforo, sobre una superficie áspera dejar que se encienda, a continuación encender la veladora dejar un tiempo mientras la llama de la vela se aviva y finalmente tapar la veladora con un vaso, observar cada uno de los pasos realizados (encendido del cerillo, encendido de la veladora y lo que ocurre al colocar el vaso sobre la veladora). Y contestar las siguientes preguntas:

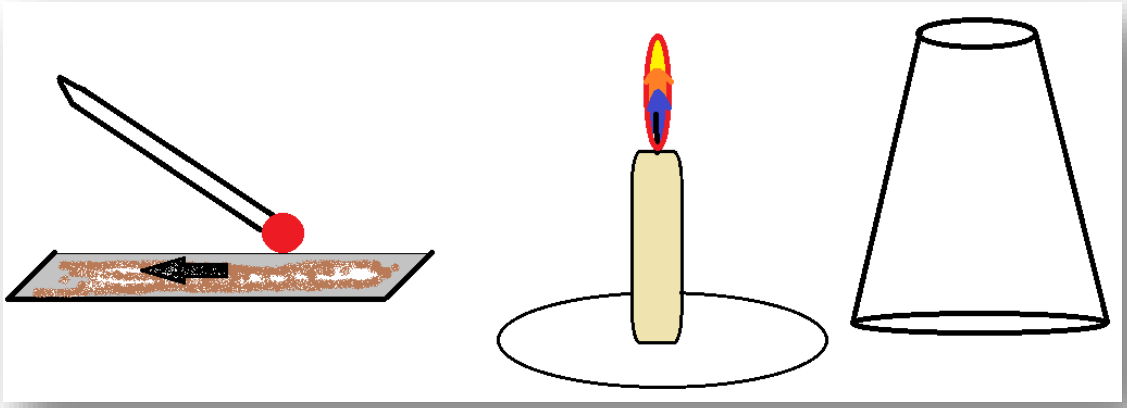

Ilustración 4-18. Fósforo y veladora.

1. ¿Por qué es necesario rastrillar el fósforo sobre una superficie rugosa?
2. ¿Qué tipos de energía cree usted que se manifiesta en el momento de encender el fósforo? Explique su respuesta.
3. ¿Cómo piensa usted que se da el proceso de transformación de la energía en el cerillo mientras es encendido? Justifique la respuesta.
4. ¿Cómo analiza la ley de la conservación de la energía en esta situación?
5. ¿El proceso que permite encender la veladora es igual o diferente al que se requiere para encender el fósforo?
6. Se enciende la veladora y se deja encendida hasta que se termine. ¿La cantidad de residuo (parafina) que queda es diferente a la que existe inicialmente? ¿por qué?

¿qué sucede con la cantidad de parafina qué desaparece? ¿Este hecho viola la ley de conservación de la energía? Explique.

7. ¿Qué evidencia cree usted que existe para afirmar que la entropía en este proceso ha aumentado? Argumente su respuesta
8. Al colocar el vaso sobre la veladora. ¿Por qué razón cree usted que la llama de la vela se extingue?
9. ¿Por qué en las paredes internas del vaso hay presencia de agua?
10. ¿Qué energías están presentes en la combustión de la veladora? ¿Cómo se da el proceso de transformación de la energía? Argumente su respuesta.

- ***Comentario para el docente:*** *Después de realizar las preguntas a los estudiantes, ellos contestarán sus preguntas de forma individual y a continuación las analizarán en grupo, con la libertad de contestar sin la presión de una calificación, ya que la intención es generar conflicto cognitivo, buscar los preconceptos que tienen los estudiantes y generar motivación por buscar nuevos conocimientos que satisfagan sus expectativas.*

