



**SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO EN EL SIGLO XIX: UNA  
MIRADA DESDE LA ENERGÍA CONTINUA Y DISCRETA**

Juan Camilo Lancheros Santamaría

Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Licenciatura en Física  
Bogotá D.C  
2020

**SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO EN EL SIGLO XIX: UNA  
MIRADA DESDE LA ENERGÍA CONTINUA Y DISCRETA**

Juan Camilo Lancheros Santamaría

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Licenciado en Física**

Director:

Mauricio Rozo Clavijo

Línea de investigación:

La enseñanza de la física y la relación Física - Matemática

Universidad Pedagógica Nacional

Facultad de Ciencia y Tecnología

Departamento de Física

Licenciatura en Física

Bogotá D.C

2020

*“Cuanto más comprensible es el universo, tanto más sin sentido parece también”*

*Steven Weinberg*

### **Agradecimientos**

*¡POR FIN! Este trabajo es un reflejo de cómo fue mi carrera. No la hice de manera continua, sino a saltos, de manera discreta en intervalos de tiempo que culmina en este trabajo que fue producto de mi formación influenciado por personas dentro y fuera de la universidad, estoy totalmente agradecido con ellos y serán mencionados. Gracias a:*

*La Universidad Pedagógica Nacional y al Departamento de Física por abrirme la única ventana para seguir adelante estudiando, principalmente esta gran ciencia que es la física que ahora la amo más aprendiendo y enseñando. Además, en influir a los jóvenes para cumplir sus sueños.*

*A mi familia, principalmente a mis papás y mis hermanas que, sumido en una oscuridad a punto de fracasar y no salir de ella, con su apoyo y cariño fueron la luz que me guiaron en este camino para seguir adelante y brillar por mi propia cuenta. Sin ellos, no podría tener el título de Licenciado en Física.*

*A todos los profesores que fueron parte de mi formación, en especial a mi asesor en el trabajo de grado el profesor Mauricio Rozo Clavijo, por compartir su sabiduría, sus críticas, observaciones, su paciencia para elaborar y culminar este documento. Además de su papel en mi formación docente. CARITA FELIZ.*

*A aquellas personas que conocí a través de la universidad fuera de ella: Katherine y Carolina que a partir de una simple práctica se consolidó en una gran amistad, trascendiendo con el paso del tiempo. Al Profesor Nelson Javier Torres Herrera que me dio otro motivo para enseñar física. Cada vez que vaya a un salón de clase, aparte de los libros y las calculadoras, llevaré una nariz roja recordando otra forma de enseñar esta ciencia.*

*Finalmente doy las gracias a aquellos compañeros que fueron parte de mi carrera, en un grupo de trabajo, en un partido de futbol o tomando tinto y cerveza. Por ustedes formé mi propio carácter, en especial a: Leonel Gordillo, David Camargo, Lorena Pedraza, Camilo Vásquez, Paula Bernal, Cristian Patiño y Cristhian Ramírez. Simplemente, gracias.*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
PREGUNTA PROBLEMA .....	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
JUSTIFICACIÓN .....	7
ESTADO DEL ARTE.....	9
<b>Estudios de contexto nacional.....</b>	<b>9</b>
<b>Estudios de contexto internacional.....</b>	<b>10</b>
METODOLOGÍA.....	12
CAPITULO II.....	14
SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO EN EL SIGLO XIX DESDE LA PERSPECTIVA CONTINUA DE LA ENERGÍA.....	14
EL CALOR COMO SUSTANCIA.....	14
EL CALOR COMO EQUIVALENTE MECÁNICO.....	15
MIRADA CONTINUA DE LA ENERGÍA .....	20
<b>Teorema de equipartición y problema del calor específico en gases.....</b>	<b>22</b>
<b><i>-Problemas del teorema de equipartición de la energía .....</i></b>	<b>25</b>
CAPITULO III.....	28
SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO VISTO DESDE LA ENERGÍA DISCRETA.....	28

MAX PLANCK: CONCEPCIÓN E INTERPRETACIÓN DISCRETA DE ENERGÍA. CONSECUENCIAS. ....	28
CALOR ESPECÍFICO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ENERGÍA DISCRETA .....	30
CONCLUSIONES .....	35
BIBLIOGRAFÍA .....	36
ANEXOS .....	41
ANEXO A: TABLAS DE MONTAJE Y FUNCIONAMIENTO DE LOS EXPERIMENTOS DE JOULE .....	41
ANEXO B: EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR DE ROBERT MAYER.....	42
ANEXO C:    CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS GASES A VOLUMEN CONSTANTE	43
ANEXO D: CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS GASES A PRESIÓN CONSTANTE....	44
ANEXO E: RESOLUCION DE MAX PLANCK SOBRE LA RADIACION DEL CUERPO NEGRO.....	45
ANEXO F: TEOREMA DE EQUIPARTICION A PROPÓSITO DE LA ENERGÍA DISCRETA DE UNA MOLECULA EN ROTACIÓN.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Robert Mayer.....	19
<b>Figura 2.</b> Hitos históricos del concepto de energía.....	20
<b>Figura 3.</b> Representación de una molécula diatómica rígida.....	25
<b>Figura 4.</b> Diagrama de dependencia del calor específico del H <sub>2</sub> con la temperatura .....	26
<b>Figura 5.</b> Representación de la distribución de energía discreta de rotación y vibración.....	32
<b>Figura 6.</b> Diagrama de dependencia del calor específico del H <sub>2</sub> con la temperatura .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabla de resultados teóricos y experimentales de la capacidad calorífica de gases monoatómicos y diatómicos .....	26
<b>Tabla 2.</b> Experimentos de Joule con la descripción de su estructura.....	41
<b>Tabla 3.</b> Experimentos de Joule con su respectivo funcionamiento .....	41

## INTRODUCCIÓN

Desde el panorama de la enseñanza de la física en educación básica y media en Colombia, se han desarrollado diversas perspectivas y modelos pedagógicos consolidados mayoritariamente a partir de las teorías aceptadas por la comunidad científica hasta finales del siglo XIX. En esa medida, resulta necesario considerar cómo se han discutido las teorías desarrolladas a lo largo de la historia de la física hasta el contexto actual, porque de cierta manera aún se discrimina en los contenidos curriculares los procesos de construcción de conocimiento científico más allá de la física clásica.

