

EL TIEMPO DESDE UNA PERSPECTIVA DE LA FÍSICA CLÁSICA EN
RELACIÓN CON LA ENERGÍA Y SUS TRANSFORMACIONES

ESTHID DARÍO ÁLVAREZ QUINTERO

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título

Licenciado en Física

Asesora

CARMEN EUGENIA FONSECA CUENCA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS:

ENFOQUES DIDÁCTICOS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Bogotá, 2023

Tabla de contenido

Introducción	3
Capítulo I Planteamiento del problema	5
Contexto situación problema	5
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Justificación	8
Antecedentes	9
Metodología	10
Capítulo II Marco Conceptual	11
El concepto de energía mecánica	11
Transformación de la energía	19
El concepto de tiempo desde la mecánica clásica	21
El concepto del tiempo desde la relatividad especial	25
El principio de causalidad	31
El concepto de tiempo termodinámico	32
Capítulo III El tiempo y su relación con la energía	36
Energía mecánica y la medición del tiempo	36
El fotón y el tiempo propio.....	40
La entropía universal y el tiempo unificado.....	46
Conclusiones	51
Bibliografía	55

INTRODUCCIÓN

En nuestro paso por este mundo vemos como las personas que conocemos vienen y van, algunas se quedan otras no las volvemos a ver, las experiencias que un día tuvimos habitan en nuestra memoria, ya no están, ahora viven en nuestros recuerdos, la ropa que usamos de pequeños ya no nos queda, las cosas nuevas que compramos alguna vez se han desgastado o roto, algunas veces se conservan, pero con el tiempo vemos que todo queda atrás, observamos el espejo y nos damos cuenta de que no somos los mismos de ayer, todo cambia, está en evolución o se transforma, y es entonces cuando pensamos en “el tiempo se lleva todo” pero quien es aquel que nos lleva de la mano por la vida, aquel que deja atrás mi yo de ayer, por el cual solo recuerdo el pasado y no el futuro, del que se cuentan innumerables proezas de guerreros y poetas, y en el que nuestros antepasados tuvieron la oportunidad de experimentar, tenemos una porción de toda la historia del tiempo que vivimos en nuestra existencia y, por el paso de nuestra vida, sería agradable conocer su esencia o por lo menos intuir su naturaleza.

Este trabajo tiene como finalidad aportar una pieza del rompecabezas que desde tiempos inmemorables grandes pensadores intentaron aportar ideas para entender el concepto de tiempo, algunos opinan que debe estar en la mente del que lo percibe, otros pensaron que debe ser el conteo regresivo de la existencia del universo, otros lo describen como el parámetro que permite organizar las experiencias, y la verdad no es posible conocer su verdadera naturaleza, lo único que sabemos es que es el parámetro de medición en las leyes físicas que hemos construido por siglos.

En el primer capítulo se pone de presente las diferentes complicaciones que surgen al no tener claro los conceptos que forman la base de algunas teorías, tanto en estudiantes de preparatoria como de universidad. Las interpretaciones que se dan en las teorías clásicas, como la Termodinámica y Relatividad, no efectúan una relación considerable que permita entender este concepto con mayor claridad. Se debe tener en cuenta que muchos de los conceptos que son base fundamental de las teorías que dan cuenta del comportamiento de la naturaleza, no tienen definición precisa, esto nos lleva a cuestionarnos la forma en que hemos construido nuestro conocimiento bajo conceptos difíciles de precisar.

Sin tiempo nada existiría porque las cosas estarían en total quietud, o simplemente no habría tiempo para formarse nada de lo que conocemos, fueron muchos los pensadores que aportaron su comprensión en esta dirección, tenemos pistas que nos permiten describir su comportamiento, las características que lo representan son verídicas dentro de algunas de las teorías más sólidas de la física clásica. La direccionalidad del tiempo es una característica significativa que nos permite indagar en su comportamiento.

En el segundo capítulo se abordan las teorías más interesantes que nos darán un acercamiento a entender el tiempo desde varias miradas, la relación que tiene el tiempo con el movimiento y como este a su vez se relaciona con la energía. La interpretación que se da en Relatividad permite que se llegue a una nueva concepción de este concepto y a su vez veremos como adquiere un carácter real y no una percepción intangible del individuo.

En el tercer capítulo se abordará el funcionamiento de algunos artefactos para medir el paso del tiempo y como esto puede ayudarnos a relacionarlo con la energía, en vista de que estos dispositivos necesitan de cierta cantidad de energía para su funcionamiento, es posible aproximarnos a la idea de que por cada momento transcurrido cierta cantidad de energía se transforma. Es verdad que existen un sin número de artefactos para medir el paso de tiempo, pero por simplicidad de nuestro estudio abordaremos los dispositivos que en cada teoría son más representativos. En el desarrollo de este capítulo se intenta concebir el tiempo, desde su relación con la cantidad de energía que se transforma en cada proceso del sistema; se pone de relieve la importancia de la segunda ley de la termodinámica y como, desde esta, se muestra una característica importante del tiempo, la irreversibilidad de los procesos de la naturaleza y su contradicción respecto a las leyes mecánicas que mantienen una simetría temporal.

Finalmente, podremos tener una interpretación que permita relacionar estas teorías desde el punto de vista del tiempo y la energía, ya que vemos que el concepto de energía es único e invariante, con lo cual, se propone una posible naturaleza del tiempo, en función de la energía en transformación.

CAPÍTULO I

Planteamiento del problema

1.1 Contexto situación problema

El concepto de *tiempo* se interpreta de forma diferente en algunas teorías físicas, diferencias que se reflejan en los procesos de enseñanza y aprendizaje sin que se profundice o justifique la razón de ser de las diversas acepciones del término. Esto constituye una problemática que afecta la comprensión que pueden alcanzar los estudiantes en relación con este concepto, la cual amerita ser abordada en un ejercicio investigativo.

Desde la antigüedad el tiempo se ha relacionado con la idea de cambio. Para algunos filósofos como Aristóteles, quien pensaba que el tiempo estaba compuesto de “ahora”, un presente permanente, lo llevo a cuestionarse la naturaleza de este concepto, preguntarse si es una sustancia que puede ser intuida con los sentidos o si tiene una característica continua o discreta. A partir de las ideas planteadas por Isaac Newton y otros grandes pensadores, la forma en que se concibe el tiempo como algo intangible y abstracto, predominó por varios años, fue hasta mediados del siglo XVII cuando se pone de presente los fundamentos de la Mecánica clásica, partiendo de una proposición de un tiempo y espacio absolutos.

En 1905 Albert Einstein publicó su artículo *Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento*, en este, expuso su teoría de la Relatividad especial, allí se muestra que las leyes de la física son las mismas para todos los observadores en marcos de referencia inercial. Esto trajo una fuerte discusión alrededor de los conceptos de tiempo y espacio absoluto propuestos por Newton. Ya que la teoría especial de la relatividad indica que para observadores que se encuentren en sistemas de referencia que se mueven unos respecto de otros, la medición del tiempo no es la misma, no es absoluto como se pensaba. Fue necesario introducir el concepto de tiempo propio, el cual, hace alusión a la duración de un evento medido por un observador en su propio marco de referencia.

Otra forma de concebir el tiempo viene de la mano de la segunda ley de la Termodinámica, que hace mención al comportamiento de los sistemas naturales, los cuales tienden a evolucionar a estados de mayor entropía. Beléndez (1992), nos dice, “el segundo principio

de la termodinámica es analizar esta falta de simetría en la evolución de los sistemas naturales” (p.108). Debido a que la primera ley contempla la conservación de la energía en los sistemas y no muestra una distinción fundamental entre pasado y futuro en el movimiento individual de las partículas, no es posible saber si se mueven hacia adelante o atrás en el tiempo.

Estos diferentes abordajes pueden significar confusión para los estudiantes, al momento de enfrentarse a estas teorías, por lo tanto, es importante establecer las relaciones conceptuales que ayuden a una mejor comprensión del concepto de tiempo.

Al iniciar su proceso educativo en el sistema de educación básica y media, los estudiantes tienen un conocimiento previo que deriva de la experiencia. Una vez en el ámbito educativo, el primer acercamiento con los conceptos de tiempo, espacio y energía permite interpretar una realidad física bajo las relaciones que existen entre estos.

En la educación superior, en particular, los estudiantes que cursan una carrera en Física se enfrentan a todas estas miradas de la realidad bajo diferentes enfoques de una serie de conceptos, entre los cuales, se describe el tiempo en cada teoría de manera distinta, sin establecer una articulación entre una y otra, lo que genera una escasa comprensión sobre la naturaleza del tiempo. Esto presenta unos problemas epistemológicos en los estudiantes de ciencia, específicamente licenciados de Física en formación, ya que, al momento de abordar la Relatividad, la Mecánica cuántica y la Termodinámica, el concepto de tiempo no tiene una definición única, sino que, en cada teoría se tiene un tratamiento que difiere respecto a las otras; es por esta razón que cuando se aborda un concepto en el cual hay diversas interpretaciones pueden surgir confusiones, y es ahí donde, tener una buena comprensión al respecto permite ser más precisos a la hora de explicar este concepto, “La labor docente con estudiantes de diferentes niveles educativos nos ha permitido detectar serias limitaciones e incomprensiones en torno a la naturaleza epistemológica de conceptos” (Nuñez, 2007, p.1, p2).

Debido a que el concepto de tiempo ha venido cambiando en el transcurso de la historia con las nuevas construcciones de teorías físicas que tratan de explicar la realidad que observamos, y si bien los maestros en formación en el área de física están relacionados con este fenómeno, aún se preguntan ¿Qué es el tiempo? La descripción que cada teoría propone no puede

considerarse como una verdad absoluta que disipe las posibles inquietudes, con lo cual, esta incertidumbre permanece en las aulas de clase.

Otro aspecto importante por considerar es el concepto de *energía* y qué papel juega respecto a la noción de tiempo, la energía se aborda en cada teoría de una forma consecuente con las demás, desde la Termodinámica, la energía constituye un pilar fundamental que contribuye a la explicación de muchos fenómenos físicos, de la misma manera, la relación que pone de presente la Relatividad entre masa y energía, puede arrojar luz en la concepción de la geometría que provoca una masa en una región del espacio. La energía la podemos apreciar en todas sus formas, como una relación de proporcionalidad entre cantidades que se conservan en los sistemas, de manera que, haciendo referencia a los sistemas, surge la pregunta ¿existe una relación entre las transformaciones de la energía y la dirección del tiempo? Y ahora, ¿cómo extender estas relaciones en la teoría de la Relatividad y la Termodinámica? Esto con el fin de dar una mirada al tiempo en función de la energía de los cuerpos.

Con base en la problemática descrita, se propone la siguiente pregunta problema que se intentará resolver en el desarrollo de la investigación:

¿Cómo se abordan los conceptos de tiempo y energía en la Termodinámica y la Relatividad y cómo se establecen conexiones entre estos?

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar los conceptos de tiempo y energía a la luz de la Termodinámica y la Relatividad, estableciendo conexiones entre estos en el marco de los planteamientos que ponen de presente estas teorías.

Objetivos específicos

- Hacer una revisión bibliográfica que permita ahondar en los conceptos de tiempo y energía, que constituyen el objeto de estudio de esta investigación.

- Hacer un análisis comparativo respecto a la percepción del tiempo y la energía en diferentes teorías físicas, en particular, bajo los criterios de la segunda ley de la Termodinámica y la dilatación temporal que plantea la Relatividad.
- Elaborar una contribución propia respecto a la articulación de los conceptos de tiempo y energía, a la luz de las teorías abordadas.

JUSTIFICACIÓN

El tiempo y la energía son conceptos transversales presentes en las diferentes teorías que se abordan a lo largo de la formación de un licenciado en Física, con lo cual, se hace necesario profundizar en ellos y reconocer su interconexión y dependencia.

Con el ejercicio investigativo que se propone en este proyecto de grado, se espera aportar elementos que faciliten la comprensión de estos conceptos y subsanar la aparente fragmentación que conlleva su estudio, en el marco de diferentes espacios académicos. Esto resulta de crucial importancia si se tiene en cuenta que algunos estudiantes egresan de sus cursos de física con una noción confusa de algunos conceptos y muchas veces sin un aprendizaje significativo, ya que la educación tradicional está arraigada en un sistema educativo enfocado en transmitir conocimientos, es decir, el maestro enseña a sus alumnos lo que él aprendió en su formación y como lo aprendió, más no se tiene en cuenta el significado que los conceptos tienen para el individuo. Este problema es evidente en el campo educativo, al respecto, Zuleta, (1995) presenta el siguiente argumento en una entrevista en Educación y cultura.

En la educación existe una gran incomunicación. Yo tengo que llegar a saber algo, pero ese "algo" es el resultado de un proceso que no se me enseña. Saber significa entonces simplemente repetir. La educación y los maestros nos hicieron un mal favor: nos ahorraron la angustia de pensar.

Es por esta razón que una monografía como la que se pone de presente puede constituir un recurso importante para los maestros en formación de la licenciatura en Física, ya que puede ayudar a despertar el interés de sus futuros estudiantes cuando estén desempeñando su ejercicio profesional. En este orden de ideas, se propone relacionar conceptos que pueden ser

confusos al momento de analizarlos de manera aislada; en el caso del tiempo puede relacionarse con la energía, que de alguna manera resulta más familiar por la experiencia previa a través de los sentidos.

Finalmente, profundizar en los conceptos de energía y tiempo, bajo los desarrollos y formalismos de algunas teorías físicas, constituye un robustecimiento de la formación académica disciplinar y aportará, al autor de este ejercicio investigativo, valiosas herramientas en su futuro desempeño como Licenciado en Física.

ANTECEDENTES

Entre el material bibliográfico que se ha revisado, se señalan los siguientes trabajos de investigación, que constituyen un buen antecedente para el desarrollo de este trabajo.

Investigación llevada a cabo por el magíster Rolando Núñez Pradenas de la Universidad Nacional de la Plata en el año 2018; en su tesis doctoral “la noción del tiempo en la ciencia actual y su relación con la causación” muestra como el tiempo tiene algunas propiedades que son evidentes al momento de analizar procesos o cambios en los sistemas. Se menciona un flujo constante del tiempo donde se puede identificar fenómenos que están sujetos a la asimetría temporal. Pradenas menciona que, en el estudio de los procesos termodinámicos y la probabilidad estadística, las leyes que gobiernan el mundo microscópico de las moléculas y sus estados de movimiento, están regidas por la mecánica clásica donde se tienen en cuenta procesos reversibles; la dirección del tiempo no afecta en este sentido, la explicación de tal comportamiento molecular está sometido bajo la ley de la conservación de la energía.