FUNCIONAMIENTO DE UN FÓSFORO: El fósforo o cerilla es un elemento que está conformado por una varita cubierta de parafina o cera (de allí su nombre cerillo), colorante, pegamento, un material combustible (azufre) y un agente oxidante (clorato de potasio), la cabeza está conformada de trisulfuro de fósforo y polvo de vidrio. Cuando la cabeza del fósforo es frotada con una superficie rugosa, allí la energía cinética al mover el fósforo por efectos del trabajo realizado por fricción, transforma esta energía en calor, (la cabeza del cerillo aumenta su temperatura), este calor inicia una reacción química de combustión espontánea (ignición) entre el trisulfuro de fósforo y el clorato de potasio presente, liberando mucha más energía en forma de calor radiante y luz visible (la temperatura se incrementa considerablemente), esta reacción ocurre muy rápidamente. A continuación entra en combustión la parafina evaporada de la varita del fósforo con el oxígeno presente en el aire. Esta última reacción se puede dar debido a que la temperatura de los alrededores es alta, hay un combustible (la parafina) y un comburente (oxígeno). En términos generales se puede evidenciar que para que un fósforo se encienda se requieren unos pasos: primero se requiere de una energía de iniciación (obtenida por fricción del cerillo), esto incrementa la temperatura de la cabeza del fósforo lo suficiente para que se dé una ignición (combustión espontánea) en esta etapa se libera bastante energía en forma de calor radiante y luz visible, pero para que el proceso dure más tiempo, la varita que tiene parafina, se quema transformando más energía en calor y luz, pero a un ritmo un poco más lento.

4.2.5 Explicación del funcionamiento de un dínamo o generador eléctrico.

- ***Comentario para el docente:*** *El fin que busca esta práctica es generar electricidad mediante transformación de energía mecánica (energía*

cinética de una espira de alambre respecto a un imán o viceversa) en energía eléctrica. La idea es presentar un generador eléctrico, que es muy fácil de conseguir, por ejemplo se puede desbaratar una unidad lectora de CD o DVD de un computador, que ya no sirva y se extrae el mecanismo que abre y expulsa el CD o DVD, este mecanismo es un generador eléctrico.

MONTAJE EXPERIMENTAL: El montaje experimental es extremadamente sencillo, se conecta el generador eléctrico mediante cables conectores a un LED (ilustración 4-19), y luego se hace girar el eje del generador y el LED se encenderá.

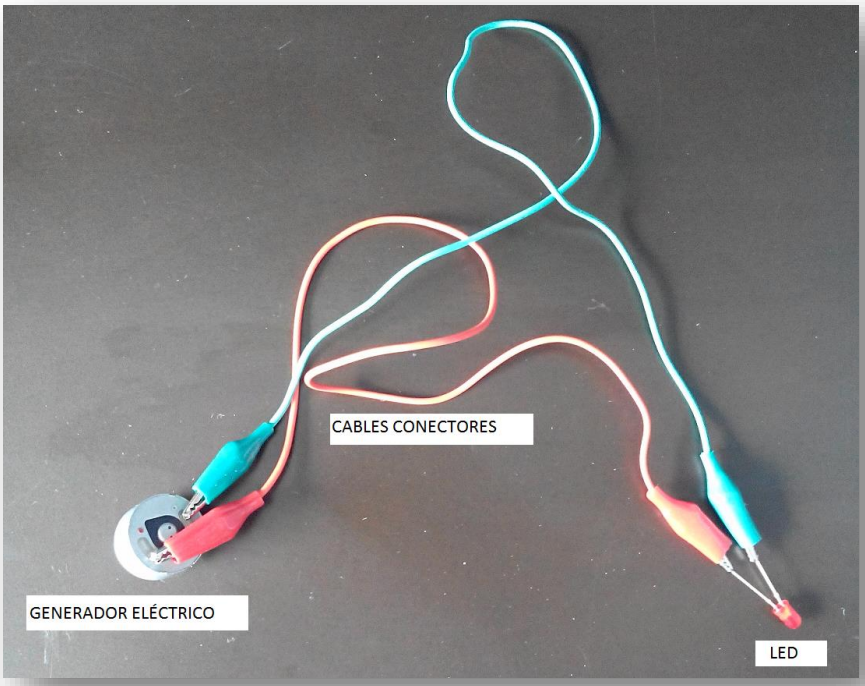

Ilustración 4-19. Montaje experimental del generador eléctrico.