Por tal razón, el proceso investigativo desarrollado a lo largo de este documento pone de manifiesto en primera instancia, la situación problema sobre el hecho de cómo los docentes de formación primaria y básica de licenciatura en física han articulado las teorías de calor específico y posteriormente la concepción discreta de energía. Ahora bien, se eligió el análisis sobre mirada de varios pensadores del siglo XIX sobre el calor específico y su mirada desde la energía discreta, teniendo en cuenta que ha pasado más de un siglo desde que científicos entre ellos Max Planck publicaron sus teorías a su nombre sobre la mecánica cuántica (1900), abriendo una puerta no solo a la comprensión del mundo, sino que se dio paso al debate y desarrollo acerca de las teorías para la comprensión el mundo subatómico a través de la mecánica cuántica.

Para tal fin, se argumentaron tres objetivos específicos tales como resaltar los aspectos más relevantes que contribuyeron a las concepciones de calor, energía y su relación; posteriormente establecer las principales problemáticas que surgieron en el siglo XIX con respecto al calor específico y la energía continua y finalmente analizar la problemática del calor específico desde la visión de la energía discreta.

A su vez, la justificación del autor sobre la necesidad del desarrollo de la investigación va de la mano con el hecho de discutir la posibilidad de incluir en los pensum curricular, las revisiones históricas de los desarrollos científicos y tecnológicos, teniendo en cuenta que a pesar que la física clásica de Newton y Maxwell es ampliamente difundida en la aula clase, especialmente durante los dos últimos años de la educación media, aún queda relegado el periodo de la física moderna en la estructura de la malla curricular. Incluso, a modo individual el autor de este proceso



investigativo ha percibido en la práctica pedagógica el desinterés por parte de los estudiantes a la hora de investigar nuevos conceptos acerca de las teorías actuales de la física.

En esa medida, el contenido de este documento va desde el planteamiento del problema cuya pregunta de investigación es: ¿Cómo los docentes de formación inicial de la licenciatura en física pueden articular el fenómeno de calor específico a la concepción moderna de energía? Así mismo, el objetivo general es realizar un estudio histórico – crítico sobre los aportes dados por los pensadores del siglo XIX acerca el problema del calor específico y la concepción discreta de la energía.

Como parte del componente teórico se hace una recolección de autores que hablan acerca de estudios de referencia de literatura en el contexto nacional e internacional acerca de las diferentes propuestas alrededor de la enseñanza de la física moderna en las aulas de clase, y la concepción del concepto de energía a partir de los aportes de pensadores del siglo XIX.

En el primer capítulo se plantea la problemática en torno al uso deficiente de la historia de la física en los procesos de enseñanza, debido a que los estudiantes la abordan de una manera lineal y anecdótica; principalmente en los conceptos que hacen parte de la física moderna. Este capítulo se enfoca principalmente con el concepto de energía discreta a partir de las problemáticas del calor específico en el cual, los estudiantes están descontextualizados, asumiendo que la energía discreta surgió solamente a partir de las problemáticas de la radiación del cuerpo negro sin tener en cuenta otros antecedentes que ayudaron a concebir la energía discreta. Además, se delimita el problema y se establece los objetivos y metodología para la presente investigación.

En el segundo capítulo se presenta el contexto histórico sobre el problema del calor específico en el siglo XIX, comenzando con una pequeña introducción que habla acerca de las dos visiones que tenían los pensadores acerca de la naturaleza del calor: una visión sustancial y la visión molecular donde se relaciona con la energía y el trabajo. Posteriormente, se expone un análisis sobre las principales dificultades en torno al concepto de calor específico desde una perspectiva continua de energía cuestionando la concepción de esta durante el siglo XIX sirviendo como antecedente para la concepción discreta de la energía.

En el tercer capítulo se realiza un análisis del problema del calor específico a partir de la energía discreta, iniciando con los aportes de Max Planck para la concepción de esta, generando un cambio de paradigma en la cosmovisión alrededor del concepto de energía pasando de una visión continua de energía a una visión discreta. Posteriormente con la visión discreta de la energía se hace una explicación con la finalidad de dar una interpretación a la problemática del calor específico.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de los grandes avances que ha tenido la ciencia en los últimos siglos, el tratamiento que se ha dado en las aulas a los recientes modelos teóricos ha sido fragmentado e insuficiente, a tal punto que en los estudiantes no logran profundizar y reflexionar alrededor de ellos, especialmente en lo que respecta a la naturaleza del mundo físico. Sí bien es cierto, durante todas las etapas del desarrollo científico y académico se da cuenta de los graves inconvenientes que contemplan los programas académicos en cuanto al estudio formalizado de los saberes científicos; en la actualidad todavía se evidencia una desconexión de los currículos académicos que obliga al alumnado a tener una concepción separada entre las distintas asignaturas o temas dentro de las mismas asignaturas, como si fueran unidades aisladas en sí misma (Hernández & Prieto, 2000).

En lo referente a la construcción del conocimiento científico, autores como Carrasco, Hernández, Carrión, Arrieta y Díaz-moreno (2016) reflexionan acerca de la complejidad sobre la distinción de marcos teóricos para desentrañar elementos que concurren en lo educativo, ya sea por la dificultad de ilustrar complejidades concurrentes, deconstruir fenómenos, o aproximar la valoración recíproca entre quien enseña y quien aprende.

Cabe resaltar que sobre la construcción del conocimiento enfocado en la enseñanza de la Física Moderna, se mantienen ciertos retos vigentes que siguen sin mitigarse, de manera que se ubican estudios en la literatura en los que se afirma que en los programas oficiales hay un vacío en las propuestas concretas para la enseñanza en aula, debido a que “no se cuentan con ejemplos concretos para la transposición didáctica”(Di Laccio, 2018, p.25) de manera que los estudiantes carecen de la preparación académica y de métodos que validen el conocimiento adquirido.