El Trabajo realizado por Mikel Henda Gómez, licenciado de filosofía de la Universidad de Deusto en Bilbao, muestra como el tiempo está directamente relacionado con la evolución de los sistemas termodinámicos; en su tesis de maestría, El tiempo y la irreversibilidad de los procesos termodinámicos, hace un análisis de la segunda ley de la Termodinámica, precisa la importancia de tener en cuenta esta ley y como ella ayuda a comprender la dirección de los procesos en la naturaleza. También hace ver, como los sistemas físicos pasan de un grado

de orden a otro de desorden, pone en comparación la naturaleza del calor, el cual describe el sentido del flujo del calor que hay entre dos cuerpos en contacto y como este pasa del cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura, mostrando así una dirección y sentido privilegiado para este flujo. También se hace un análisis estadístico bajo el estudio del movimiento de las partículas según la teoría cinética de los gases.

METODOLOGÍA

La investigación que se realizó en este trabajo de grado es de carácter cualitativo, y fue desarrollada bajo la modalidad de monografía. Se hizo una revisión documental a fondo sobre las temáticas disciplinares que constituyen el objeto de estudio de la investigación.

Fue necesario establecer una estructura de análisis que permitiera organizar la información clasificando los temas de mayor relevancia, poniendo de presente los estudios de mayor profundidad sobre el tema que fue desarrollado durante este trabajo investigativo. La comparación de posturas de diversos autores que proponen ideas significativas alrededor de los conceptos tiempo y energía, fue de vital importancia para establecer una comparación entre algunas de las teorías abordadas.

El procedimiento de recopilación de información fue basado en libros de autores que aportaron con sus investigaciones al esclarecer algunos de los conceptos de esta investigación, también se consideró el análisis de las posturas de algunos documentos de carácter investigativo universitario y artículos de revista.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se pone de presente el punto de vista de varios autores que aportaron con el conocimiento adquirido en sus experiencias e investigaciones sobre el concepto de tiempo, las teorías formuladas a través de una construcción colectiva en el transcurso de la historia y como se conciben las nociones de tiempo y energía en algunos campos de la física.

2.1 El concepto de energía mecánica

En el transcurso de la historia, los avances en la ciencia han encontrado su auge en el conocimiento de la naturaleza, ya que adquiere relevancia la comprensión de los conceptos que le son asignados a los elementos que conforman esa gran maquinaria que denominamos sistemas de la naturaleza. Para estudiar esos sistemas y su funcionamiento, el hombre separa una parte del universo, aislándola para conocer sus propiedades y los elementos que lo componen. Todos los sistemas pueden ser susceptibles a ser estudiados, pueden ser abiertos o cerrados, en función de si existe, o no, transferencia de materia con el exterior; también pueden ser aislados, cuando no hay transferencia de energía. Para estudiar estos sistemas es necesario delimitarlos para disminuir las variables de estudio. Las características físicas que los sistemas poseen son de gran interés para comprender el comportamiento de todo el conjunto, y una de las características importantes de los sistemas es la energía.

En el siglo XVII el físico y matemático holandés Christian Huygens introdujo el concepto de la vis viva, según Huygens, en los choques elásticos entre dos cuerpos hay una cantidad que se conserva, él la llamó la vis viva (fuerza viva), aunque Descartes, Filósofo matemático y físico francés, la llamó cantidad de movimiento, pero el hecho fue que alrededor del análisis de los choques elásticos, existe una cantidad que se conserva en los fenómenos mecánicos. El concepto de energía fue introducido por el físico inglés Thomas Young en 1802, aunque carece de definición, se puede concebir como la propiedad que posee todo sistema para realizar cambios en sus estados, desde esta mirada, todos los sistemas se pueden caracterizar por medio de esta propiedad.

La energía es un concepto que se usa en todos los campos de las ciencias, en la física es de mucha utilidad para describir los cambios que se producen en un sistema y sus alrededores. Existen muchas clases de energía, algunos ejemplos son; la energía mecánica, la cual comprende la energía cinética y potencial, la energía térmica, la energía de los campos electromagnéticos, entre otras.

Si bien la energía se transforma al pasar el tiempo, la suma total siempre es la misma según la ley de la conservación de la energía, un ejemplo muy conocido es la relación de energía y trabajo, cuando un sistema está sometido a una interacción entre fuerzas no conservativas existe una transformación de energía mecánica a energía en forma de calor, aunque la energía mecánica haya disminuido, esa cantidad fue transformada en energía térmica. La transferencia de energía de un sistema que aplica una fuerza a otro sistema en el que se realiza trabajo se va transformando en cada proceso; parte de la energía que se utiliza para desplazar un objeto se convierte en calor cuando la superficie del objeto roza con la superficie sobre la cual está situado.

El calor generado por la fricción entre dos superficies en contacto es energía térmica que se disipa en el ambiente, pero el principio de conservación de la energía menciona que debe ser igual la energía al inicio del proceso como al final, esto significa que la energía que se emplea para mover un objeto debe ser igual a la suma del trabajo realizado más la energía que se disipa en forma de calor. En estos casos la energía mecánica no se conserva debido a la fricción, existe entonces algo llamado la degradación de la energía, pero esa cantidad va a otra parte, se debe transformar en otra forma de energía menos útil, como lo menciona Agudelo.

“Bajo el entendimiento energético de Leibniz, se observó que en las colisiones inelásticas la fracción de energía cinética, que desaparece en un sentido aparente, no se destruye, sino que se distribuye entre las partículas moleculares de los cuerpos: la supuesta pérdida de energía se debe a la transformación del movimiento perceptible de los cuerpos que chocan en energía interna, es decir, movimiento invisible a nivel microscópico” según Capek, (1965) (pg. 39) como citó (Agudelo C. 2015).

En las colisiones elásticas la energía cinética se transforma prácticamente toda en energía potencial en el instante exacto de la colisión y en el rebote vuelve a transformarse de nuevo en cinética, como es el caso de una pelota de goma que choca en una pared, la mayor parte de la deformación que ocurre en el choque, lo sufre la pelota de goma, y esta, debido a su material almacena energía potencial elástica que, al ser liberada devuelve la pelota en la misma dirección de donde vino, transformándose de nuevo en energía cinética.

La equivalencia entre energía cinética y trabajo permite ver la transformación de energía que pasa de un sistema a otro produciendo transformaciones en los estados de los sistemas. Las caracterizaciones de los sistemas implican un tipo de energía a estudiar. Agudelo (2015) afirma que:

las variables, como la velocidad, la posición, la masa y otras que se relacionen con la energía, se establecen en diferentes clases de representaciones que dan cuenta de las diversas manifestaciones de la energía y su conservación en los sistemas físicos aislados (p. 11).

Todos los sistemas aislados conservan la energía mientras no se genere un intercambio con el exterior o haya fuerzas disipativas, como es el caso de la fricción. El teorema de trabajo-energía nos muestra la relación que existe entre el trabajo neto realizado sobre un cuerpo y la variación de su velocidad, como este lleva una velocidad asociada en su desplazamiento y posee masa, lleva consigo energía cinética, por lo tanto, el trabajo total será:

$$W_{total} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = \Delta E_c \quad (2.1)$$

Como sabemos, para una partícula sometida a un campo de fuerzas, el trabajo total se puede relacionar con el cambio de la energía cinética del sistema, también podemos notar que en un campo de fuerzas conservativas el trabajo realizado en trayectorias cerradas es nulo, ya que es independiente de la trayectoria.

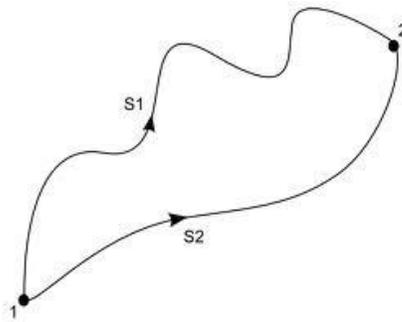


Figura 2.1 el trabajo realizado por fuerzas conservativas es independiente de la trayectoria que sigue el objeto. Solo depende de los puntos extremos del movimiento.

En presencia de fuerzas conservativas el trabajo no depende de la trayectoria sino de los puntos inicial y final, por lo tanto:

$$W_{1-2}^{S1} = W_{1-2}^{S2} \quad (2.2)$$

En este sentido, el trabajo realizado por la fuerza depende solo de la posición. (Benson. H, 2000).

Otra forma de energía que podemos observar en la naturaleza es la potencial. Existen varias clases de energía potencial, como la relacionada con la posición en el espacio, la cual, hace alusión a la energía almacenada por un cuerpo según la altura a la que esté situado, también dependerá donde se establezca el punto de referencia. Si un objeto incrementa su altura desde un punto de referencia fijo, y se deja caer, la energía cinética que puede alcanzar será mayor, y se evidencia al impactar un objeto en el suelo. Otra forma de energía potencial es la energía química, que surge del almacenamiento de energía de los enlaces químicos de las moléculas, la energía elástica debida a la compresión o estiramiento de un resorte dentro de los límites de la deformación, y la energía potencial eléctrica, la cual indica la capacidad que tiene un campo eléctrico en transportar una carga puntual de un punto a otro, esta energía está asociada a una configuración particular de un conjunto de cargas puntuales de un sistema definido.

Todas estas formas de energía potencial se transforman en energía cinética una vez son liberadas, la cantidad de energía que un cuerpo o sistema almacena puede convertirse en calor o en energía cinética, la suma de la energía potencial y cinética de los sistemas es lo que se conoce como energía mecánica.

La energía potencial que está asociada a la posición del objeto en el espacio depende del marco de referencia donde situemos los objetos. Es decir, si se quiere medir la energía potencial que posee un cuerpo ubicado encima de una mesa, va a depender de la altura de la ubicación de la mesa, de manera que la energía que almacena el objeto según donde esté ubicado será transformada en energía cinética a medida que cae.

La energía potencial gravitatoria cerca de la superficie de la tierra es la misma para todos los cuerpos que estén a la misma altura, pero dicha energía dependerá del sistema de referencia que usemos para ubicar el nivel cero para la medición. Es preciso aclarar que el cambio de la energía potencial es independiente de sistema de coordenadas escogido para medir este cambio.



Figura 2.2 el cuerpo que está ubicado en la mesa posee una energía potencial que disminuye a medida que cae por la acción de la gravedad hasta llegar al suelo en este punto es nula. Fuente: tomado de www.fisicalab.com

La forma en que se calcula la energía potencial, E_p depende de la posición respecto a la superficie de la tierra. Cuando E_p depende del campo gravitatorio, la intensidad se considera constante cuando el objeto se ubica cerca de la tierra y tiene el valor de g , para este caso la E_p dependerá tanto de la masa, la altura y de la aceleración de la gravedad.

$$E = mgh \quad (2.3)$$

Se puede encontrar una relación entre el trabajo y la energía potencial gravitatoria, por ejemplo, cuando aplicamos una fuerza para elevar un objeto de masa m cierta altura h estamos

ejerciendo trabajo sobre el objeto y aumentamos su energía potencial, en estos casos la energía que puede disiparse en forma de calor es mínima, ya que el rozamiento del objeto con las moléculas del aire puede ser despreciable, una vez el objeto alcanza cierta cantidad de energía potencial y es soltado en caída libre, la energía que acumuló en dicha posición se transforma en energía cinética que al impactar en una superficie se puede deformar y puede generar trabajo entre las partes involucradas en la colisión y también en forma de calor debido al impacto. Esto nos muestra que la energía está en constante cambio y sufriendo múltiples transformaciones a medida que pasa por los sistemas físicos.

Como el trabajo que realiza un campo de fuerzas conservativas sobre un objeto no depende de la trayectoria, podemos definir este trabajo en función de la variación de la energía potencial:

$$W = -\Delta U = -(U_f - U_i) \quad (2.4)$$

De manera que, si un objeto está en descenso, el trabajo hecho por el campo de fuerzas conservativas será igual a la disminución de la energía potencial de dicho cuerpo. (Tipler, 2001)

La conservación de la energía está asociada con un principio de simetría que viene dado por el teorema de Emmy Noether de 1918, el cual nos dice *“a cada simetría de una ley física hay asociada una ley de conservación”* en este sentido, toda ley de conservación lleva consigo una simetría intrínseca que da cuenta de las cantidades que se conservan en el universo.

“La asociación simetrías-leyes significa que si un sistema permanece el mismo bajo traslación espacial, el momento lineal en esta dirección se conserva; si el sistema permanece el mismo bajo una rotación de cierto ángulo, el momento angular se conserva; si las leyes que describen un sistema físico son las mismas ayer, hoy y mañana, es decir, son independientes del momento en que se realice una medida en el sistema, entonces la energía se conserva” (Sepúlveda A., Perpetuum mobile, 2013 citados en Agudelo, 2015, pág. 14).

Desde esta perspectiva, la simetría asociada a la energía es el tiempo, si las leyes que rigen un sistema físico permanecen invariantes ante la simetría temporal, la cantidad de energía total del universo permanece constante a pesar de sufrir diversas transformaciones, teniendo

en cuenta que el tiempo es un concepto intrínseco de las leyes de la física. Todo sistema regido por las leyes de la mecánica tiene una variable que da cuenta del posible estado del sistema, en un tiempo dado, aunque la ley de conservación de la energía no proporciona información de la dirección en que ocurre los procesos en la naturaleza, solo es un indicador que nos dice que hay una cantidad que siempre se conserva en todo sistema físico.

$$E_{mec} = E_c + E_p \quad (2.5)$$

Si el sistema está sometido únicamente a fuerzas conservativas, la energía mecánica se conserva, es decir, la suma de su energía cinética y potencial no varía durante la aplicación de las fuerzas.

En este sentido, la energía mecánica solo se conserva si sobre el sistema no se realiza trabajo, externo o interno, por fuerzas no conservativas. También se debe tener en cuenta que la medición debe darse en el mismo marco de referencia inercial, debido a que, para otros marcos, la energía medida arrojaría diferentes resultados, ya que la energía cinética depende de la velocidad. (Benson, 2000)

La energía está presente en todos los sistemas de la naturaleza, en el Sol también se producen reacciones en el interior que dan paso a una transformación de energía de los núcleos de hidrógeno y helio, este proceso recibe el nombre de fusión nuclear, este tipo de energía proviene de la interacción de los núcleos atómicos y está relacionada con la masa de las partículas.