La estructura básica de un generador es la siguiente: Una bobina, que básicamente es alambre de cobre enrollado en espiras, un imán colocado dentro de las espiras como se observa en la ilustración 4-20. Cada vez que las espiras o el imán se mueven uno respecto

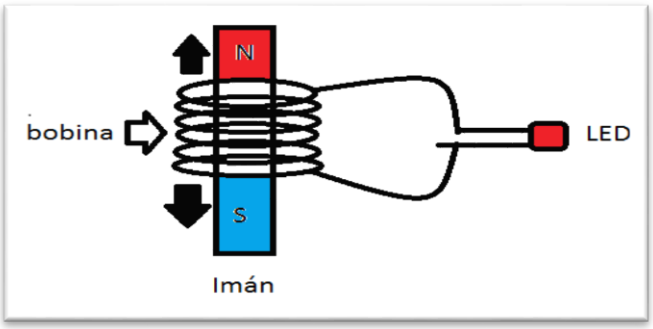

Ilustración 4-20. Estructura de un generador eléctrico.

al otro, se induce una corriente eléctrica (movimiento de cargas) en el alambre conductor haciendo que el LED se encienda.

Después de observar el funcionamiento del generador se contestan las siguientes preguntas:

1. ¿De dónde se obtiene la electricidad para encender el LED?
2. ¿Qué manifestaciones de la energía cree usted que están presentes en esta práctica demostrativa?
3. ¿Cómo se obtiene electricidad sin necesidad de batería o fuente alguna?
4. ¿Cómo cree usted que se evidencia el principio de conservación de la energía en esta práctica?
5. ¿Toda la energía inicial del generador se convierte en electricidad? Si no es así, ¿en qué otra manifestación de la energía se transforma?
6. ¿Qué papel juega la bobina y el imán en el generador?
7. ¿Se produce electricidad con la sola presencia de la bobina y el imán? Si no es así, ¿qué otra condición se debe cumplir?
    - ***Comentario para el docente:*** *Con la formulación de las anteriores preguntas se pretende indagar los preconceptos e ideas previas que tienen los estudiantes acerca del funcionamiento y principios físicos que rigen al generador eléctrico, por tal razón es muy importante que se estimule responder de una forma liberada y sin presión alguna, ya que la intención no es tomar las respuestas para evaluar sino para indagar. A continuación se presenta el enlace del video con el funcionamiento y una explicación de los principios físicos que lo rigen:* https://www.youtube.com/watch?v=LOoatWe3gWg *se muestra el video a los estudiantes y luego se hace una reflexión colectiva sobre el generador eléctrico.*

FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR ELÉCTRICO: a principios del siglo XIX, se produce electricidad mediante las baterías voltaicas, que básicamente funcionan de forma similar a la batería de limones expuesta anteriormente. Oersted mediante un montaje con una pila de Volta y un circuito descubre que una corriente eléctrica inducia un campo magnético, al observar cómo se alteraba la orientación de una brújula al paso de la corriente por el alambre conductor, entonces surge la pregunta: ¿se puede generar electricidad mediante el magnetismo? Respuesta que es encontrada por Michael Faraday en Inglaterra y Joseph Henry en Estados Unidos cada uno trabajando de forma independiente, alrededor de 1831. Este principio recibe el nombre de inducción electromagnética, básicamente consiste en mover un imán (campo magnético) dentro de una bobina estática o viceversa, mover la bobina y dejar estático el imán, lo que realmente importa es que exista movimiento relativo entre la bobina y el campo magnético, este movimiento (energía cinética) es transformado en movimiento de cargas dentro del alambre (corriente eléctrica). La diferencia de potencial que se genere depende del número