Incluso, a pesar del gran desarrollo tecnológico y las diversas estrategias educativas soportadas en las Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC, no hay un vínculo robusto entre la transmisión no solo de información, sino en pasar las problemáticas a una situación actual, entenderlas y hacer una reflexión de ellas en la formación de física y el conocimiento de los conceptos científicos a partir de su evolución histórica, específicamente desde la trasposición didáctica en la enseñanza del concepto de energía a partir de las teorías del calor en el siglo XIX.

Lo anterior, teniendo en cuenta que el modelo pedagógico actual sigue siendo tradicionalista, en la medida en que los discursos de las sesiones magistrales van más enfocados a la memorización de una extensa línea de contenidos, los cuales son validados posteriormente, por pruebas estandarizadas que impiden variaciones propias del aprendizaje integral. En otras palabras, se descarta la percepción del estudiante frente a la física y los científicos, porque se predispone al educando sobre el quehacer científico como un oficio inalcanzable y apartado de la vida cotidiana (Figuroa & Orjuela, 2015).

Así mismo, sobre la concepción discreta de energía, fue hacia finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX donde había fenómenos que no podían explicarse desde la física Newtoniana, razón por la cual se presentaron fallas para demostrar eventos tales como la razón por la que los cuerpos se mueven a grandes velocidades, además de entender cómo se comportan partículas a pequeñas dimensiones, porque en ese momento solo se atribuía a un tipo de materia por el cual se movían las ondas electromagnéticas como la razón del movimiento y comportamiento de dichas partículas (Figuroa & Orjuela, 2015).

Ahora bien, según lo establecido por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2004) acerca de los estándares curriculares en las áreas de ciencias naturales, se vincula el concepto de energía a partir del aprendizaje de la física clásica, pero, algunos estudios como el de Rubio (2012) describen que de cierta manera los currículos chocan entre sí, puesto que “la conveniencia de introducir el concepto de trabajo antes que el de energía o viceversa” (p.2), a tal punto que muchos estudiantes confunden ambos conceptos debido a que separa la relación entre trabajo y energía, así mismo ocurre con el concepto de calor que lo relacionan de manera incorrecta con la fuerza, el movimiento, entre otros sin comprender su significado, lo que ocasiona dificultades para comprenderlo desde diversos contextos e incluso se “considera el calor como una forma de energía y no activar los esquemas de transformación, conservación, transferencia y degradación de la energía” (Rubio, 2012, p.2).

A pesar que la enseñanza de la mecánica cuántica ha tenido un crecimiento significativo en las últimas décadas, como una forma diferente del pensamiento clásico; la introducción en las aulas de clase de las escuelas colombianas no ha sido suficiente, puesto que la física clásica prepondera el sistema educativo actual, a tal punto que investigaciones como la de López (2014) inciden en la

falencia del modelo educativo, puesto que no se logra “hacer extensivo ese cambio de paradigma en las ciencias de la enseñanza de las ciencias en la escuela”(p.4), por lo tanto no se atiende la demanda de conocimiento actual.

Consecuente a lo anterior, los estudiantes con estas limitaciones presentan ciertas dificultades y vacíos al estudiar algún concepto relacionado de la mecánica cuántica, principalmente en su parte histórica generando miradas superficiales y confusas. Un ejemplo de estas dificultades está relacionado con la concepción de energía discreta (cuanto), ya que el estudiante asume que este surge únicamente del problema de la radiación del cuerpo negro sin tener en cuenta otros antecedentes que aportaron a este concepto como por ejemplo el calor específico en los gases (Pantoja, Moreira, & Elnecave Herscovitz, 2014).

Finalmente, se resaltan algunos de los aspectos que contribuyen a una visión descontextualizada de la física (García, Fernández, & Díaz, 2012), como los son:

- El modelo tradicional de enseñanza de la física en la educación superior y secundaria genera que los conceptos de aprendan de una manera aislada y desconectado de su contexto histórico.
- Tendencia de aprender los temas de la física como saberes operativos, promoviendo que los estudiantes matematicen los conceptos antes que comprenderlos.
- La realización de operaciones matemáticas, en ocasiones, es tan compleja que, tras esta, los estudiantes quedan aún más confundidos y se desvían de los conceptos científicos pasando del aprendizaje significativo a la realización de operaciones sin sentido.
- Durante el desarrollo de la materia científica pueden aparecer determinados aspectos históricos que son tratados sin un marco de contextualización correcto y sin nexos de conexión a través de los cuales el alumno se pueda formar una perspectiva global. El resultado final es la adquisición de una visión histórica deformada y soportada, en ocasiones, sobre concepciones y estereotipos erróneos (Hernández & Prieto, 2000).

## **PREGUNTA PROBLEMA**

¿Cómo los docentes de formación inicial de la licenciatura en física pueden articular el fenómeno de calor específico a la concepción discreta de energía?

## **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio histórico – crítico sobre los aportes dados por los pensadores del siglo XIX acerca del problema del calor específico y la concepción discreta de la energía.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Resaltar los aspectos más relevantes que contribuyeron a las concepciones de calor, energía y su relación.

Establecer las principales problemáticas que surgieron en el siglo XIX con respecto al calor específico y la energía continua.

Analizar la problemática del calor específico desde la visión de la energía discreta y su aporte para su concepción.

## **JUSTIFICACIÓN**

Para el docente en formación inicial en física, es de vital importancia buscar alternativas que posibiliten un mejor proceso de enseñanza-aprendizaje, no solamente en la parte matemática y teórica sino también en la parte histórica en lo que se refiere al estudio de uno o varios conceptos. El papel de la historia para la enseñanza de la física revitaliza los procesos de aprendizaje en particular porque al hacer uso de esta se tienen en cuenta elementos como: los antecedentes, el contexto y las problemáticas en torno a la concepción de ideas que deben ser de gran importancia al abordar un tema de física.

En este sentido ampliar el conocimiento de los hechos históricos que marcaron la evolución de la física como ciencia, brinda la posibilidad de tener mayor discernimiento de los conceptos

que fundamentan su estudio. De hecho, al exponer sus principios, sus avances y su concepción actual, genera una visión desde el contexto sociocultural en la medida que se reconstruye la investigación de aquellos que con su trabajo aportaron a la proposición de estas nociones para las bases científicas de la física.