En el marco de la teoría de la relatividad especial, Einstein encontró la relación que existe entre la masa y la energía de un cuerpo, que se encuentra en reposo expresado como:

$$E = mc^2 \quad (2.6)$$

La energía que todo objeto material posee es proporcional a su masa y está relacionada con la energía cinética del mismo, de este modo, la masa es una forma de energía según la relación encontrada por Einstein. Se debe considerar la importancia de no tener energías absolutas, más bien, las diferencias de energías, ya que se transforman constantemente de una forma a

otra. Una partícula experimenta la transformación de energía potencial a energía cinética y esto a su vez modifica la cantidad de movimiento de la partícula, generando una relación entre estas dos cantidades.

En el siglo XVII se realizaron los primeros estudios del fenómeno de la luz, Newton propuso que la naturaleza de la luz es corpuscular, es decir, que está compuesta de pequeñas partículas, este hecho fue verificado por Einstein en la explicación del efecto fotoeléctrico que le valió el premio Nobel en 1921. También se postuló la naturaleza de la luz como una onda electromagnética como lo propuso Tomas Young entre otros y que fue demostrado en un experimento en el siglo XIX. (Raymond A. Serway, 2009)

Se puede decir que la luz posee esta característica de dualidad onda y partícula. Para el siguiente análisis tomaremos la naturaleza corpuscular de la luz cuya partícula asignada es el fotón, esto, con el fin de analizar su cantidad de movimiento.

La fuerza también se puede entender como la variación de la cantidad de movimiento (P) para los cuerpos que estén en reposo relativo. Luego podemos ver que la ecuación (2.1) indica que la variación de la energía cinética es igual al trabajo realizado por fuerzas externas, es decir,

$$dE = Fdx = \frac{dp}{dt} dx$$

y, por tanto,

$$dE = vdp \tag{2.7}$$

Teniendo en cuenta que la velocidad de un fotón es c , podemos asociar la energía con su momento (cantidad de movimiento) de la siguiente manera:

$$E = cp \tag{2.8}$$

A partir de este descubrimiento se realizaron una serie de experimentos para comprobar esta afirmación, lamentablemente, esto fue verificado en 1945 cuando fueron lanzadas las bombas atómicas sobre las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. Esto fue desarrollado durante la segunda guerra mundial, en el marco del proyecto Manhattan, liderado por el físico estadounidense Robert Oppenheimer.

La Termodinámica también da cuenta de la conservación de la energía. En sistemas que pueden realizar trabajo a partir de la introducción de calor, como es el caso de los gases, si tenemos un gas contenido en un recipiente que posee una frontera móvil y aplicamos calor al sistema, este realizará trabajo como se observa en la figura 2.3.

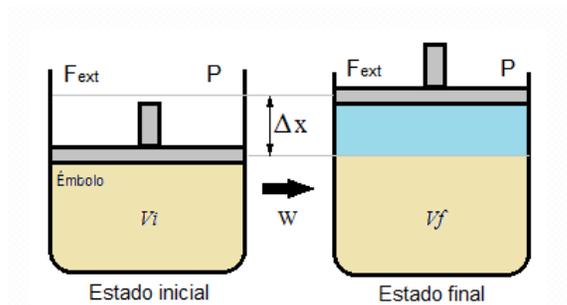


Figura 2.3 – El gas que está contenido en el recipiente se expande debido al calor suministrado del exterior y mueve el pistón una distancia Δx realizando trabajo positivo el sistema. Fuente: tomado de www.quimitube.com

El gas posee una energía interna que tiene que ver con la energía cinética de las moléculas que lo componen, en el caso de los gases ideales la energía interna U es determinada por las funciones de estado, presión, volumen y temperatura, por tal motivo, existe una relación entre el trabajo realizado, el calor suministrado y la energía interna que posee la sustancia, de modo que la primera ley de la termodinámica se puede expresar como:

$$\Delta U = Q + W_{\text{ext}} \quad (2.9)$$

Estableciendo que, hay dos formas de modificar la energía de un sistema: por transferencia de calor o por trabajo. El calor neto que se introduce en el gas varía la energía interna del sistema y este produce un trabajo en el émbolo, de manera que la cantidad de calor que absorbe el gas sirve para incrementar su volumen, ya que el gas se expande, esto hace que la presión sobre las paredes del recipiente aumente, para liberar el exceso de presión, el gas libera la energía absorbida realizando trabajo en la frontera móvil, de este modo, la energía sufre una serie de transformaciones, pero la cantidad total siempre será la misma.

2.2 Transformación de la energía

El principio en las transformaciones de energía que existen en la naturaleza y su conservación es la base para explicar muchos de los fenómenos que podemos ver a nuestro alrededor. Por ejemplo, un bombillo transforma energía eléctrica en luz y calor, la energía cinética que posee un cuerpo que cae por acción de la gravedad se transforma en calor cuando choca contra una superficie en el momento del impacto, un automóvil se mueve gracias a la combustión interna del motor transformando energía potencial química almacenada en el combustible y liberada por la combustión, generando una expansión del gas en la cámara que lo contiene y realizando trabajo en el émbolo y este a su vez conectado a otras partes mecánicas que mueven el vehículo.

Todos los mecanismos de la naturaleza obedecen a este principio siempre y cuando se trate de sistemas aislados, es decir, en los que no hay intercambio de materia ni energía entre el sistema y sus alrededores. Más adelante se analizarán las implicaciones de la disipación de la energía en sistemas abiertos, a partir de la segunda ley de la Termodinámica.

Los ciclos de la naturaleza están regidos por los cambios que la energía produce en los sistemas, el Sol calienta los mares y ríos creando nubes, la lluvia cae debido a las nubes que contienen agua, los árboles y la vegetación crecen produciendo alimento, los animales aprovechan la vegetación y los frutos para alimentarse, en fin, todo es una transformación constante a partir de las transferencias de energía, con lo cual, todos los procesos de la naturaleza están sometidos a este principio de la conservación.

Todo en la naturaleza sufre cambios debido a las transformaciones de energía de un tipo a otro, pero esto no quiere decir que siempre permanezca todo igual, es decir, que el estado inicial de un sistema sea el mismo que el estado final, nuestra experiencia nos ha enseñado que las cosas tienen un principio y un final, nosotros envejecemos, las cosas materiales se desgastan e incluso los átomos tienen un tiempo de vida definido, por lo tanto, es preciso reconocer el factor que da cuenta de los sucesos que no tienen marcha atrás, que es el tiempo, el cual es un concepto muy esquivo para los filósofos y científicos que han estudiado este enigma para tratar de comprender su naturaleza. Este es un concepto que aún está en debate entre la comunidad científica y es el punto que trataremos a continuación, en el siguiente ítem.

2.3 El concepto de tiempo en mecánica clásica

En física el concepto de espacio y tiempo ha sido tratado de diversas maneras, en las leyes de la mecánica el espacio es el escenario donde ocurren todos los eventos que vemos a nuestro alrededor y el tiempo se asocia con la medida cuantitativa de la duración de estos eventos; se puede decir que tanto el espacio como el tiempo son independientes de lo que ocurre con los objetos materiales. Las magnitudes físicas como la temperatura, la velocidad, la fuerza, entre otras dependen del tiempo (cuánto dura un proceso), este es un hecho innegable que rige los acontecimientos que podemos medir usando la variable temporal. Desde este punto de vista, el tiempo adquiere un sentido matemático útil para comprender las leyes del movimiento en la mecánica clásica. Aunque carezca de definición propia, el tiempo posee características que le fueron impuestas por Newton, como su carácter absoluto y matemático.

Esta visión del tiempo comprende ciertos rasgos teológicos para su interpretación, la idea de un tiempo absoluto para todo el universo implica que el intervalo de un tiempo t_1 a un tiempo t_2 será el mismo para todos los marcos de referencia, lo que quiere decir, que la duración de un minuto en la tierra es el mismo para cualquier otra parte del universo, esto va de la mano con la idea de un espacio absoluto, el cual implica que los objetos materiales se desplazan en un espacio estático e inmóvil, y el tiempo transcurre ajeno a los acontecimientos que ocurran. Desde la perspectiva de Newton.

“El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí mismo y por su naturaleza, fluye uniformemente sin relación a ninguna cosa externa, y se le llama, con otro nombre, duración: el relativo, aparente y vulgar es cualquier medida (exacta o imprecisa) de la duración, realizada sensible y externamente por medio del movimiento, la cual es usada vulgarmente en vez del tiempo verdadero: como la hora, el día, el mes, el año” (Newton, Escolio, Principia de la Filosofía Natural, 1687, pp. 3).

Una forma de considerar estas ideas es que Newton tenía como base la idea de un marco de referencia absoluto, si Dios es el creador de todo, el marco de referencia que podría observar el origen del universo y su evolución a través del tiempo y el movimiento absoluto de los cuerpos en el espacio era él. Con esta inferencia propuso esta visión de un espacio y tiempo que relaciona todos los fenómenos de la naturaleza, por ello, las leyes que regían los movimientos de los objetos en la tierra, los planetas, el cosmos y todo lo observable

indirectamente deberían relacionarse con el espacio (lugar donde ocurren los eventos) y el tiempo (duración de los eventos); por ello las ecuaciones de movimiento llevan implícitas la variable temporal, es aquí donde surge una interrogante, si el tiempo es ajeno a los fenómenos y sigue su curso normal, ¿por qué está implicado en las ecuaciones que predicen el comportamiento de los sistemas físicos a futuro?.

El carácter absoluto del espacio y el tiempo es difícil, si no imposible, de demostrar, ya que para percibir un movimiento en el espacio absoluto se debe tener un marco de referencia que no se mueva respecto a otro y esto aún no se ha podido demostrar porque todo en el universo está en constante movimiento. Nosotros percibimos el movimiento de un coche con ayuda de dos puntos de referencia, el punto inicial y el final, un ejemplo puede ser dos árboles, pero a su vez el planeta se mueve alrededor del sol y este a su vez en torno a la galaxia, en fin, todo se mueve respecto a algo, y para describir el movimiento absoluto deberíamos sumar todos los movimientos aparentes. Analicemos el caso de las transformaciones de las coordenadas de Galileo.

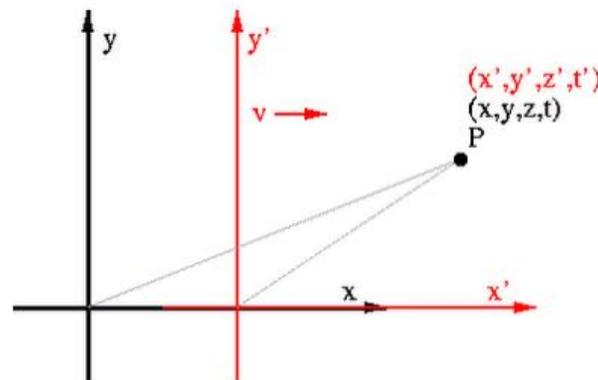


Figura 2.4 el sistema S' se mueve respecto al sistema S con una velocidad v_1 en dirección de x Fuente: tomado de www.elfisicoloco.blogspot.com

Supongamos que el punto P se mueve en el espacio, las coordenadas que examinan el movimiento del punto P en los sistemas de referencia S y S' están relacionadas por las reglas de transformación siguientes:

Sistema S'	sistema S
$x' = x - v_1 t$	$x = x' + v_1 t$

$$y' = y \qquad y = y'$$

$$t' = t \qquad t = t'$$

Ahora, si tenemos otro sistema llamado S'' que se esté moviendo a una velocidad v_2 en la misma dirección x respecto a S' , las coordenadas del punto P quedarían de la siguiente manera:

sistema S''	Sistema S'	sistema S
$x'' = x' - v_2 t$	$x' = x - v_1 t$	$x = x' + v_1 t$
$y'' = y'$	$y' = y'' = y$	$y = y' = y''$
$t'' = t'$	$t' = t = t''$	$t = t' = t''$

Teniendo en cuenta que el sistema S es el que está en reposo, podemos calcular las coordenadas de P en el sistema S en términos del sistema S''

$$x = x'' + t(v_1 + v_2) \qquad (2.10)$$

Siguiendo esta lógica y si sumáramos más sistemas que se mueven en el marco de S'' , encontramos que para dar cuenta de un movimiento absoluto en un marco de referencia inercial y que esté en absoluto reposo deberíamos sumar todas las velocidades de los marcos de referencia que estén en movimiento unos respecto a otros.

La siguiente expresión permite calcular el movimiento absoluto respecto a S en un número ilimitado de marcos de referencia que lo contengan. Para simplificar la notación se han cambiado las comillas por el número correspondiente.

$$x = x^n + t(v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n) \qquad (2.11)$$

Nótese que el tiempo t es el mismo para todos los marcos de referencia, lo único que varía son las velocidades de cada marco inercial, de manera que si S contiene a S' y este a su vez contiene a S'' hasta llegar a S^n todos los movimientos estarán contenidos en S, en el cual se mide el movimiento total del punto P en el intervalo de tiempo absoluto, Δt que sería el mismo para todos los marcos en movimiento.

Si bien, el tiempo absoluto es independiente y va en una dirección, los fenómenos que describe la mecánica clásica están sometidos a la inversión temporal, si imaginamos una mesa de billar y una bola que vaya de un extremo a otro podemos calcular su velocidad, posición final e inicial, cantidad de movimiento y otras características, ahora si invertimos la dirección del tiempo la bola irá desde su posición final a la posición inicial y el movimiento en la dirección temporal negativa sería indistinguible de la otra, también las cantidades medidas serían las mismas en una dirección o en otra, lo cual indica que las leyes de la mecánica clásica poseen una simetría temporal, de manera que lo que da cuenta del sentido del tiempo es nuestra experiencia y la razón. Pradenas (2018) menciona;

“Las leyes de la física parecen ser esencialmente simétricas en el sentido en que cualquier interacción que ocurra en una dirección puede ocurrir en la dirección opuesta. Las leyes de la física parecen ser ciegas a la dirección del tiempo, por lo que satisfacen una T-simetría, lo que evidencia un problema central en la física sobre la asimetría presente en la segunda ley de la termodinámica” (p.24)

Las leyes que rigen los sistemas que son aislados funcionan con la propiedad de inversión temporal, gran parte de la obra de Newton, en su Principia Matemática, hace uso del tiempo como una variable infinitesimal que da cuenta de la evolución de los sistemas mecánicos de la naturaleza y las razones de cambio en los estados de estos, otra forma de entender esta idea, es que el tiempo es un sin número de sucesiones de un estado a otro o como lo llamó Leibniz “el orden de coexistencias” lo que causó un fuerte debate sobre la naturaleza del tiempo, entre Newton y Leibniz, ya que tenían puntos de vista diferentes, (Arab, 2012)

El concepto de infinito no posee sentido físico si lo aplicamos al tiempo desde la perspectiva de Leibniz, donde el tiempo es parte fundamental en las leyes de la mecánica, pero no es un ente que interactúe con la materia. La idea de un tiempo infinito es muy útil para los cálculos matemáticos, pero carece de sentido físico, ya que para la mente es inconcebible un intervalo de tiempo infinitamente grande o pequeño, lo que podemos pensar es que el tiempo, el espacio y la materia tuvieron un inicio desde el punto de vista de la teoría del big bang, esto indica que todo surgió desde un punto infinitamente pequeño y se expandió con gran velocidad en todas las direcciones, de allí, la idea de que el tiempo para la evolución del universo es el mismo en cada parte del espacio y los intervalos deben ser iguales para todo observador.