o cantidad de espiras que tenga la bobina y de la velocidad con la que se mueva ésta o el campo magnético dentro de las espiras de la bobina, a simple vista se puede tener una gran diferencia de potencial con el solo hecho de aumentar las espiras, obtener más energía sin costo alguno, pero esto no es cierto debido a que al aumentar el número de espiras también aumenta un campo magnético inducido debido a la circulación de corriente eléctrica a través de las espiras de la bobina (electro imán) que repele al imán dificultando el movimiento de éste. Al haber más espiras hay más diferencia de potencial y a su vez se requiere más trabajo para mover la bobina o el imán e inducir corriente. La eficiencia que puede tener un generador depende de la conductividad eléctrica del alambre conductor de la bobina ya que si se disipa energía en el alambre conductor mediante energía térmica, hace que disminuya la conductividad del alambre.

- ***Comentario para el docente:*** *Al finalizar esta práctica de inducción electromagnética se termina el ciclo de 5 experiencias en las cuales se presentan diferentes manifestaciones de un mismo concepto, la energía. La intención de realizar diversas experiencias es que los estudiantes de grado 10° y/o 11° puedan analizar diferentes formas de observar la energía, su transferencia y transformación al igual que su conservación y degradación (entropía) y no se queden exclusivamente en las típicas manifestaciones como lo son la energía térmica y la mecánica, sino presentarles una gran variedad, esto hace que se asimile y se construyan conocimientos más generales. Además, se realiza un trabajo interdisciplinario (física, química) haciendo notar que la ciencia no se encuentra aislada sino que interactúa con otras ramas del conocimiento. Finalmente se consolida un trabajo en equipo, haciendo énfasis en el carácter social de la ciencia.*

  Como reflexión final y para afianzar aún más conocimiento verdaderamente significativo en los estudiantes, se puede realizar un ***seminario****, en el cual, se solicita a los estudiantes que realicen consultas acerca del origen del universo, expansión del universo, materia oscura y energía oscura, y poder concluir esta propuesta didáctica relacionando las prácticas realizadas, con la energía en su forma más general y llegar a comprender que toda manifestación de la energía tiene un origen común, como lo es la energía existente desde el origen del universo, y que todas las expresiones de energía conocida no alcanzan a ser ni si quiera un 6% de la composición del universo, que existen otras manifestaciones de la energía aún bastante extrañas y desconocidas, como son la materia oscura y la energía oscura, que resultan siendo el mayor constituyente del universo.*

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

En la enseñanza de las ciencias naturales, específicamente en la física, se presentan gran cantidad de inconvenientes. Entre ellos se destacan la confusión y el poco entendimiento de conceptos fundamentales. En el presente trabajo se aborda uno de ellos, la energía. Inicialmente se realiza una búsqueda exhaustiva de textos de carácter científico para identificar el tratamiento que se le da a dicho concepto, se encuentra que el concepto energía está asociado a procesos como calor y trabajo y a la energía mecánica (cinética y potencial), radiación electromagnética, energía química, radiación de cuerpo negro, energía nuclear, equivalencia entre energía y masa, radioactividad, energía oscura y materia oscura, reconociendo que al abordar dicho concepto en la enseñanza media vocacional solo se hace alusión a calor, trabajo y a la energía mecánica, y que las demás manifestaciones de la energía son abordadas individualmente y sin ningún tipo de relación. En ciertas instancias es abordado desde la enseñanza de la física y en otras desde la química, haciendo mayor la divergencia del concepto.