En este sentido, las primeras nociones de física surgen de la observación de los fenómenos. A partir de esa reflexión Camelo y Rodríguez (2008) discuten los siguientes interrogantes: “¿Qué aportes puede brindar la historia de la física a la enseñanza de la misma? y ¿Cómo puede usarse tal historia para mejorar los ambientes que se dan en el aula de clase?” (p.67).

En esta misma perspectiva, no solo de los autores mencionados anteriormente sino de otras fuentes, se generan en la enseñanza de las ciencias aproximaciones significativas para entender la física de una manera más flexible y como una actividad que no responde a un único método. También como expone (Solbes & Tarín, 2008), la historia de la ciencia puede contribuir a crear actitudes más positivas hacia la ciencia, su aprendizaje y a facilitar que los estudiantes utilicen estrategias propias del trabajo científico, como el planteamiento de problemas, la observación, la generalización de conceptos, entre otros.

De igual forma, bajo la opinión del autor del presente documento se puede analizar que se hace necesario decir que la física como ciencia natural no solo es una modelación matemática netamente teórica, como tradicionalmente se ha enseñado en las aulas, sino que ha sido una elaboración crítica de los trabajos de mujeres y hombres a lo largo de la historia, y por supuesto de los productos de sus esfuerzos por generar explicaciones a problemáticas de un contexto específico.

Así mismo, los procesos de aprendizaje de las teorías científicas, en lo que se refiere a las ciencias, con un enfoque histórico, no se deben dejar de lado las problemáticas y los resultados de estas, pues estos explican de forma clara los diversos caminos en la construcción de hipótesis y conceptos, elemento clave para la comprensión hoy en día de las teorías científicas que estudian los docentes en formación inicial de la licenciatura en física, así como en la forma como se debe orientar el aprendizaje de esta, pues se puede constatar en estos estudios, que se construye

conocimiento en ciencias por ensayo - error, por imitación, además de no ser necesariamente por repetición y memorización.

En consecuencia, se inscribe este trabajo, que busca fortalecer otras miradas sobre el proceso de enseñanza a propósito de los problemas del calor específico junto con las miradas continua y discreta de la energía de dicha problemática. Finalmente, otras de las razones en las que justifica la investigación es que la enseñanza del concepto de energía discreta a la par de las problemáticas que antecedieron a la concepción de esta, son temáticas de investigaciones vigentes y de interés actual para los docentes de física en formación e investigadores en el campo de la enseñanza de las ciencias.

## **ESTADO DEL ARTE**

Entre los estudios analizados en el contexto nacional e internacional, se identificaron diferentes propuestas, entre artículos, trabajos de grado alrededor de la enseñanza de la física moderna en las aulas de clase, que me sirvieron para mi investigación acerca del uso de la historia, las visiones continua y discreta de la energía a propósito del problema del calor específico, en el cual se destacan los siguientes:

### **Estudios de contexto nacional**

En el contexto local, en lo que se refiere los estudios relacionados al uso de la historia en la enseñanza de la física son diversos en la literatura. Se destaca el estudio de Perea y Buteler (2016) desarrolló un análisis documental sobre las propuestas acerca del uso de la Historia de las Ciencias, a partir de la categorización de estrategias didácticas para lograr la atención y mejorar las condiciones favorables de enseñanza-aprendizaje.

Por ejemplo, entre los resultados expuestos por Perea *et. al* (2016) se presenta un modelo de enculturación en las prácticas pedagógicas en la enseñanza de física en educación media. Como estrategia, la enculturación propuesto por Perea *et. al* (2016) se basó en la incursión de los diversos conceptos que se han consolidado a lo largo historia sobre fenómenos físicos, cuyo punto de partir es el aprendizaje de los fenómenos asociados al electromagnetismo desde la definición epistemológica. Así mismo, la estrategia sugiere el apoyo de imágenes para que el estudiante



comprenda mejor los conceptos, en simultáneo con el uso de una línea de tiempo sobre las diversas teorías que se han consolidado para describir cierto fenómeno de la física. Por último, Perea *et. al* (2016) destaca el hecho que, durante la culturalización en la enseñanza de la historia de las ciencias en las aulas de clase, se hace necesario elaborar un enfoque sociocultural, en la medida que es considerada la estructura más poderosa para en la pedagogía de la física. No obstante, si bien la investigación usa solo conceptos asociados al electromagnetismo, permite adquirir elementos para mi investigación no simplemente en hacer una incursión de los conceptos relacionados al calor y la energía, sino ver sus problemáticas, pasarlas a nuestro contexto actual y reflexionar acerca de estas problemáticas que ayudan a la concepción de estas.

### **Estudios de contexto internacional**

En contraste con la revisión del estado del arte en el contexto internacional, se revisaron dos perspectivas en el contexto latinoamericano y europeo. En primer lugar, la literatura latinoamericana muestra por ejemplo el estudio de (Álvarez López, Jaimes Gómez, & Sánchez Moreno, 2018) llevado a cabo en México, a través del cual se realizó una propuesta para enseñar el concepto del campo gravitacional y electromagnético. Para tal fin, los autores hacen una revisión de la importancia de la historia de la ciencia por parte del docente, a modo de poder estructurar un esquema de presentación y transmisión de la información a los estudiantes de ciencia e ingeniería.

Es así como las propuestas didácticas analizadas incluyen aspectos del constructivismo ya sea desde el punto de vista conceptual como desde el conductismo. Sobre lo anterior, en el estudio se considera que ninguna de las dos corrientes considera a la historia y la filosofía como ciencia y parte fundamental de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

La reflexión que presenta Álvarez López *et al.* (2018) es acerca del hecho de encontrar que muy a pesar de que los docentes dominan una disciplina, carecen de conocimientos didácticos-pedagógicos para dictar un curso, por tanto, no se cuenta con métodos eficientes en la labor de enseñanza-aprendizaje. Bajo este antecedente, se especula un fracaso en la enseñanza de las ciencias, puesto que no parte de un amplio manejo de conceptos físicos, dada la carencia de contexto histórico de los temas.

A modo de conclusión, el estudio de Álvarez López et al. (2018) propuso la formulación de secuencias didácticas teniendo en cuenta los conceptos de campos eléctrico, magnético y gravitacional, entre los que se incluye la historia del descubrimiento de los fenómenos y las diferentes explicaciones dados por los científicos y estudiosos de interés. Dicha propuesta también integra experimentos sencillos, tales como el frotamiento de objetos o el uso de un electroscopio con el fin de inducir al estudiante en momentos reflexivos.