2.4 El concepto de tiempo desde la Relatividad Especial

Una de las revoluciones más importantes de la historia de la física es la teoría de la relatividad especial en la que Albert Einstein hizo grandes aportes en 1905, esto implicó refutar las ideas de Isaac Newton y la concepción de un tiempo y espacio absoluto. Todo empezó cuando Einstein pensaba en los fenómenos electromagnéticos y las leyes que los rigen, si las ecuaciones de Newton podían describir un fenómeno desde diferentes sistemas de referencia, y cuyo resultado fuera invariante ante las transformaciones de un marco a otro, entonces las leyes de la física deben tomar la misma forma en todos los marcos de referencia. Las ecuaciones de la mecánica newtoniana presuponían que el espacio y el tiempo eran magnitudes absolutas, sin embargo, este esquema era incompatible con la relatividad especial, cuya idea principal afirmaba que cada observador, dependiendo de su velocidad, tenía un tiempo local y un marco espacial diferente. (Vélez, 2015)

Un fenómeno que es interesante para este fin es descrito por Einstein en el artículo “*sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*” publicado en 1905. Esta idea plantea un ejemplo que pone a prueba las leyes de la mecánica.

El experimento consiste en un imán que se mueve cerca de un conductor que está en reposo, de manera que produce un campo magnético en las inmediaciones del conductor, cuya energía potencial está implícita en el campo que genera el imán, pero si es el conductor el que se mueve respecto al imán, el cual está en reposo, hay una fuerza electromotriz donde no se percibe una energía asociada. Estos resultados inquietaron a Einstein porque, si las leyes de Maxwell que vienen de un fundamento mecánico, deben ser las mismas para todo observador, tal y como lo indica uno de los dos postulados de la relatividad especial que nos dice; “*todas las leyes físicas son válidas para todos los sistemas de referencias inerciales*” esto significa que todo experimento que se haga en un marco de referencia en reposo, no debe discrepar en sus resultados de uno que vaya a velocidad constante, de manera que fue necesario replantear las ideas de Newton respecto a un espacio y tiempo absolutos.

En el artículo de 1905, Einstein hace un análisis del concepto de simultaneidad, este es un primer acercamiento a la nueva concepción del tiempo, con esto, da cuenta de que un evento no puede ser simultáneo en todos los marcos de referencia inerciales, apoyado con el experimento de Michelson y Morley donde los resultados que se hallaron constituyen la constancia de la velocidad de la luz que dice, “*la velocidad de la luz en el vacío es igual para todo marco de referencia inercial y tiene un valor de 299.792,458 km/s y es independiente del estado de movimiento del observador*”(Vélez, 2015, pp. 54).

Partiendo de este postulado analicemos el caso de dos relojes A y B que se sincronizan por medio de una señal lumínica, los relojes se encuentran a cierta distancia uno del otro, el aparato que emite la señal está ubicado en medio de ambos relojes, asumiendo que la señal lumínica viaja a la misma velocidad en ambas direcciones es posible sincronizar el reloj A con B, ahora, si queremos saber si un evento es simultáneo para ambos relojes vamos a sincronizar en $t = 0$ en ambos sistemas donde S será el reloj A y S' será el reloj B, luego diremos que S' se acerca a S con una velocidad v y se emite una señal lumínica cuando S se sincroniza con S' en $t = 0$ como se muestra en la Figura 2.5

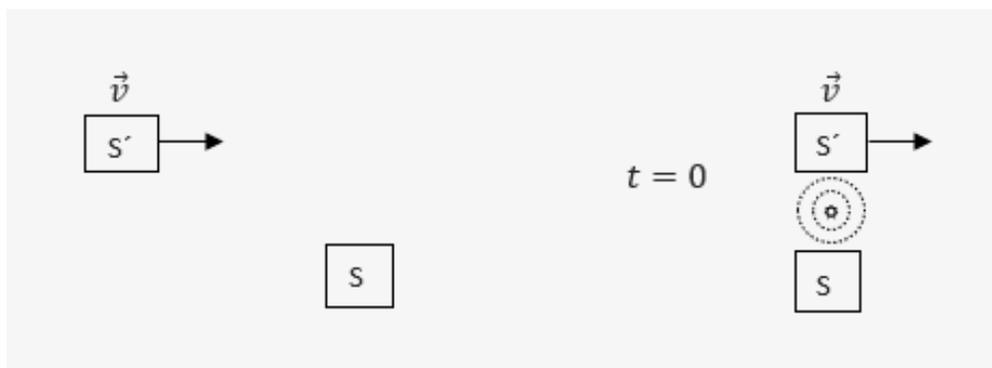


Figura 2.5. cuando los centros de los sistemas S y S' coinciden se emite un destello de luz, el sistema S se encuentra en reposo y el sistema S' se mueve a una velocidad uniforme v , ambos relojes marcan cero cuando los centros coinciden.

Cada sistema tiene dos detectores de la señal lumínica ubicados a la misma distancia del centro del sistema, llamaremos C y D a los detectores del sistema S de la misma manera E y F serán los detectores del sistema S' cuando los centros de S y S' coincidan la señal será emitida en el tiempo $t = 0$, los detectores de cada sistema serán activados cuando la señal llegue a ellos y los observadores de cada sistema verán cuando se activan los detectores desde sus marcos de referencia, como se ve ilustrado en la figura 2.6.

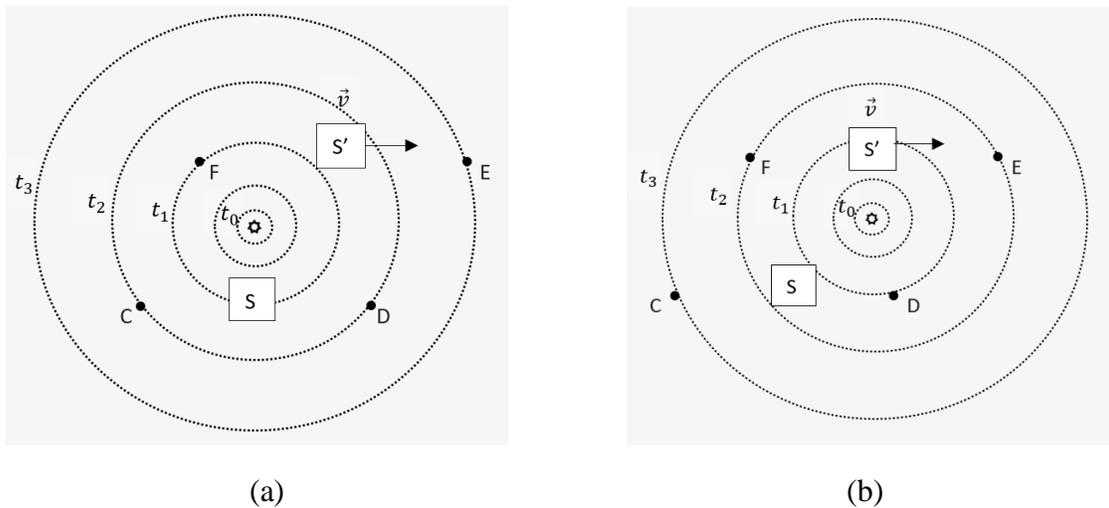


Figura 2.6. En la figura (a) el marco de referencia S percibe que el destello de luz alcanza los detectores F y E de S' en tiempos t_1 y t_3 pero los detectores C y D de S se encienden en t_2 de la misma manera en la figura (b) S' observa que los detectores C y D de S son alcanzados por la onda de luz en los tiempos t_1 y t_3 pero los detectores F y E de S' se enciende en t_2

Desde el punto de vista del observador S los detectores en ambos sistemas de referencia se encienden en tiempos diferentes, lo mismo sucede con S' , los marcos de referencia perciben el mismo fenómeno diferente, los detectores (C D F E) no se encienden de manera simultánea, esto nos lleva a pensar que los eventos que surgen en el universo ocurren en diferentes momentos si los marcos de referencia no comparten el mismo estado de reposo. De manera que los eventos que son simultáneos para un observador en estado de reposo no son simultáneos para otro observador que se mueve respecto a su marco inercial, lo que indica que el concepto de simultaneidad para eventos separados es relativo (Vélez, 2015, pp. 71).

Analicemos dos relojes, los cuales son fotones que rebotan en dos espejos ubicados en la parte superior e inferior, como se muestra en la figura 2.7 el sistema S' se mueve a velocidad constante y S se encuentra en reposo, lo que el sistema S observa, es que el fotón del sistema S' recorre una mayor distancia debido al desplazamiento, por tanto, S percibe que el reloj de S' tiene un retraso respecto al suyo, de manera que la frecuencia que S' lleva, será menor a la de su propio reloj.

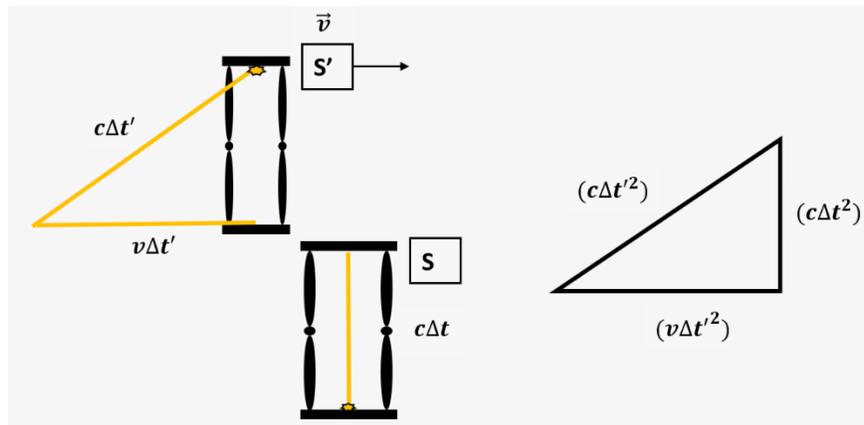


Figura 2.7. Se observa las trayectorias de un fotón que rebota entre los espejos que contiene cada reloj en la parte superior e inferior, uniendo la trayectoria $c\Delta t'$ del fotón de S' junto con el desplazamiento $v\Delta t'$ del reloj de S' y la trayectoria $c\Delta t$ del fotón de S , obtenemos el triángulo que se observa a la derecha.

Cada uno de los marcos de referencia mide el ritmo del reloj de su propio marco, esto se conoce como tiempo propio, este tiempo es el que cada observador mide en el mismo sitio donde ocurre un evento, para conocer cómo se relacionan estos marcos de referencia, es necesario ver los intervalos de tiempo que cada uno de los relojes de S y S' miden y como están relacionados con el triángulo que se forma entre el recorrido del fotón del marco S' y el fotón del marco S , junto con esto la distancia recorrida por S' .

Respecto a la figura anterior, la relatividad del tiempo se deduce a partir del teorema de Pitágoras:

$$c^2\Delta t'^2 = v^2\Delta t'^2 + c^2\Delta t^2$$

$$(c^2 - v^2)\Delta t'^2 = c^2\Delta t^2$$

Factorizando y dividiendo por c^2 en ambos lados de la ecuación tenemos que, la relación entre intervalos de tiempo que cada uno de los observadores mide se describe por las ecuaciones de transformación de Lorentz para el tiempo propio que mide cada uno respecto al otro.

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.12)$$

Para tener una equivalencia entre marcos de referencia inerciales, es necesario introducir el factor de corrección de Lorentz para tener concordancia con el postulado que dice: *las leyes de la física deben ser invariantes ante el cambio de coordenadas para todo marco de referencia inercial*,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.13)$$

Nótese que para velocidades $v \ll c$ el valor de, $\gamma \approx 1$ de modo que, para la vida cotidiana, los efectos son despreciables, ya que las velocidades que los sistemas alcanzan son muy pequeñas en comparación a la velocidad de la luz.

Uno de los experimentos que comprueban el fenómeno de dilatación temporal, fue realizado por J.C. Hafele y R.E. Keating del observatorio naval de Estados Unidos en 1971, el experimento consistió en sincronizar dos relojes atómicos, uno se ubicó en el laboratorio terrestre y otro en un avión comercial, se comprobó que cuando el avión dio una vuelta a la Tierra, el reloj que se encontraba en movimiento se retrasó unos nanosegundos. (Vélez, 2015)(pp. 78).

Debido a que los marcos de referencia S y S' están en movimiento entre sí, las medidas de tiempo cada vez son más diferentes, para valores de v próximos a c el valor de β se aproxima a 1, donde $\beta = v^2/c^2$, esto tiene grandes implicaciones en las ideas de tiempo, ya que sí $\beta = 1$ tendríamos una indeterminación. A altas velocidades comparando las medidas de tiempo hechas por un observador en reposo y otro en movimiento en sistemas inerciales, serán muy diferentes, en la teoría de la relatividad especial el tiempo siempre avanzará más despacio a grandes velocidades respecto a otro marco de referencia inercial, tal y como los describen las transformaciones de Lorentz.