Adicionalmente, al realizar un análisis de los estándares básicos en ciencias naturales se solicita abordar los conceptos de forma global e interdisciplinaria, situación que en la práctica no sucede. Por estas razones, se ve la necesidad de crear una propuesta didáctica que no solo aborde las diferentes manifestaciones de la energía de una forma global, e integral sino que adicionalmente incluya otros conceptos relevantes para generar un concepto más completo, dichos conceptos que se incluyen en la propuesta son: calor y trabajo como procesos de trasferencia y transformación de la energía, ley de conservación de la energía, y el concepto de entropía (degradación de la energía). Adicionalmente se realiza un análisis histórico y conceptual de la energía, y sus diferentes manifestaciones, luego se profundiza en la ley de conservación de la energía y finalmente, el concepto entropía usando como sustento teórico la teoría cinético molecular y la termodinámica estadística, y así poder construir una propuesta didáctica sólida y eficiente. La propuesta didáctica tiene 2 componentes: uno teórico y uno práctico, en el componente teórico se trabaja con conceptos básicos de termodinámica estadística, para que los estudiantes logren comprender de una forma clara los conceptos de calor, trabajo, energía interna, conservación de la energía y entropía, por tal razón se recomienda su aplicación en grado 10 y 11° ya que en estos grados se abordan los conceptos básicos de estadística en el área de matemáticas. El componente práctico consta de 5 prácticas experimentales

diseñadas de tal forma que sean muy fáciles de realizar y que generen inquietud y motivación, que aborden diferentes aspectos de la energía (manifestaciones, transformaciones, conservación y pérdidas de calidad). Dichas prácticas están acompañadas de talleres con preguntas abiertas, con las cuales se pretende indagar los preconceptos y las ideas previas que tienen los estudiantes, a continuación se realiza la práctica y por último reflexiones que incluyan la trasformación de los pre saberes en aprendizajes significativos mediante la construcción de nuevos conocimientos basándose en explicaciones y conocimientos más cercanos a lo científico que a lo popular y cotidiano, de manera que se satisfaga la curiosidad y se desarrolle el poder explicativo por parte de los estudiantes.

Como conclusión final, puede afirmarse que en el proceso enseñanza aprendizaje de las ciencias naturales es fundamental diseñar e implementar materiales didácticos acordes a las necesidades y contextos de los estudiantes, estos materiales se deben construir con rigor y profundidad contemplando, aspectos históricos, conceptuales, interdisciplinares y experimentales de los conceptos, leyes o fenómenos a tratar, permitiendo que los estudiantes generen aprendizajes significativos con un alto nivel crítico que posibiliten generalizar y aplicar dichos conocimientos en diferentes contextos y situaciones, en otras palabras, que los estudiantes desarrollen competencias en ciencias naturales. Para que se puedan diseñar e implementar asertivamente las unidades didácticas se debe trabajar mancomunadamente entre las diferentes asignaturas que conformen el área de ciencias, ya que los estudiantes deben percibir que la ciencia se construye con trabajo en equipo e interdisciplinar y no de forma aislada, en donde un mismo concepto, ley o principio puede ser enseñado en diferentes asignaturas con enfoques diferentes generando confusión en los estudiantes.

5.2 Recomendaciones

En el estado actual de la educación secundaria y media vocacional en Colombia, se hace necesario incentivar la implementación de nuevas estrategias que contribuyan al mejoramiento de la calidad educativa. También es importante la publicación de experiencias significativas realizadas por docentes en la enseñanza de las ciencias.

Es de vital importancia poner a prueba la presente propuesta mediante la implementación en instituciones educativas en los niveles recomendados (10° y 11° de educación media vocacional) y así poder evaluar, la efectividad de la misma, los aciertos y los errores de tal forma que se pueda mejorar hacia un futuro y llegue a ser una estrategia efectiva en las diferentes instituciones educativas. Una parte fundamental para asegurar el éxito en la puesta en práctica es liberar a los estudiantes de la presión por una calificación y más bien reemplazar este estímulo por la curiosidad, las ganas de aprender algo nuevo y de una forma diferente.

También es aconsejable realizar experiencias similares con otros conceptos fundamentales tales como peso y masa, presión y fuerza, etc. Y así poder extender el campo de acción y contribuir con el mejoramiento de la calidad educativa.

Bibliografía

Alomá Chávez, E., & Malaver, M. (2007). *Los conceptos de calor, trabajo energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica.* Educere, julio-septiembre, 477-487.

Ausubel-Novak-Hanesian. (1983). *Psicologia Educativa un punto de vista cognoscitivo.* Mexico: Trillas.