A su vez, en el contexto europeo se analizó un estudio llevado a cabo en Alemania a través del cual se presenta una revisión sobre los desafíos de los docentes de física al usar la historia y la filosofía en la enseñanza de la ciencia. Los autores de investigación son Henke y Höttecke (2015), los cuales investigaron las posibles razones de discrepancia por las cuales existe una baja implementación del uso de historia y filosofía en la enseñanza de las ciencias, porque todavía se evidencian prácticas pedagógicas en situaciones de enseñanzas cotidianas.

Entre los obstáculos más notorios mencionados por Henke y Höttecke (2015) es el diseño de estructuras educativas con enfoque tradicional, con enseñanzas centradas en el profesor, falta de conocimientos y habilidades profesionales de los profesores. Lo anterior se ve reflejado en escasas representaciones de historia y filosofía en los textos escolares y material curricular, además de actitudes, creencias incompatibles con la inclusión del contexto histórico y filosófico de los fenómenos.

No obstante, la revisión documental llevada a cabo por Henke y Höttecke (2015) está soportada en otros estudios en los que se demuestra que el uso de la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias, rara vez está incluida en la malla curricular porque en muchas ocasiones, los docentes no tienen idea de cómo enseñar bajo un contexto histórico.

Sobre la marcha, en el estudio de Henke *et. al* (2015) se consultaron a docentes para conocer cuáles son las demandas para que los docentes de física de una escuela secundaria de Alemania puedan incluir la historia y la filosofía en sus prácticas pedagógicas. Como solución, los docentes participaron en un curso sobre el uso de historia y filosofía en pedagogía para ciencias, en las que a través de anécdotas breves sobre la manera en que se piden a los estudiantes la presentación por

medio de carteles o diapositivas, sobre la biografía de un investigador, o los contextos culturales que preceden o influyen algún logro científico.

Finalmente, los resultados de la investigación de Henke *et. al* (2015) mostraron los hallazgos e inferencias sobre las principales dificultades en la enseñanza de la física, entre los que se destacan la falta de conocimientos pedagógicos y técnicos, además de la débil estructura sobre los modelos de instrucción para desarrollar las lecciones basadas en historia y filosofía en física, preocupaciones sobre la forma de pensar de los estudiantes, entre otras.

A partir de estas investigaciones, evidenciamos las falencias de usar la historia para la enseñanza de un concepto, haciendo entender que esta se usa de manera anecdótica y lineal para transmitir información. Esto permite en mi investigación usar la historia más allá de lo que menciona las investigaciones, hacer una reflexión alrededor de la problemática del calor específico en el siglo XIX que me permita mostrar las visiones continua y discreta de la energía.

## **METODOLOGÍA**

Al realizar un estudio de corte histórico crítico, para la enseñanza de conceptos asociados a la mecánica cuántica (en este caso la energía discreta), me permite retomar las problemáticas y posturas de algunos pensadores en cómo se concebía la energía en torno al calor específico a mediados del siglo XIX además de revisar la naturaleza del calor y la energía que se tenía concebida en esa época, ya que al hacer una recontextualización de saberes se busca darle sentido al contexto en el cual se abandonó la concepción continua de energía y se aceptó la concepción discreta a raíz de los problemas que no lograba explicar la física clásica en ese momento.

Ante todo, un estudio histórico crítico requiere de una gran rigurosidad e interpretación ya que esta se define como un ejercicio que permite revisar textos, artículos entre otros documentos originales de pensadores que dieron origen a las teorías que se estudian actualmente. Este tipo de estudio tiene como objetivo construir diálogos con los autores y revisar en detalle los problemas además de cómo abordaron aquellos investigadores dichos problemas en ese tiempo y como consecuencia dieron origen a sus propias respuestas; con la intención de recontextualizarlos, pasarlos a un contexto actual y ofrecer nuevas definiciones.

A su vez, en este tipo de estudios para la enseñanza de la física se observa que de cierta manera se privilegian los procesos de significación y de construcción de sentidos que se encuentran usualmente por medio de diálogos en los escritos originales de los pensadores de las diferentes épocas, propiciando una enseñanza dinámica que replantea los contenidos de clase, se mira que tanto los docentes en formación como los estudiantes de educación media comprenden de forma clara las manifestaciones del entorno, además que el conocimiento es dinámico según lo menciona Ayala (2006):

*Es así como la enseñanza se ha comenzado a concebir como una actividad a través de la cual el maestro orienta el proceso de conocimiento de los estudiantes mediante la recontextualización de prácticas y saberes científicos, de manera que los modos de ver, de argumentar, de valorar y de actuar propios de la cultura científica adquieran significado y legitimidad para el estudiante (p.12).*

El estudio histórico-crítico es una herramienta pedagógica de gran ayuda al momento de enseñar una teoría tan abstracta y no intuitiva para el estudiante, como es la mecánica cuántica y los conceptos relacionados a ella como la energía discreta, además, dichos conceptos pueden ser estudiados desde diferentes perspectivas y una de ellas es con el uso de la historia. Por lo tanto, siempre es de gran interés para el aula hacer una revisión de los cimientos de toda teoría, ya que accede a una nueva comunicación y dar nuevas miradas a sus construcciones.

A partir de la revisión de la literatura para esta investigación, es posible consolidar la elaboración acerca de las discusiones acerca de la naturaleza del calor y la energía junto con el calor específico que han existido entre los pensadores del siglo XIX, específicamente desde una posición exploratoria que permita retomar todas las discusiones, problemáticas y posturas para responderlas en un contexto actual haciendo que los estudiantes tengan más accesibilidad a estas.

## CAPITULO II

### **SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO EN EL SIGLO XIX DESDE LA PERSPECTIVA CONTINUA DE LA ENERGÍA**

#### **EL CALOR COMO SUSTANCIA**

El concepto de calor surge como uno de los grandes interrogantes en el estudio científico, debido a que el calor y la temperatura son fundamentalmente factores climáticos ampliamente percibidos por los individuos, sobre los cuales se ha cuestionado a lo largo de todos los periodos de la humanidad.