Por tanto, si un sistema permanece en reposo respecto a un marco de referencia inercial, estará viajando en el tiempo a un ritmo relativamente normal junto con otros observadores que compartan el mismo marco de referencia, pero si el sistema empieza a moverse en el espacio, entre mayor sea su velocidad, más lento se moverá en el tiempo. Desde el punto de vista de un fotón, el tiempo no tiene sentido, el pasado, presente y futuro ocurren simultáneamente, es por ello, que todos los fenómenos del universo viven en su propio tiempo, como dijo Rovelli; *“La física no describe cómo evolucionan las cosas «en el tiempo», sino cómo evolucionan las cosas en sus propios tiempos, y cómo evolucionan «los tiempos» uno con respecto a otro”*. (Rovelli, 2017, pp. 12)

Si el tiempo propio de cada marco de referencia depende de su velocidad relativa, entonces la idea de tiempo absoluto de la mecánica clásica está en cuestionamiento, ya que la relatividad responde a muchos de los fenómenos que las leyes de la mecánica no, como el caso de los muones. Este fenómeno pone de presente cuestiones que no eran respondidas, sino después que surge la teoría de la Relatividad. los muones surgen cuando partículas de alta energía chocan con las moléculas de la atmosfera terrestre, esta es una partícula que tiene carga negativa y es 200 veces más masiva que el electrón, la vida media que tienen estas partículas es muy corta, mediciones hechas desde un laboratorio terrestre indica que es imposible que pudieran llegar a la superficie de la tierra, ya que se desintegrarían antes de lograrlo, según una muestra en reposo, el tiempo de vida media de los muones es de $1.58 \mu\text{s}$, la relatividad responde a este enigma realizando mediciones entre el tiempo en reposo y el tiempo en movimiento, esto se conoce como el experimento de Rossi y Hall. (Vélez, 2015).

Desde el punto de vista de la relatividad especial, el tiempo y el espacio hacen parte de la misma cosa, es un concepto que ha sido objeto de estudio por los físicos y filósofos desde eras milenarias, la teoría de la Relatividad nos presenta una perspectiva del tiempo que nos parece compleja. Ya que somos cuerpos con masa, en nuestra realidad podemos movernos en el espacio en cualquier dirección, pero en la dimensión temporal solo podemos movernos hacia el futuro, cuando vemos la luz de las estrellas que están en los cielos, vemos como eran hace unos años en el pasado debido a que la luz que fue emitida por cada estrella tarda un tiempo en llegar a nuestros ojos, también cuando vemos la luz que reflejan los objetos, vemos las cosas como fueron hace una fracción de segundo.

La relatividad nos muestra otra visión del concepto de tiempo y como este varía dependiendo el marco de referencia que lo mida, pero a pesar de que cada observador tenga distintas medidas del tiempo, sabemos que este fluye en una sola dirección, hacia el futuro, y todos los acontecimientos que ocurren en el universo tienen como base un hecho causal.

2.5 El principio de causalidad desde la relatividad especial

Todo fenómeno físico obedece a unas leyes que permiten identificar qué lo produjo, si tenemos un evento cualquiera denominado B, debe existir otro evento que lo produjo llamado A, de tal manera, que no puede ocurrir B antes que A, tanto la causa como el efecto están relacionados entre sí, lo que conecta estos dos puntos se denomina señal, pero existe unos parámetros de la velocidad de transmisión de la información que la señal debe seguir, dos eventos deben estar relacionados si la ocurrencia de uno provoca el otro, y la señal que conecta ambos sucesos está dado por una señal física, cuya velocidad de transmisión debe ser $q \leq c$, (Vélez, 2015, pp. 117-118). Llamemos a q la velocidad de la señal física que conecta dos eventos y c la velocidad de la luz, representaremos estas señales con el diagrama de espacio/tiempo en las líneas de universo de estas señales como se observa en la figura 2.8

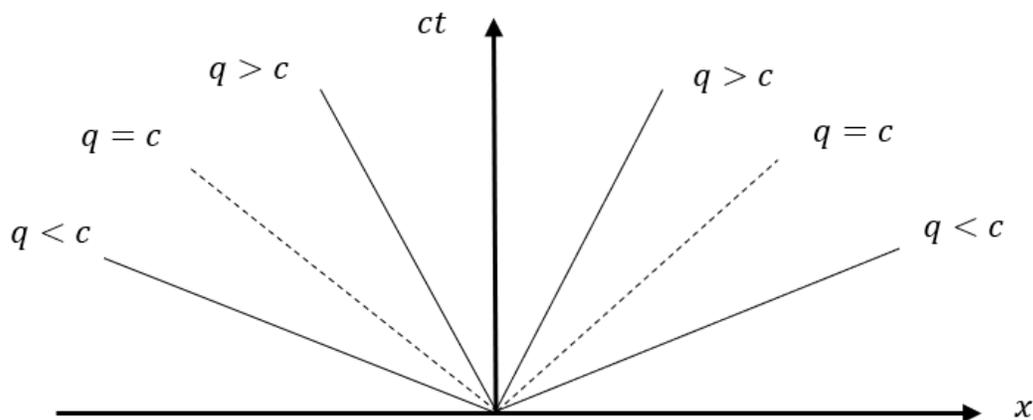


Figura 2.8. Señales que viajan a velocidades mayores que de la luz y velocidades menores o iguales a la velocidad de la luz.

Para eventos que estén relacionados entre sí, se observa que no es posible que la señal que los relaciona viaje más rápido que c , porque no cumpliría con el postulado de que nada puede viajar a velocidades mayores que la luz, es, por ende, que los eventos que estén conectados por medio de una señal física debe transmitirse bien sea a velocidad c o menor para establecer una relación causal.

2.6 El concepto de tiempo termodinámico

La percepción que tenemos del tiempo desde la cultura occidental, cuya influencia en gran parte del mundo se basa en la experiencia, vemos como los hechos ocurren desde el pasado hacia el futuro, nuestra lógica no permite concebir la imagen de que el efecto es antes que la causa, es por ello, que cuando los acontecimientos deben seguir un orden de sucesión correspondiente, las leyes de la mecánica newtoniana no diferencian una dirección privilegiada según deben ocurrir los sucesos de la naturaleza. Demos un vistazo a una bola de boliche mientras se desplaza en la pista de bolos, si tomamos una cámara de video grabando su trayectoria y luego queremos reproducir al revés la toma, encontraremos que no es distinguible entre el transcurso normal del video y su inverso, esto es lo que se llama “inversión temporal”, las leyes que rigen el movimiento de estas partículas individuales, como en el caso de las bolas de boliche u otros objetos, son invariantes a la inversión temporal.

Si contemplamos un conjunto de objetos que conforman un sistema complejo, vemos que su comportamiento tiende a un estado que pasa de una configuración ordenada a un desorden aleatorio, desde este punto de vista lo que se busca es analizar el comportamiento de lo macroscópico a partir de sus componentes elementales, de manera que la simetría temporal que se cumple para elementos individuales donde podemos despreocupar la fricción, no se cumple para el sistema en conjunto. El fluir del tiempo debe estar asociado a los sistemas que cumplen con la direccionalidad en los procesos a los cuales están sometidos, la direccionalidad en que ocurre los procesos de la naturaleza nace a consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, cuyo fenómeno de estudio corresponde a la flecha temporal ligada a estos procesos irreversibles.

En búsqueda de la eficiencia de las máquinas térmicas, Sadi Carnot en 1824 publicó sobre La potencia motriz del fuego, esto dio paso a muchos estudios alrededor de la naturaleza del

calor; seguido a esto, en 1850 un científico y matemático alemán, Rudolf Clausius, planteó las ideas que permitirían desarrollar la segunda ley de la termodinámica, con ello se generaría la primera y única ley en la física que permite diferenciar la dirección temporal en que ocurren los fenómenos naturales, en palabras de Carlo Rovelli.

Las leyes del mundo mecánico de Newton, las ecuaciones de electricidad y magnetismo de Maxwell, las de la gravedad relativista de Einstein, las de la mecánica cuántica de Heisenberg, Schrödinger y Dirac, las de las partículas elementales de los físicos del siglo XX, ninguna de estas ecuaciones diferencia el pasado del futuro. (Rovelli, 2017, pág. 16)

Por tanto, es importante revisar las limitaciones que tienen las teorías físicas para explicar nuestro mundo sin tener en cuenta el fluir del tiempo como algo real, las cosas tienden a envejecer y estar en constante cambio, aunque la primera ley de la termodinámica “la constancia de la energía” armoniza con las leyes de la mecánica, la segunda va más allá de los aspectos axiomáticos.

La relación que encontramos entre el calor y el tiempo es muy importante, ya que cuando hablamos de flecha del tiempo, el flujo de calor está involucrado, esta idea se puede asociar con la energía térmica que un sistema pierde en cada proceso a través de la fricción, tal situación no puede darse de manera inversa espontáneamente, ya que la degradación de la energía está presente cada vez que se hace uso de la energía de mayor calidad como la energía mecánica y se genera fricción en su transformación, esta energía no puede ser aprovechable totalmente, de tal forma que, es aquí donde la ley de Clausius nos dice “*el calor solo puede fluir en un sentido, del cuerpo de mayor temperatura a uno de menor temperatura*”.

La idea de que el tiempo tiene un sentido que va desde el pasado hacia el futuro tiene relación con la configuración inicial de un sistema y hacia qué configuración tiende. Si el sistema en un principio está ordenado, se tendrá la mayor probabilidad de encontrarlo posteriormente en desorden; es a este grado de aleatoriedad a la que llamamos entropía. la entropía de un sistema crece a medida que el sistema tiende al mayor grado de desorden posible, desde este punto, es poco probable que un sistema que tiene todos sus elementos en estados aleatorios transite a un estado con un alto grado de orden, debemos tener en cuenta, sin embargo, que el caso no es imposible del todo, ya que la probabilidad de que esto ocurra no es cero.

En los primeros instantes de nuestro universo las partículas que conforman toda la materia se encontraban en un bajo grado de entropía, y a medida que se expandía el espacio junto con toda la materia, la entropía total crecía, pero al pasar el tiempo la temperatura disminuyó y así las partículas pudieron juntarse formando elementos, disminuyendo así la entropía local en zonas del universo donde había acumulación de materia. Detengámonos a pensar en la formación de estrellas y planetas de nuestra galaxia, son sistemas organizados que con el tiempo llegan a una configuración más compleja y desordenada, aunque la entropía en algunos sistemas sea baja en comparación con otros, la entropía total del universo avanza a un estado de aleatoriedad y hacia una máxima entropía. Silvestrini menciona esta idea de la siguiente manera:

Si tomamos el estado de un sistema como punto inicial, es muy improbable que vuelva a ese mismo estado a menos que se le agregue energía del exterior, de manera que para los sistemas que no son aislados siempre deben dirigirse espontáneamente a los estados de mayor probabilidad, es decir, donde su entropía es máxima. (Silvestrini, 2000, pág. 39).

El teorema de Clausius (1955) establece que el calor fluye de un cuerpo más caliente a uno más frío y no al revés, esto aplica no solo a procesos cíclicos, sino también a cualquier proceso que ocurra en sistemas cerrados. Por tanto, la variación de entropía en un sistema debe ser o bien cero o positiva.

$$\Delta S \geq 0 \quad (2.14)$$

El universo y cada elemento que lo compone tiende a estar en equilibrio, es decir, que para todo sistema que tenga una temperatura asociada y esta sea mayor que la de sus alrededores, la configuración más probable es la homogeneización del conjunto completo, de manera que el calor fluirá de un sistema a otro siempre y cuando haya diferencias de temperatura; esta idea es crucial para precisar la semejanza conceptual entre el transcurrir del tiempo y el flujo de energía en forma de calor.

Si pensamos que el fluir del tiempo tiene un sentido que apunta desde el pasado hacia el futuro, lo único que puede hablarnos de este sentido temporal es la entropía, desde este punto de vista, Pradenas pone de presente la idea que tenía Arthur Eddington en su libro *The Nature of the Physical World* cuando menciona que:

Dibujemos una flecha arbitrariamente. Si al seguir la flecha nos encontramos cada vez más elementos de aleatoriedad en el estado del mundo, entonces la flecha apunta hacia el futuro; si la aleatoriedad disminuye, la flecha apunta hacia el pasado. Esa es la única distinción conocida por la física. Esto se deduce de inmediato si en nuestro argumento fundamental se admitió que la introducción de la aleatoriedad es la única cosa que no se puede deshacer. Usaré la frase 'flecha del tiempo' para expresar esta propiedad de un solo sentido del tiempo que no tiene análogo en el espacio. (Eddington, 1928, Pág. 69, como se citó en Pradenas, 2018)

Ya que el tiempo tiene una dirección privilegiada y apunta siempre hacia el futuro, podemos pensar que los acontecimientos de la naturaleza también ocurren en una sola dirección, la entropía nos da un acercamiento a entender el comportamiento del tiempo. Todos los sistemas físicos están sometidos a la segunda ley de la termodinámica y los elementos que los componen, por lo tanto, podemos identificar la relación entre la tendencia de la naturaleza al desorden y el tiempo con la dirección del pasado hacia el futuro.

CAPÍTULO III

EL TIEMPO Y SU RELACIÓN CON LA ENERGÍA

En este capítulo se analiza el funcionamiento de algunos instrumentos que nos permiten medir el paso del tiempo, como se transforma la energía en cada proceso para dar cuenta del movimiento y cómo se interpreta el transcurrir de un intervalo de tiempo. En torno al análisis de la energía necesaria para medir un segundo, se abordará la energía potencial gravitatoria que permite el funcionamiento del reloj de agua que usó Galileo en sus experimentos; también se analizan los relojes atómicos que permiten observar los efectos de la Relatividad en la medida del tiempo desde diferentes marcos de referencia inerciales. La segunda ley de la termodinámica nos permitirá indagar en las transformaciones de la energía y como se puede relacionar con el paso del tiempo.

3.1 La energía mecánica y la medición del tiempo

En los sistemas mecánicos existe una cantidad de energía que siempre está transformándose, cada estado del sistema posee una cantidad específica de energía en un momento dado. De acuerdo con Aristóteles, la medida del tiempo a través de los objetos es posible a partir de la idea de movimiento, ya que, si todo estuviera estático, no habría forma de determinar, o caracterizar el tiempo, entonces uno de los conceptos importantes a la hora de definir el tiempo en relación con la energía, es el movimiento de los objetos en el espacio.

Analicemos algunos de los instrumentos que nos permiten medir el transcurrir del tiempo, uno de los más usados por Galileo Galilei fue el reloj de agua, este mecanismo funciona a partir de dos compartimentos, uno de ellos en la parte superior contiene una cantidad de agua que pasa a través de un orificio al otro compartimento inferior, se realizaban marcas en el nivel inferior que permitían decir cuánto tiempo había pasado, el goteo indicaba un intervalo de tiempo que dependía de la abertura del orificio. Analicemos una gota de agua que pasa a través de un área transversal, la cual depende del diámetro del orificio por el cual pasa el líquido, nos interesa saber la cantidad de líquido que forma una gota y para ello, es preciso

conocer la tasa de flujo volumétrico por unidad de tiempo para cada líquido que atraviesa un área transversal.