Bellone, E. (1999). El mundo de la termodinámica. *Temas 16 Investigación y ciencia: Calor y movimiento*, 2-6.

Bennett, C. (1999). Demonios motores y la segunda ley. *Investigación y Ciencia Temas 16 calor y movimiento*, 18-26.

Cordero, S. M. (2007). *Concepciones sobre energía de estudiantes de carreras universitarias no físicas.* Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP ; Grupo de Didáctica de las Ciencias, IFLYSIB.

Doménech, J. L., Limiñana, R., & Menargues, A. (2012). *La superficialidad en la enseñanza del concepto energía: una causa del limitado aprendizaje alcanzado por los estudiantes de bachillerato.* Universidad de Alicante: Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas.

DUGAS, R. (1988). *A history of mechanics.* Nueva York: : Dover.

Edelmán, V. (1983). Capítulo 2 Radiación Negra. En V. Edelmán, *Física al alcance de todos: cerca del cero absoluto* (pág. 184). URSS: Editorial Mir Moscu.

Einstein, A. (1993). *The Collected Papers of Albert Einstein .* Princeton: Princeton University Press.

Feynman, R. (1971). *The Feynman Lectures on Physics.* Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.

Gamow, G. (2001). *Biografía de la Física.* Alianza Editorial.

García Colín, L. (1997). *De la máquina de vapor al cero absoluto (calor y entropía).* Mexico D.F:: Fondo de Cultura Económica.

Gerald, H. (1989). Ley de la conservación de la energía. En H. Gerald, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas* (pág. 389). Barcelona: Reverté.

Güémez, J. (2003). *Teoría del Calórico.* Cantabria: Departamento de Física - Universidad de Cantabria.

Hewitt, P. (2007). 33 El núcleo atómico y la radioactividad. En P. Hewitt, *Física conceptual* (pág. 824). México: Pearson educación.

Hewitt, P. (2007). 35 Teoría de la relatividad especial. En P. Hewitt, *Física Conceptual* (pág. 824). México: Pearson Educación.

Hierrezuelo, M. J., & Molina, G. E. (1990). *Una propuesta para la introducción del concepto energía en el bachillerato.* I.B. Reyes Católicos I.B. Jorge Guillen.

John, B. (2002). Materia oscura y energía oscura en el universo. *IAC Noticias del Instituto de Astrofísica de Canarias*, 6 y 7.

Jordi, S., & Francisco, T. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales. N.º 22*, 155-180.

Lawrence, k. (2002). “Inflación, el Universo plano, Materia Oscura y Energía Oscura una introducción” Superando a la ficción. *IAC Noticias, del Instituto de Astrofísica de Canarias*, 6 y 7.

Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias sociales y ciencias naturales.* Colombia: Cargraphics S.A.

Müller, I. (2007). *A History of Thermodynamics (The Doctrine of Energy and Entropy).* Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Nóvikov, I. (1988). *Ciencia popular: Cómo explotó el universo.* Moscú: Mir Moscú.

P.W., A. (1992). Colapso en el Caos. En A. P.W., *La segunda Ley* (pág. 228). Barcelona: Prensa científica S.A.

P.W., A. (1992). Cuenta y razón del caos. En A. P.W., *La segunda ley* (págs. 65-80). Barcelona: Prensa Científica S.A.

Pacca, J. L., & Henrique, K. i. (2004). Dificutades y estrategias para la enseñanza del concepto energía. *Innovaciones didácticas*, 159–166.

Pohl Valero, S. &. (2010). Energía, entropía y religión. Un repaso histórico. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. 34 (130)*, 37-52.

Smith, C. (1998). *The Science of Energy. A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain.* Chicago: The University of Chicago Press.

Solbes, J., & Tarín, F. (2004). La conservación de la energía: Un principio de toda la física. Una propuesta y unos resultados. *Investigación Didáctica*.

Wilson, S. (1999). Sadi Carnot. *Investigación y Ciencia (temas 16)*, 7-17.