Respecto al concepto de calor, pensadores de la edad antigua como Anaxímenes (590 a.C. a 524 a.C.), Heráclito (540 a.C.- 475 a.C.), Empédocles (484 a.C. - Etna, 424 a.C.) entre otros, relacionaba el concepto de calor con los 4 elementos principalmente con el fuego a que se le atribuía los cambios de temperatura (que era captado a través de los sentidos) y calor en el cuerpo, además que este tenía interacción con el entorno con varias cualidades posibles como el frío, el caliente, entre otros (Camelo Bustos & Rodríguez Sotelo, 2008).

Los aportes de la edad antigua fueron aceptados por más de 20 siglos, no obstante, desde el renacimiento varios científicos a partir de experimentos trataron de explicar la naturaleza del calor, cuando los científicos se enfrentaban a algo complejo como explicar dicha naturaleza intentaban usar analogías con otra cosa que le eran familiar. En el siglo XVIII y a comienzos del siglo XIX las semejanzas se hacían con dispositivos mecánicos en general, en otras palabras, experimentos. Fenómenos tan novedosos como el estudio del calor encontraron pronto acomodo en la analogía con las conducciones de un fluido como por ejemplo el agua.

Gran parte de los pensadores del siglo XVIII atribuían la acción del calor, a una sustancia especial también imponderable que se consideraba que era un fluido expansivo ya que fluía de cuerpos calientes a fríos, además asumían que sus componentes eran auto repelentes para explicar la expansión de los cuerpos cuando se calentaban. Dicho fluido llamado “calórico” tenía otras propiedades, principalmente en la cantidad de este que permanece constante en todos los procesos

térmicos (se conserva) y que las partículas que lo conforman son atraídas por las de las materias ordinarias.

Esta percepción de calor como una sustancia se mantuvo por gran parte del siglo XVIII ya que esta explicaba de manera casi completa los fenómenos asociados al calor y definía su propia unidad de medida, la caloría. Uno de estos fenómenos es la transmisión de calor que, por el método de conducción, se transmitía de un lugar a otro debido a la atracción de la materia por el calórico, si un cuerpo tenía poca cantidad de calórico tiende a buscar más sustancia hasta llegar a la misma temperatura del entorno (Güèmez, 2003). Así mismo otros fenómenos como las capacidades caloríficas, las distinciones entre calor sensible y latente podían ser explicadas por el modelo de calor como sustancia.

Sin embargo, esta mirada sustancial, aunque era útil, tuvo varias críticas y opositores. Investigadores del siglo XVIII como Daniel Bernoulli (1700–1782) y Benjamín Thompson (conde Rumford) (1753–1814) entendían el calor como un tipo de movimiento. Bernoulli fue el primero en relacionar el calor con movimiento de partículas, pero no tuvo aceptación, por otro lado, Thompson llegó a esta conclusión al notar que al taladrar cañones las fricciones entre estos dos materiales generaban calor, relacionándolo con el trabajo causado por los taladros en movimiento, algo que no se podía explicar bajo la visión de calor como sustancia, ¿de dónde venía el calórico?

Como consecuencia de las investigaciones realizadas por Thompson entre otros, se empezó a suponer la existencia de una noción más generalizada que la ya decaída de calórico, pero que, al igual que esta, tenía que obedecer a un principio de conservación. La experiencia básica que les guiaba era muy sencilla: cuando se frotan dos cuerpos el uno contra el otro, su temperatura se eleva. Así, partiendo de un trabajo puramente mecánico, se obtiene el mismo resultado que si se cede a ambos cuerpos cierta cantidad de calor, cambiando la mirada sustancial por una más mecánica del calor (Milhaud, 2010).

### **EL CALOR COMO EQUIVALENTE MECÁNICO**

A partir de las investigaciones realizadas por Thompson, varios investigadores se dieron a la labor de describir la naturaleza del calor relacionándolo con los fenómenos asociados a la mecánica. Fue en los años 1840 donde el trabajo de muchos investigadores contribuyó de

diferentes formas para la elaboración de la teoría y su fundamento experimental. Esta entre ellos James Joule (1818–1889) y Robert Mayer (1814–1878) citado por Forero (2013), establecieron de forma separada una relación entre calor y energía diferenciando ésta última de la fuerza. Como resultado, a partir de entonces, se terminó por dejar atrás la naturaleza sustancial del calor.

Cabe destacar que durante el siglo XIX el mundo sufría cambios sociales. La sustitución del ser humano por la máquina permitió a científicos de esa época un mayor desarrollo en investigación, principalmente en el estudio y explicación de los fenómenos térmicos junto con los fenómenos mecánicos, que se estaban consolidando de importancia a partir del avance y funcionamiento de las máquinas térmicas en la ingeniería. Por esta razón, muchos de los pensadores buscaban la manera de relacionar los fenómenos térmicos con los mecánicos.

Joule citado por Forero (2014) vivía en una época en la que científicos se dividían en dos grupos: los que defendían la idea del calor como sustancia teniendo en cuenta las variaciones de temperatura de los cuerpos y los que respaldaban que el calor era simplemente vibración de moléculas de un cuerpo. Joule, al ver estas dos posturas y motivado por las diferencias de estas, trató de dar solución estableciendo la equivalencia entre calor y energía mecánica, si el calor era vibración, se podía definir su unidad la caloría como una cantidad de energía necesaria para cambiar de posición, es decir, elevar a cierta altura un determinado cuerpo (Forero, 2014).

Para eso se basó en varios experimentos donde se resaltan dos de ellos, debido a su gran importancia porque dedicó gran parte de su vida científica a ellos para determinar de manera definitiva la naturaleza del calor motivado por las dos posturas que generaban división en los científicos entre los siglos XVIII y XIX. El montaje, su estructura y su funcionamiento lo pueden observar en dos tablas en el anexo A.