Como el ritmo de goteo del reloj de agua depende de la abertura del agujero podemos precisar la cantidad de líquido que contiene cada gota de agua, de acuerdo con la densidad de cada sustancia es posible encontrar la relación entre masa y volumen para el caso del agua, por lo tanto, podemos decir que la densidad del agua es 1.000 Kg/m^3 , esto indica que para un litro de agua la masa es de un kilogramo, de manera que es posible determinar una proporcionalidad directa entre la masa y el volumen, con esto, es fácil analizar más detenidamente el proceso dinámico de cada gota en caída libre dentro del recipiente.

Si podemos modificar el área del agujero, tal que, cada gota posea un ritmo de caída entre gota y gota, es posible calcular la energía cinética de cada una al llegar a la base del compartimento inferior. Aplicando la segunda ley de Newton y suponiendo que la gota está afectada únicamente por la gravedad, la cual se considera constante, se llega a la siguiente expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} [m_{gota}(\vec{g}t)^2] \quad (3.1)$$

Si pensamos que cada gota transforma la energía potencial mgh en energía cinética, en un intervalo de tiempo de un segundo podemos apreciar la cantidad de energía que, en ese tiempo, se transforma para cada gota. Este análisis es exclusivo solo para el reloj de agua. Desde este punto de vista, demos un vistazo a lo que plantea la teoría clásica si ponemos ciertas condiciones al reloj de agua cuando cambiamos los puntos de referencia.

Tengamos en cuenta que el punto de referencia en el que se encuentra nuestro reloj de agua está sobre la superficie de la tierra, y que la atracción gravitatoria es igual a la misma altura sobre el nivel del mar, pero observemos la ecuación de la gravitación universal de Newton como se indica a continuación:

$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2} \hat{r} \quad (3.2)$$

Esta ecuación hace referencia a la fuerza de atracción que existe entre dos masas, M_1 y M_2 ; la intensidad de la fuerza dependerá de la distancia r a la cual se encuentren sus centros, si

tomamos a M_1 como la masa de la gota de agua y M_2 como la masa de la tierra la fuerza de atracción dependerá de la altura a la cual se encuentre el reloj respecto el nivel del mar, esto tiene implicaciones muy importantes, ya que el valor de g depende de la altura en que se encuentre el objeto y, por lo tanto, la velocidad también cambiará dado que está en función de g . En el siguiente gráfico podremos visualizar la situación.

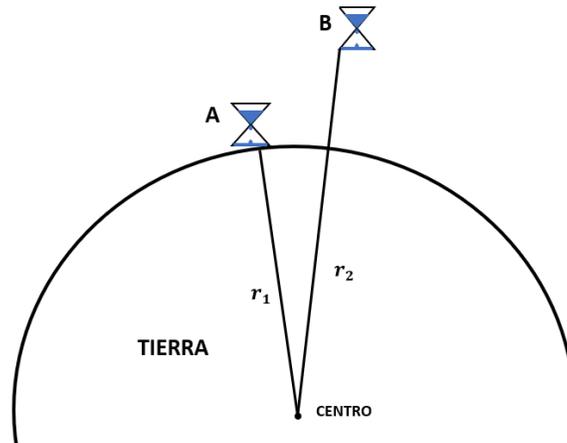


Figura 3.1. el reloj de agua A se encuentra a nivel del mar el cual marca un ritmo distinto al reloj B el cual se encuentra a una altura considerable.

Desde esta perspectiva el reloj A tendrá un ritmo diferente que el reloj B, ya que cada gota en B tardará más tiempo en llegar a la base del contenedor inferior, sabemos que entre más lejos se encuentre el reloj B del centro de la tierra, la fuerza que acelera cada gota de agua disminuye.

Supongamos que el reloj A se encuentra sobre la superficie de la tierra, donde el valor $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ y el reloj B se encuentra a una altura tal que $g = 4.9 \frac{m}{s^2}$ es decir, g se reduce a la mitad, si el intervalo de tiempo entre gota y gota del reloj A es de un segundo, podemos expresar la energía cinética de la siguiente manera:

$$E_{cA} = \frac{1}{2} [m_{gota}(\vec{g}t)^2]$$

Esta es la energía cinética que alcanza una gota en el tramo recorrido, veamos la forma que toma la energía cinética en el reloj B al finalizar el mismo recorrido.

$$E_{cB} = \frac{1}{2} \left[m_{gota} \left(\frac{1}{2} \vec{g} \sqrt{2}t \right)^2 \right] \quad (3.3)$$

Debido a que el valor de g se redujo a la mitad, la velocidad final que alcanza la gota para recorrer la misma distancia que en A dentro del contenedor, bajo estas condiciones, es muy diferente. Con esta perspectiva, podemos percibir una variación de la energía desde cada uno de los marcos de referencia A y B para cada intervalo de tiempo.

Examinemos lo siguiente, si E_{CA} es la energía que el reloj A transforma en un segundo, y E_{CB} es la energía que el reloj B transforma en un intervalo de tiempo de $\sqrt{2}$ segundos mientras recorre la misma distancia que en A, entonces, cuando pasa un segundo en el reloj A, en el reloj B debe pasar una cantidad de tiempo de $\sqrt{2}$ segundos. De manera que para cada segundo en A la energía en B es de, $E_{CA}/2$ esto nos lleva a pensar que, la energía que requiere B para medir un segundo en ese sistema de referencia es menor que la requerida por el reloj A.

Otro dispositivo de medir el tiempo son los relojes mecánicos, son uno de los inventos más fascinantes de la historia, ya que su funcionamiento encierra una ingeniosa configuración de mecanismos que al ser ensamblados nos permiten tener un conteo del pasar del tiempo. El funcionamiento de estos relojes es muy complejo y no se tratará con detalle en esta investigación, lo que nos interesa del reloj mecánico es su fuente de energía y su transformación al hacer funcionar este dispositivo.

Los primeros relojes funcionaban al aplicar fuerza para darles cuerda, los elementos que conforman estos dispositivos son, la fuente de energía, tren de rodaje, escape, órgano regulador e indicador de la hora, se debe aplicar una fuerza lo más prolongada posible al órgano regulador, ya que es este el que pone en marcha todos los elementos.

El camino que seguiremos a través de la transformación que sufre la energía, nace del momento que le damos cuerda al reloj, la energía que empleamos para este acto, viene de nuestros músculos, una vez el reloj posee esta cantidad determinada de energía, es almacenada en forma de energía potencial que conserva el muelle, el cual se enrolla de manera espiral, este muelle posee una cantidad pequeña de energía que se la transmite al oscilador, esta energía pasa por el tren de ruedas que disminuye la fuerza transmitida en la misma proporción según su tamaño y números de dientes, y a su vez las ruedas están

conectadas con el eje central donde se encuentran las agujas que marcan la hora del reloj, (Izquierdo, 2003).

El funcionamiento de este tipo de reloj también puede darse a partir de otras fuentes de energía, las pilas de cuarzo son una de las fuentes energéticas más usadas en estos dispositivos, esta pila alimenta al cristal de cuarzo con un campo eléctrico oscilante a través de un circuito eléctrico, el cual produce una cantidad de vibraciones por segundo y alimenta el motor que genera el movimiento en todos los elementos que componen al reloj.

3.2 El fotón y el tiempo propio

Si bien los relojes de cuarzo dependen de una fuente energética por reacciones químicas, existen otras formas de obtención de energía para llevar un registro del tiempo. Los dispositivos más interesantes son aquellos que pueden medir la variación del tiempo con la cantidad menor de energía posible, es indispensable concebir el tiempo como la observación del movimiento de los sistemas, cuanto energía es necesaria para generar un pequeño cambio en los estados de los sistemas de medición temporal.

Los relojes atómicos son uno de los dispositivos más exactos. El reloj atómico de Cesio utiliza el isótopo ^{133}Cs y usa su frecuencia de emisión para contabilizar el tiempo, su línea espectral está en la zona de microondas cuyas oscilaciones son del orden de 9,192,631,770 ciclos por segundo, esto llevo a considerar el Cesio como el reloj más preciso desde 1967, cuyo margen de error es de 1 segundo en 1.4 millones de años, desde entonces se considera esta medición casi perfecta, (Hamud, 2017).

Podemos saber la energía que emite el isótopo ^{133}Cs por cada segundo que pasa, tomando la frecuencia de emisión, que nos permite calcular la energía mediante:

$$E_f = hf \quad (3.4)$$

Donde E_f es la energía del fotón emitido, h la constante de Planck y f es la frecuencia de emisión, de manera que la energía emitida es:

$$E_f = (6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})(9,192,631,770 \text{ Hz}) = 6.09 \times 10^{-24} \text{ J}$$

Partiendo de que, cada segundo que pasa en el reloj atómico una cantidad de energía es emitida, es importante tener presente que, esta no será la misma que registra un observador que está en movimiento, igual si es la misma fuente la que se mueve, en estos casos se observará un aumento o disminución de la frecuencia con la que fue emitido el fotón, esto es debido al efecto Doppler, que consiste en la variación aparente de frecuencia de la señal emitida cuando hay movimiento relativo entre una fuente y un observador.

La cantidad de tiempo medida por el reloj atómico es el tiempo propio de ese marco de referencia, si otro observador se encuentra en reposo y el reloj se acerca a él con una velocidad constante, las ondas emitidas aumentan de frecuencia, dando así una percepción de aumento del ritmo del pasar del tiempo al comparar el tiempo enviado por la señal del reloj y el tiempo propio del observador. Por otro lado, si la fuente de emisión se está alejando con velocidad constante, el observador verá que las señales son registradas con menor frecuencia, lo que indica que tanto el tiempo como la energía emitida sufren cambios sustanciales.

Si un fotón es emitido con una frecuencia f_1 su energía de emisión está dada por $E_e = hf_1$ y un observador que esté acercándose al recibir la señal, la percibirá con una frecuencia mayor f_2 y, por lo tanto, la energía recibida será, $E_r = hf_2$ esto es lo que llaman el corrimiento al azul debido al aumento de su frecuencia; pero si el observador se aleja de la fuente emisora percibirá una disminución de la frecuencia emitida f_3 la cual indicaría que la energía recibida es de $E_f = hf_3$ que será menor que la emitida por la fuente, lo que se conoce como corrimiento al rojo, esto implica que la señal percibida por el observador respecto al tiempo y la energía del emisor, está siendo modificada en su desplazamiento por el espacio, para marcos de referencia que se mueven entre sí.

En la relatividad especial el concepto del tiempo toma una naturaleza relativa, es decir, depende de la medición de cada uno de los marcos de referencia. El reloj de cada marco de referencia registra el tiempo propio del observador que está en reposo junto al reloj, también otros observadores comparten este tiempo propio siempre y cuando estén en reposo con el mismo reloj; Tiempo propio entonces es la magnitud que mide un reloj dentro de cada marco de referencia y esa cantidad medida del tiempo es la que debemos usar en todas las leyes

físicas que se aplican dentro de cada sistema que comparten el mismo marco de referencia inercial.

Desde el punto de vista de la relatividad especial, todo observador que se esté moviendo respecto a otro, experimentará una dilatación del tiempo proporcional a la velocidad de desplazamiento en el espacio, es en este punto donde surge una cuestión que permite imaginar una situación paradójica, si tenemos un sistema S en reposo y otro está en movimiento a velocidad constante S', cada uno medirá el transcurrir del tiempo con un ritmo diferente.

Los sistemas S y S' poseen relojes que emiten fotones con la información necesaria que permite tanto al sistema S ver el tránsito del tiempo del sistema S', del mismo modo que S' recibirá la información del paso del tiempo del reloj de S; siendo esta la única manera física de saber el ritmo al que pasa el tiempo, de un marco de referencia a otro.

Lo descrito en el párrafo anterior constituye una paradoja, ya que no sabemos quién se mueve realmente, para ambos marcos de referencia, es el otro quien se mueve respecto al mismo, o bien se acerca, o bien se aleja. Si para S es el sistema S' quien se acerca, el fotón emitido por el sistema S' aumenta su frecuencia y su longitud de onda disminuye en el momento que es recibido por S, de igual manera, si se aleja S' la frecuencia disminuye y su longitud de onda aumenta al ser detectados por S, esto debe ocurrir de manera recíproca en el sistema S' al recibir señales de parte del sistema S, (Raymond A. Serway, 2009).

En cada marco de referencia, la frecuencia medida por un observador respecto a una señal emitida desde una fuente de frecuencia f , en un sistema cuya velocidad de desplazamiento es v , está dada por:

$$f_{obs} = \frac{\sqrt{1 + v/c}}{\sqrt{1 - v/c}} f_{fuente} \quad (3.5)$$

donde f_{fuente} es la frecuencia emitida y medida por su propio marco de referencia, esta ecuación muestra la forma de medir el corrimiento relativista en los marcos de referencia que emiten una señal, como se observa en la Figura 3.2.