El primer experimento es la máquina electromotriz. Para entender el experimento se debe considerar el contexto donde estaban ubicado. Joule apenas siendo un estudiante tenía interés por los fenómenos eléctricos ya que en esa época surgía la idea de que la electricidad podía reemplazar el vapor y su potencia por el cual lo llevó a desarrollar varios experimentos entre ellos el de la máquina electromotriz. El propósito del experimento era buscar la relación que había entre el calor

y la corriente eléctrica generada por las baterías, cabe aclarar que en montaje no usó estos dispositivos, sino un sistema mecánico.

A partir de los resultados obtenidos por el experimento de la máquina electromotriz, Joule observa que hay calor, pero creado por la acción del sistema mecánico, esto le permitió hacer una primera aproximación en que el calor se podía relacionar con un equivalente mecánico, es más, establece el equivalente mecánico el calor con un valor un poco alejado del valor actual (4,8 J del experimento a 4,19 J de la medida actual). Aunque los resultados son distantes, debemos tener en cuenta que los conocimientos en esa época del calor, energía mecánica y electricidad son primitivos como lo menciona Forero (2014):

*En lo que sigue, reproducimos el razonamiento de Joule, respetando en la medida lo posible, la terminología bastante primitiva, pero muy meritoria en su tiempo, si se comparan con nuestros conocimientos actuales. Al fin y al cabo, el contexto en el que se lleva a cabo la presente investigación es el histórico. Para mediados del siglo XIX, los conocimientos sobre la naturaleza del calor, de la corriente eléctrica, de la energía mecánica, etc. son muy incipientes*

El segundo experimento, es uno de los más conocidos, aparece en los libros de texto, el calorímetro con paletas giratorias. Para este experimento, Joule estableció la siguiente hipótesis: Si el calor no fuera sustancia sino más bien una vibración, una forma de energía mecánica, entonces debe haber un aumento de temperatura la agitación del agua provocada por el movimiento de las paletas. Joule afirmó que fue uno de los más interesantes e indico que la agitación del agua, el mercurio y aceite de ballena por medio de las paletas provocaba un aumento de temperatura. Para Joule los valores obtenidos iban más allá de resultados matemáticos, la interpretación que proponía era que la energía no se desaparecía sino más bien se convertía en un equivalente como el calor (Perez, 2005)

Por otro lado, en las investigaciones de Greiner, Neise y Stöcker, s.f; sumado a Marín et al.,(2015); y finalmente Galán (2013), mencionan los aportes de Robert Mayer totalmente distintos a los de Joule, debido a su falta de conocimiento en las ciencias ya que él era médico, es más, Mayer desconocía por completo los trabajos de Joule, pero aun así sus aportes fueron muy importantes más allá de sus limitaciones. A diferencia de Joule, Mayer desarrolló una investigación



más natural acorde con su profesión que lo llevó a reformular el calor en relación con el trabajo y la conservación de la energía.

En 1840 viajando en un barco a medio oriente observaba que la sangre venosa de algunos marineros tenía una coloración distinta a la sangre arterial, es decir, que contenía menos oxígeno provocado por las altas temperaturas y el cuerpo necesitaba disponer de menos energía, es decir, se respiraba menos. Después de hacer otras comprobaciones, incluso en él mismo observaba los mismos resultados, esto lo llevó a considerar que se necesita menos energía cuando el ser humano está en lugares con altas temperaturas y, por lo tanto, usa menos oxígeno. Mayer (1842) concluyó que el calor era un tipo de energía y que esta se conservaba.

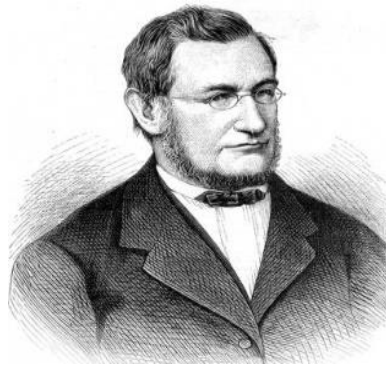
Mayer (1842) expone sus ideas y observaciones en su obra "*Fuerzas inorgánicas de la naturaleza*" que además agrega la formulación de algunos conceptos de calor mediante ejemplos de relación con la energía. Sobre eso reflexiona: "*Sabemos que el calor hace su aparición cuando las partículas separadas de un cuerpo se aproximan más cerca una de las otras: la condensación produce calor*" (Mayer, 1842). Infortunadamente debido a su falta de conocimiento en estos conceptos sus artículos fueron rechazados.

No obstante, Mayer continuó profundizando con la relación de calor y energía adquiriendo más conocimientos relacionados con dichos conceptos, en su artículo "*El movimiento de los organismos y su relación con el metabolismo*" publicado en 1845 expresa que el calor es una fuerza que se puede transformar en efecto mecánico, usando como ejemplo una máquina de vapor menciona que el trabajo realizado por este tiene un vínculo con el consumo del calor. Como consecuencia, Mayer establece una relación numérica entre calor y energía además de llegar a una expresión que relaciona el calor con la energía (Wisniak, 2011).

$$J(C_p - C_v) = R \quad \text{Donde } C_p > C_v \text{ así que} \quad (1)$$

$$J = \frac{R\gamma}{(\gamma - 1)C_p} \quad (2)$$

Dicha expresión relaciona las capacidades caloríficas a presión y volumen constante ( $C_p, C_v$ ), la constante universal de los gases ( $R$ ), la relación de los calores específicos ( $\gamma$ ) y factor de compresibilidad ( $J$ ) la demostración de esta expresión se puede ver en el anexo B.



**Figura 1. Robert Mayer**

Fuente: [www.biografiasyvida.com](http://www.biografiasyvida.com)

En consecuencia, intentaba explicar porque el calor específico a volumen constante de los gases era menor que el calor específico a presión constante. Esto consistía en aceptar que, en la expansión térmica de un gas a presión constante, el calor que se proporcionaba en exceso se convertía en trabajo hecho por el gas al propagarse contra la presión atmosférica Arons, 1970, citado en Furió et al., (2007). Usando la relación expresada en la ecuación (2), Mayer consiguió un valor del equivalente mecánico del calor muy cercano a los valores que obtuvo Joule basados en sus experimentos.