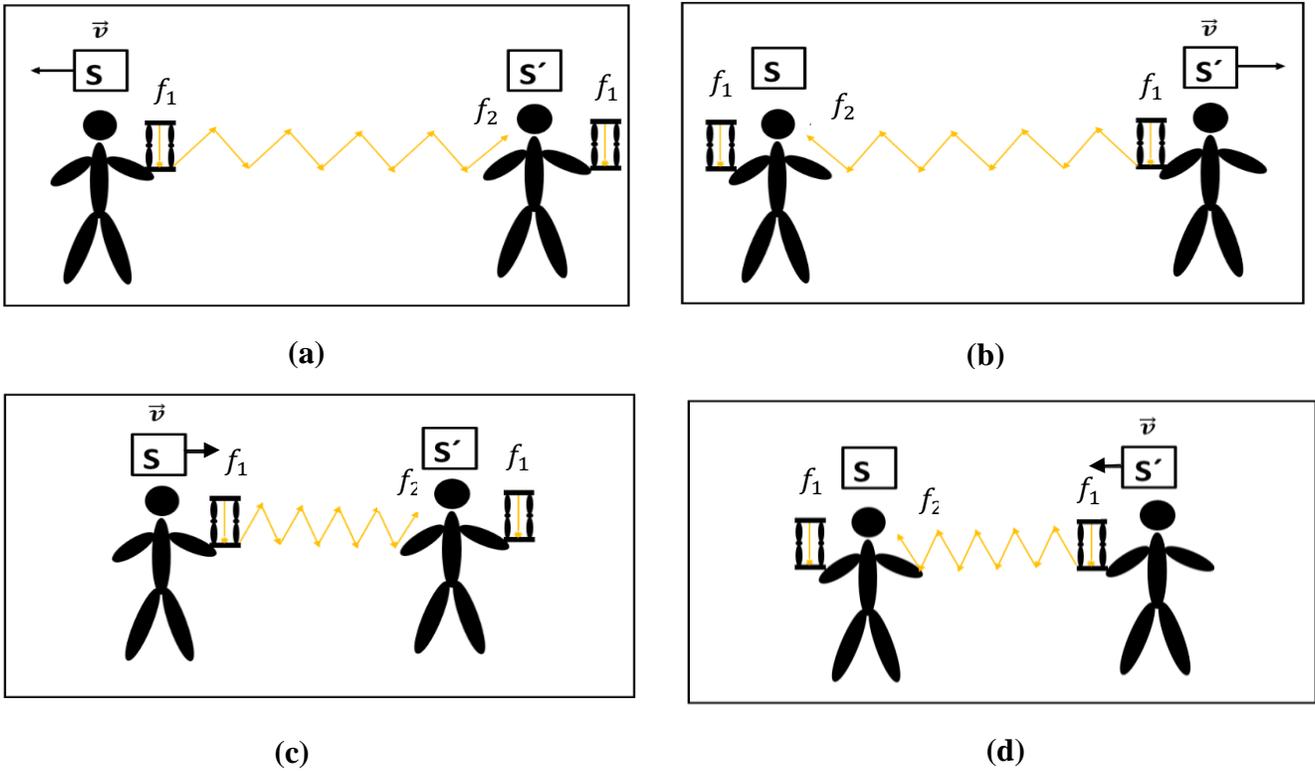


Figura 3.2. En la imagen (a) el sistema S se aleja de S' con velocidad v emitiendo un fotón que es percibido con una frecuencia, $f_2 < f_1$ en (b) es S quien percibe que el sistema S' se aleja con velocidad v emitiendo un fotón con una frecuencia que es percibida como, $f_2 < f_1$ en (c) S' percibe que S se acerca con velocidad v emitiendo un fotón con una frecuencia, $f_2 > f_1$ en (d) S percibe que S' se acerca con velocidad v emitiendo un fotón con una frecuencia, $f_2 > f_1$

Debe aclararse que la situación expuesta anteriormente solo se da mientras los sistemas S y S' estén en movimiento uno respecto a otro con velocidad constante, es decir, dentro de los límites de la teoría de la relatividad especial, esto indica, que ninguno de los sistemas fue acelerado, en otras palabras, la variación del momento en ambos sistemas es igual a cero.

$$\frac{d\vec{P}_S}{dt} = \frac{d\vec{P}_{S'}}{dt} = 0 \quad (3.6)$$

La relatividad especial indica que, para todo sistema que viaje a velocidad cercana a la de la luz, su tiempo se dilatará de tal forma, que tienda a cero, esto quiere decir, que para el fotón que viaja a velocidad c su tiempo propio debe de ser cero.

Debido a que los fotones siempre son emitidos a la velocidad de la luz en todas direcciones desde un cuerpo en movimiento, con el efecto fotoeléctrico explicado por Einstein en 1905, la interacción entre el electrón y el fotón es instantánea, no dura millonésimas de segundo

como contemplaba la física clásica, por lo tanto, el último momento interno del fotón, es el momento de su emisión instantánea. Desde 1905 sabemos que, para todo lo que viaja a la velocidad de la luz, su tiempo interno es cero, por lo tanto, no puede tener cambios internos porque nada se podrá mover dentro del fotón mientras viaja a la velocidad de la luz, ya que el fotón quieto no existe, cuando se detiene entrega toda su energía instantáneamente.

Si internamente nada puede cambiar dentro del fotón, el tiempo propio interno es cero durante toda su existencia, aunque externamente pasen miles de millones de años. La energía con que se forma el fotón es igual a la constante de Planck por su frecuencia interna de emisión, y esa frecuencia se mantiene hasta cuando el fotón pasa por los campos gravitacionales que encuentra en su camino hacia nosotros, aunque la trayectoria por las geodésicas del espacio curvado retarde su desplazamiento a diferencia de una trayectoria rectilínea, la cantidad de vibraciones que transporta no puede cambiar porque siempre viaja a la velocidad de la luz en tiempo propio del espacio donde circula, (Jassen, 2013).

Debido a que cada marco de referencia mide un ritmo de transición del tiempo diferente, la frecuencia recibida por el observador en reposo relativo será diferente al sistema emisor, ya que si un intervalo de tiempo Δt es el momento en que es emitido el fotón por S a una frecuencia ν_1 el intervalo de tiempo de recepción será $\Delta t'$ y su frecuencia que será registrada en ese intervalo de tiempo será ν_2 cuyo valor será mayor o menor que ν_1 dependiendo de, si se acerca o se aleja la fuente emisora.

Con la energía de cada emisión y recepción ocurre lo mismo, ya que la relación de frecuencia y energía están estrictamente ligadas para el caso de los fotones y son directamente proporcionales, si un fotón es emitido con una energía $E_f = h\nu_1$ en un intervalo de tiempo, Δt el efecto Doppler relativista indica que llegará al receptor con una energía $E_f = h\nu_2$ en un intervalo de tiempo $\Delta t'$ lo que indicará para el sistema receptor una modificación en la realidad física del sistema emisor, solo las ecuaciones de transformación de las coordenadas de Lorentz, permite relacionar ambos marcos de referencia sin insinuar un cambio en las leyes físicas que gobiernan cada sistema.

Si un fotón es emitido con una frecuencia, ν_1 podemos encontrar la energía de emisión usando la ecuación (3.7)

$$E_f = h \left(\frac{\sqrt{1 + v/c}}{\sqrt{1 - v/c}} f_{fuente} \right) \quad (3.7)$$

Esta es la energía con la que el fotón salió de la fuente emisora, todo observador percibirá distintas frecuencias, ya que la fuente y el observador se mueven entre sí, debido a que el espacio está en constante expansión, todo observador mide cambios en los intervalos de tiempo y cantidad de energía de otros sistemas diferentes a los propios del observador, la ley de conservación de la energía, nos dice que la energía transportada por el fotón permanece invariante, lo que indica que el fotón entrega la misma energía con la que fue emitido por el electrón de la fuente. Podemos ver que dependiendo de la energía que mide el observador, puede inferir el ritmo de como transcurre el tiempo de otros observadores, pero esto es una consecuencia del efecto Doppler relativista. Desde el punto de vista de la relatividad especial el tiempo depende del estado de movimiento del sistema respecto a otros sistemas, no se contempla la idea del tiempo universal, es cada observador el que mide el cambio en los sistemas que hacen parte de su mismo marco de referencia inercial.

3.3 La entropía universal y el tiempo unificado

Considerando sistemas en los que hay intercambio de energía con su entorno, se tiene que la energía intercambiada produce cambios, tanto en el sistema como en sus alrededores. Veamos qué pasa con la entropía en estos sistemas: En el caso de procesos no isotérmicos, si un sistema cede energía al ambiente, su temperatura disminuye, entonces, si el sistema posee baja temperatura, su estado es ordenado y su entropía mínima, mientras que la de su entorno aumenta.

Tomemos como ejemplo el caso del agua, es un sistema cuyos cambios de estado se deben al suministro o extracción de energía. El agua en estado sólido es un sistema muy ordenado, cuya estructura cristalina presenta patrones de simetría, estas formaciones tienen forma de anillos hexagonales, los enlaces entre moléculas generan una serie de estructuras complejas y muy variadas que se conocen como copos de nieve. (Silvestrini, 2000)

La formación de estas estructuras se da por la disminución de la entropía de este sistema, si suministramos energía al sistema, los patrones ordenados de los copos de nieve van

desapareciendo, tenemos agua en estado líquido. Las moléculas de agua en el líquido, aunque están juntas, no forman en el mismo patrón ordenado, su entropía aumentó al cambiar de estado, si continuamos suministrando energía al sistema, sus moléculas presentarán un comportamiento aún más caótico, en el caso que el agua está en estado de vapor, las moléculas poseen mayor energía interna que en los estados sólidos y de fusión. Pero, ¿qué paso con la entropía del ambiente?, disminuyó ya que el ambiente cedió energía al sistema.

De manera que la desigualdad de Clausius nos da un indicio de cómo cambia la entropía para sistemas irreversibles, donde la ecuación (2.14) indica el aumento o el invariante en el cambio de la entropía total. Esto significa que debemos tener en cuenta el cambio de entropía del sistema y sus alrededores para un proceso dado, de manera que:

$$\Delta S_{universo} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{entorno}$$

Si el proceso es reversible, ya que $\Delta S_{universo} = 0$ el calor que el sistema absorbe o desprende es utilizado para realizar trabajo, (Benson, 2000).

En un proceso donde el estado final es el mismo que el inicial, podemos usar de manera análoga la forma de la integral del trabajo realizado por un campo de fuerzas conservativas, ya que, en este caso no dependerá del proceso realizado, sino, del estado inicial y final, y obtenemos que la variación de la entropía en un proceso reversible tendrá la forma:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} \quad (3.8)$$

Nótese que la variación de entropía es una función que depende de la Temperatura y del Calor que el sistema absorbe o cede a los alrededores. Esta situación se presenta en procesos cuasi estáticos, donde los procesos son muy lentos, aunque en los sistemas de la naturaleza no ocurre así. Aun cuando el sistema vuelve al estado inicial y repite el ciclo, hay una pequeña pérdida de energía.

La entropía desempeña un papel crucial en nuestra comprensión del tiempo, y más concretamente en la dirección donde suceden las transformaciones de la energía. Si consideramos que todo sistema posee una energía interna, la cual depende de su temperatura T_1 y teniendo en cuenta que la temperatura T_2 de los alrededores es menor que la del sistema,

la configuración de mayor probabilidad es aquella en la que el sistema cede calor a su entorno. .

Luego tenemos que el flujo de calor irá en el sentido de la configuración con mayor entropía; por cada fracción de calor cedida al ambiente existe una configuración estática de la posición, velocidad y energía interna que cada elemento posee antes de encontrarse en otro estado, por lo cual se efectúa un pequeño e infinitesimal cambio de una configuración a otra, eso puede asociarse con una fracción infinitesimal de tiempo.

Ya habíamos visto que la energía se degrada al transformarse por el paso de un sistema ordenado a otro de desorden, podemos pensar en una cantidad de energía química E_q de una sustancia, por la transición en un sistema que realice trabajo transforma esta energía en energía mecánica E_m la cual al realizar trabajo será transformada en energía cinética E_k y después en otra forma de energía útil E_i ; teniendo en cuenta que la eficiencia nunca será del cien por ciento, es decir, no toda la energía química se usará para realizar trabajo ni toda la energía para realizar trabajo en energía cinética, sino que, también parte de esta es cedida al ambiente en forma de calor E_c . Supongamos que la cantidad de energía disipada en cada transformación es igual en todas las transformaciones y en cada transición es posible asociarle un intervalo de tiempo por el cual transita por el sistema realizando cambios en el mismo.

Para comprender como los sistemas generan cambios en sus estados, la primera ley de la termodinámica resulta de gran utilidad. Todo sistema posee energía interna que está relacionada con la energía cinética y potencial promedio de las partículas que lo componen, pero esta interpretación es útil en sistema con muy pocas partículas, ya que al tener sistemas de muchas partículas es mejor tomar los cambios de dicha energía, desde este punto de vista podemos apreciar el cambio de la energía interna de un sistema como:

$$\Delta U = Q + W \quad (3.9)$$

Donde Q es el calor cedido o tomado por el sistema, y W es el trabajo realizado sobre el sistema.

Es de vital importancia reconocer que esta ecuación nos permite cuantificar la cantidad de energía que un sistema absorbe o cede a los alrededores. El cambio de la energía interna

puede medirse solo examinando el estado inicial y el final como lo menciona, (Marcos Zemansky, 2009)

“El cambio de energía interna de un sistema durante un proceso termodinámico depende sólo de los estados inicial y final, no de la trayectoria que lleva de uno al otro”

Si bien la energía interna puede medirse en dos estados diferentes, en cada instante la energía fluctúa configurando los elementos del sistema en un momento en el tiempo. Si asociamos un intervalo de tiempo Δt a cada cantidad de energía que se transforma en este intervalo, obtenemos una relación de proporcionalidad, $\Delta U \propto \Delta t$

Durante el intervalo de tiempo Δt la energía va perdiendo calidad y es menos aprovechable, por ejemplo, la energía de movimiento tiende a transformarse espontáneamente en energía térmica, pero no viceversa, el calor fluye espontáneamente del cuerpo más caliente al más frío, pero no sucede al revés.

A partir de la ecuación (3.9) podemos observar que un cambio en la energía de un sistema implica una transformación de un tipo de energía más noble a otro menos aprovechable. El trabajo realizado sobre el sistema incrementa su energía interna, esto se produjo por medio de una energía cinética que se transformó en otra según la ecuación (2.1), entonces el incremento de la energía del sistema queda de la siguiente forma:

$$\Delta U = Q + \Delta E_k \quad (3.10)$$

Hay que tener en cuenta que si efectuamos trabajo sobre el sistema parte de la energía cinética se convierte en calor Q debido a la fricción y otro tanto incrementa la energía interna, de acuerdo con esto, la energía transformada se relaciona de manera proporcional con el intervalo de tiempo transcurrido, de la siguiente manera:

$$Q + \Delta E_k \propto \Delta t$$

Si en cada cantidad ΔU de energía transformada se necesita una cantidad de tiempo Δt para cambiar de estado, la cantidad de energía cinética ΔE_k se degrada en cada proceso hasta volverse completamente en calor, así sucesivamente, hasta que la energía transformada pase por todas las formas nobles de energía aprovechable luego tenemos:

$$\Delta U = nQ \quad (3.11)$$

Donde Q es la energía que se disipa en forma de calor en cada transformación, y n la cantidad de veces que la energía pasa de una forma a otra. Podemos relacionar todas las transformaciones energéticas con el tiempo total transcurrido como:

$$\Delta t = \Delta t_i + n\Delta t_c \quad (3.12)$$

El término Δt_i es el tiempo asociado a la cantidad de energía ΔE_k y $n\Delta t_c$ el intervalo de tiempo que requiere la cantidad de energía noble en volverse calor disipado por el sistema.

Si bien, la cantidad de energía que se disipa no es la misma en cada transformación, en una primera aproximación, podemos plantear que, si la cantidad Q varía en cada transformación, Δt_c también lo hará y esto dependerá de dicha variación. Por lo tanto, una cierta cantidad de energía que se transforma en forma de calor n número de veces que ΔE_k se transforma queda relacionado con un intervalo de tiempo de la forma:

$$nQ \propto n\Delta t_c$$

De forma que si un sistema pasa de un estado 1 a un estado 2 el mínimo cambio posible debe requerir el mínimo de energía posible para dicho cambio.

Cuando el sistema cede calor al ambiente debido a la diferencia de temperatura, donde el ambiente es más frío que el sistema, este tiende a alcanzar el estado de mínima energía y es aquí donde aparece un orden geométrico con sus elementos y las simetrías que caracterizan un estado de baja entropía. (Silvestrini, 2000).

Para aquellos sistemas que toman energía del exterior para realizar sus procesos, son sistemas que aumentan la entropía del exterior para disminuir su entropía interior. Es lo que sucede con los seres vivos. Son sistemas que, para realizar procesos complejos, necesitan un alto grado de orden en sus componentes individuales, toman energía radiante y la convierten en energía química, esto es algo difícil de comprender porque la energía en forma de calor es menos noble que la energía de los componentes químicos, pero esto sucede con las plantas en su proceso de fotosíntesis. (Silvestrini, 2000).

Es así como todos los seres vivos para su supervivencia transforman parte de la energía térmica del ambiente en energía noble que sirve para procesos metabólicos, aunque la

entropía de estos sistemas es baja, la entropía total tanto del sistema como de sus alrededores va en aumento. Si el cambio permite medir el paso del tiempo y si el flujo de energía depende de la diferencia de temperatura entre dos puntos, en el momento que ya no haya diferencia alguna, no se producirán cambios en los sistemas, y por esta razón no habría flujo de tiempo tampoco, no podríamos medirlo de ninguna manera, de modo que, se plantea que, cuando el universo alcance su punto de equilibrio térmico no habrá más tiempo.

Todo sistema necesita una cantidad de energía para realizar cambios, viéndolo como una variación muy pequeña de una configuración a otra, cada uno de estos cambios, tarda un intervalo de tiempo finito, debido a que cada sistema necesita energía para producir cambios, y la energía necesita una diferencia de potencial o de temperatura para fluir por el sistema, el comportamiento a largo plazo es que el sistema completo con todos sus elementos tienda a una configuración homogénea y las diferencias de temperaturas desaparezca, esto es lo que se denomina la muerte térmica del universo, es decir, que alcanzará la misma temperatura en todas partes y tanto la energía como la materia se desvanecerá en sus componentes más pequeños quedando en un estado perpetuamente estático.

CONCLUSIONES

En el contexto de la mecánica clásica la idea de tiempo absoluto es muy cercana a nuestra experiencia diaria, y pensamos que cada uno de nosotros hace parte del mismo espacio y tiempo, al igual que todo el universo; de cierta forma eso es verdad, ya que cada uno de los átomos en el universo comparte un mismo momento en la existencia. El tiempo de evolución del universo contempla esta idea de tiempo universal. todo comenzó en el mismo instante que nació el tiempo, el espacio y la energía en el big bang y desde entonces y hasta hoy ha pasado un tiempo para todo lo que existe.

Debido a que el intervalo de tiempo que mide un observador en un marco de referencia inercial, es el mismo para varios observadores que comparten el mismo marco de referencia, no se considera la idea de intervalos de tiempo distintos, todos comparten el mismo tiempo. Cada sistema percibe el pasar del tiempo de la misma forma que cualquier otro sistema en cualquier lugar del universo sin importar su estado de movimiento. Esta situación puede presentar algunas cuestiones importantes para tener en cuenta. La posibilidad de que el tiempo corra al mismo ritmo para sistemas de referencia que se encuentran a diferentes velocidades entre sí, e incluso a velocidades muy altas. Si un sistema acelera para aumentar la velocidad, está siendo propulsado por una fuente de energía que modifica su momento y esto produce un cambio en las características del sistema, pero como la medición del tiempo depende de los artefactos, es posible que exista una variación en la medición del tiempo también.

Es importante señalar también que, el artefacto de medición del tiempo que depende de la energía potencial, como el caso del reloj de agua, presenta una idea de variación de los intervalos de tiempo cuando la energía varía también, si bien los sistemas comparten un mismo momento en la existencia, la variación de la energía en los instrumentos de medición del tiempo también genera variación en los intervalos temporales.

Ahora, las ideas de un tiempo relativo que pone de presente la teoría de la relatividad especial nos dan una perspectiva difícil de evidenciar en lo cotidiano, ya que nuestra forma de percibir el tiempo en los sistemas inerciales no varía de manera significativa debido a las velocidades tan bajas en comparación a la velocidad de la luz, y esto nos permite concebir que, para sistemas carentes de masa como el fotón el pasar del tiempo es una idea inconcebible. En la

relatividad especial, el espacio-tiempo es uno de los grandes misterios de nuestro universo y consiste en una estructura matemática que contiene todos los objetos y fenómenos. Como la velocidad de la luz siempre es constante, sea cual sea la fuente o el movimiento del observador, Einstein propuso como solución una geometría llamada el espacio tiempo de Minkowsky para explicar eventos que ocurren en un espacio y un momento dado en el tiempo. La constancia de la velocidad de la luz en todos los sistemas de referencia inerciales permite concebir la idea de que la velocidad ralentiza el pasar del tiempo, la visión de nuestro universo depende del observador, de su masa y las velocidades; para alguien que viaja al 90% de la velocidad de la luz el tiempo pasa más lento en relación con otro que viaja al 1%, aunque en esencia los perciban igual.

Es por esta razón que la dilatación temporal se vuelve muy significativa a altas velocidades, si un sistema como el fotón carece de masa y es el único cuerpo con capacidad de moverse a la velocidad de la luz, es posible pensar en la idea que nuestro mundo material tenga la propiedad de existir en el espacio durante un intervalo de tiempo, ya que para objetos sin masa el pasar del tiempo no existe, solo para partículas con masa tiene significado hablar de tiempo y es precisamente de lo que está formado nuestro cuerpo.

Debido a que somos observadores dentro de nuestro propio sistema temporal, no podemos percibir el ritmo de cambio del tiempo de otros sistemas que se mueven a diferentes velocidades con respecto a nosotros, la única manera en que podemos tener conocimiento de los demás sistemas es por medio del fotón, que transmite la energía con la cual fue enviado y nos da información del estado del sistema emisor respecto a su tiempo propio. En el caso del reloj atómico, la frecuencia de emisión depende del nivel de energía en que se encuentre el electrón en el átomo de Cesio 133, de manera que para niveles más energéticos percibiríamos una mayor frecuencia y por ende mayor energía tendrá el fotón por unidad de tiempo.

Hemos visto que la energía se transforma en cada sistema produciendo cambios en sus estados, la semejanza entre la dirección que la energía sigue en cada transformación y el transcurrir del tiempo es muy similar. El aumento de la entropía condena al universo a evolucionar hacia estados más probables, esto quiere decir que, según las leyes de la estadística, es más probable el caos que el orden, hay muchas más combinaciones para

conseguir desorden que el orden, esto se aplica a todos los sistemas, la energía tiende a degradarse en cada proceso, y como hemos visto, una cantidad de energía transformada se relaciona con un intervalo de tiempo y la unidireccionalidad en que ocurre todo esto apunta hacia un futuro frío y estático.

Aunque las leyes de la mecánica clásica tienen en cuenta la simetría del tiempo, la verdad es que, la segunda ley de la Termodinámica es la única que describe una flecha del tiempo, los eventos que ocurren en el tiempo son irreversibles. Si un sistema está aislado en algún momento pasará a un estado de entropía mayor, no habrá sistemas clasificados y ordenados, toda la energía estará distribuida de forma uniforme, cuando hay diferencias de energía, se transfiere energía de un sistema a otro al igual que pasa con los seres vivos y las plantas, si no hay esta diferencia, todo se distribuye de forma uniforme al azar y llegaremos a la muerte térmica del universo y del tiempo.

La construcción de la idea de tiempo es plausible porque permite medir como cambian las cosas, aunque la naturaleza del tiempo es difícil de describir, es verdad que tanto la energía, el espacio y el tiempo empezaron en una singularidad inicial y también podrían tener un fin cuando el universo alcance su equilibrio térmico. Si bien los sistemas tienen un tiempo propio y su medición depende del estado de movimiento, es cierto que el sistema universal que contiene a todo el conjunto de sistemas, y a cada elemento que lo compone, también tiene un tiempo propio universal, la cantidad de energía que hubo al principio será la misma al final del universo según el primer principio de la termodinámica, lo único que cambia son las configuraciones instantáneas de cada elemento que lo componen, tanto, disposición en el espacio, posición espacio temporal respecto a otros elementos y energía térmica que posee en sí mismo.

La idea de tiempo que tiene lugar en cada una de las teorías abordadas presenta ciertas discrepancias que son evidentes en situaciones particulares, de manera que, si observamos la otra manera de concebir el tiempo en términos de la energía de los sistemas, puede que encontremos una manera de reconciliar estas teorías. Pensemos por un momento la energía que transporta el fotón, la cantidad con la cual fue emitido es la misma en el momento de entregarla al receptor, esto presenta una concordancia importante a tener en cuenta, la relatividad especial nos muestra que un fotón cuya velocidad es la de la luz, su tiempo propio

es cero, esta cuestión nos lleva a pensar que en el fotón no existe ningún cambio, ya que no hay flujo de energía dentro de él; como el tiempo se puede medir por medio del cambio en los sistemas debido a un flujo de energía, el fotón solo la transporta y por ende no hay tiempo que medir.

Si vemos al concepto de tiempo relacionado con una cierta cantidad de energía en transformación, puede que para las teorías que hemos abordado, encontremos una relación significativa y nos muestre una nueva visión de la naturaleza del tiempo. Si podemos determinar que el ritmo de transformación de la energía es el mismo en todos los marcos de referencia inerciales, entonces diríamos que el tiempo es proporcional a la energía que todo sistema posee para realizar cambios de configuración en los elementos que lo componen, y el ritmo de medición del tiempo depende de la diferencia de potencial energético entre dos puntos de un sistema.

El tiempo y la energía son conceptos que están fuera de nuestro conocimiento en su totalidad, pero el universo es un solo sistema y sus elementos están relacionados entre sí; el funcionamiento de cada sistema está en función de sus componentes fundamentales y nosotros hacemos parte del universo y podemos entender su evolución a medida que nosotros lo hacemos también. La energía pasa de un sistema a otro modificando a su paso todos los sistemas que interactúan con ella, esto sucede en un intervalo de tiempo y por supuesto ocurre en un lugar del espacio, entonces todo está relacionado entre sí, la vida es un proceso que ocurre en sistemas biológicos, que usa energía de los alrededores para funcionar de manera óptima, es la misma energía en forma de materia ordenada y vemos el pasar del tiempo mientras estamos conscientes y nuestro cuerpo produce cambios constantemente.

Puede que no podamos acceder al conocimiento completo de los conceptos que conforman la naturaleza, pero podemos establecer relaciones que nos sean comprensibles, tanto el tiempo no puede ser sin cambio alguno, la energía no produce transformaciones sin que pase un intervalo de tiempo, y nada puede ocurrir sin lugar en el espacio, es por ello por lo que todo se relaciona entre sí, en otras palabras “todo es uno y uno lo es todo”.

Bibliografía

- Agudelo, c. c. (2015). Orígenes de las Leyes de conservación como un principio unificador de las Ciencias Naturales. El caso de la invarianza de la energía en la física. *Orígenes de las Leyes de conservación como un principio unificador de las Ciencias Naturales. El caso de la invarianza de la energía en la física*. Medellín, Colombia.
- Benson, H. (2000). *Física Universitaria volumen 1*. México: COMPAÑÍA EDITORIAL CONTINENTAL.
- Bravo, A. A. (2007). *La energía; cambios y movimientos*. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación. .
- Gómez, I. R. (2017). El tiempo y su analogía con la noción de espacio en la filosofía de G. W. Leibniz. *Leibniz's noción of time and its analogy to his notion of space*. México: PENSAMIENTO.
- Gómez, M. H. (2011). *El tiempo y la irreversibilidad de los procesos termodinámicos*. Bilbao: Universidad de Deusto en Bilbao.
- Hamud, M. R. (2017). *Reloj atómico*. ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- <https://www.quimitube.com/wp-content/uploads/2013/04/embolo-movil-trabajo-expansion-compresion-gas.png>. (s.f.).
- Izquierdo, P. (11 de 2003). *Manual del Reloj Mecánico, Desmontaje y Montage*. Obtenido de Manual Pagemaker def: <https://centrorelojero.com/wp-content/uploads/2020/06/Manual-Reloj-Mecanico.pdf>
- Jassen, B. (2013). *Teoría de la Relatividad General*. Granada: Creative Commons.
- Lombardi, O. M. (2012). La ilusión del cambio en un universo relativista atemporal. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia, vol. XII*, Universidad El Bosque.
- Miranda, N. L. (2001). *Newton, Einstein y la idea de tiempo absoluto*. Distrito Federal, México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Ortiz, E. R. (2017). *Los conceptos del espacio-tiempo entre Newton y Einstein para la enseñanza de la física*. Bogotá: Tesis de maestría de la Universidad pedagógica nacional.

- Pradenas, R. N. (2017). *La noción del tiempo en la ciencia actual y su relación con la causación*. Buenos Aires: Universidad nacional de la Plata.
- Ralph H. Petrucci, F. G. (2011). *Química General*. Madrid: PEARSON.
- Raymond A. Serway, J. W. (2009). *Física para la ciencia e ingeniería*. México: CENGAGE Learning.
- Rovelli, C. (2017). *El orden del tiempo*. España: ANAGRAMA.
- Silvestrini, V. (2000). *Que es la entropía*. Bogotá: Cargraphis S.A.
- Tipler, P. A. (2001). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Reverte S.A.
- Vélez, F. (febrero de 2015). *Apuntes de relatividad*. Bogotá, Colombia.
- Zubiri, X. (2008). *El concepto descriptivo del tiempo*. Madrid: Alianza.