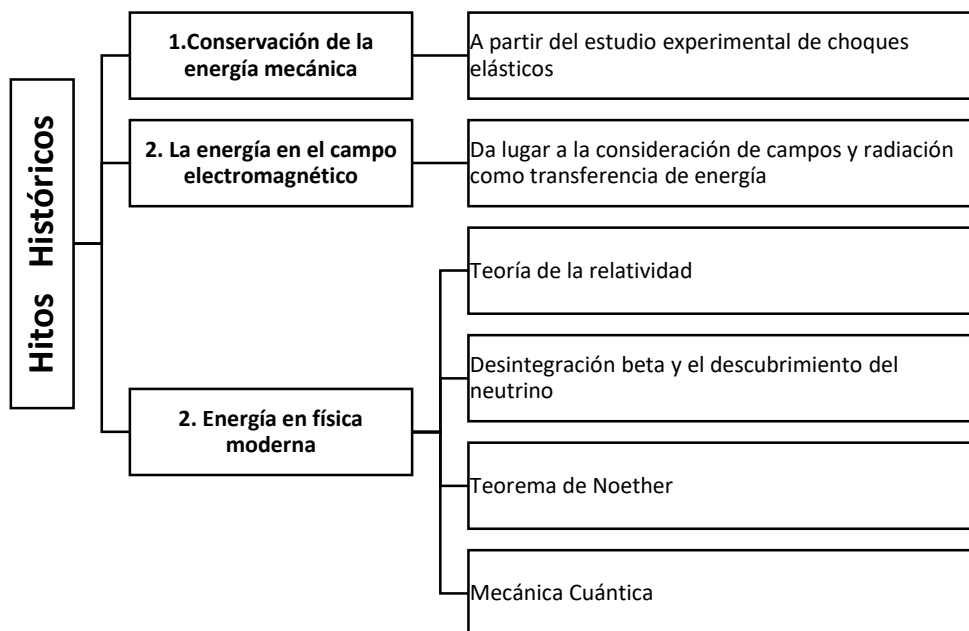
Ahora bien, Mayer y Joule fueron contemporáneos, con sus observaciones verificaron sus hipótesis junto las de Benjamin Thompson , además de abandonar por completo la naturaleza del calor como sustancia usando el movimiento de partículas pequeñas que forman la materia. Finalmente los experimentos mencionados anteriormente muestran la relación que hay entre los fenómenos térmicos y los mecánicos, que son intercambiables, que uno es la consecuencia del otro y viceversa, para este caso el calor es consecuencia del movimiento lo que estableció de manera definitiva las relaciones entre los conceptos de energía, calor y trabajo. Aunque usaron métodos distintos, llegaron a la misma conclusión: utilizando su mismo lenguaje, calor y energía mecánica son intercambiables; es decir, una cantidad dada de trabajo constantemente se transforma en una misma cantidad de calor y viceversa además que la energía se podía expresar como calor.

## MIRADA CONTINUA DE LA ENERGÍA

En teorías más recientes, el concepto de calor y energía fue evolucionando a tal punto Solbes y Tarín (2008) citan lo siguiente:

*(...)la energía es uno de los conceptos mas importantes no solo para la física sino tambien para otras ciencias. Su elaboración ha sido fruto de un largo y complejo proceso de generalización conceptual que va desde mediados del siglo XVII hasta la idea actual que se estableció a principios del siglo XX (p.156).*

Además Solbes y Tarín (2008) relacionan cuatro hitos del concepto de energía, como se muestran en la figura 2. Los más destacados son 3 hitos que corresponden a los siguientes: 1) La conservación de la energía mecánica, 2) La energía del campo electromagnético y 3) La energía en física moderna. Cabe mencionar que los hitos 1 y 2 de la figura 3 surgen a partir de la relación entre energía y calor, ya que a comienzos del siglo XIX se cuestionaba la naturaleza sustancial del calor a través de lo que se conocía como “calórico”, representado de cierta manera una conexión de los conceptos de mecánica, calor, electricidad y química. Algunos autores como Furió, Solbes y Furió (2007), Greiner, Neise y Stöcker (s.f) mencionan las problemáticas que tuvieron varios investigadores a comienzos del siglo XIX principalmente para expresar la energía mecánica y las limitaciones de la conservación de la energía cinética.



**Figura 2. Hitos históricos del concepto de energía**

Fuente: Adaptado de Solbes y Tarín (2008)

Cabe aclarar que varios investigadores del siglo XIX trataron de describir la naturaleza de la energía que al igual que el calor lo asociaban como una sustancia, un flujo, y como tal se podía considerar como continua. Esta idea tuvo gran acogida durante ese siglo porque podía explicar los fenómenos relacionados con la mecánica, la termodinámica el electromagnetismo. Con las investigaciones ya mencionadas el calor se podía reconocer como una forma de energía y al explicarlo mediante esa naturaleza se describía al calor como un flujo de energía continuo.

Así mismo, esta forma de ver la energía como un flujo hace parte de una corriente de pensamiento que se dio en la época, esta corriente llamada energetista consideraba la importancia que tenía el concepto de energía en la ciencia y explicaciones de la naturaleza junto con unificaciones de teorías se podrían lograr a través del estudio del concepto de energía (Zarate Monroy, 2013).

Sin embargo, con las investigaciones de Mayer y Joule entre otros donde abandonaban la idea sustancial del calor y que este era una forma de energía, varios pensadores como Rudolf Clausius (1822-1888), James Clerk Maxwell (1831-1879), Ludwig Boltzmann (1844-1906) entre otros motivados por el crecimiento de los estudios relacionados con la termodinámica llegaron a la conclusión de que el calor está relacionado con la energía cinética de las moléculas de una sustancia, por ende se hablaba de átomos y moléculas en gases, esto generó una nueva perspectiva, un tipo de mecánica en el cual, los fenómenos eran explicados a partir del movimiento constante de los átomos, una mirada atomista.

Como consecuencia, esta mirada replanteaba la naturaleza de la energía viéndola como una propiedad de las partículas, generada por los movimientos de estas. Aún así, faltaba la explicación de la naturaleza continuista de la energía ¿Cómo podían explicar la energía continua desde esa perspectiva?. Básicamente se basaron en que esta al permanecer constante, al conservarse independientemente de tener transformaciones se podía considerar la energía de forma continua. Esto fue reforzado con los aportes de la conservación de la energía mecánica y su relación con fenómenos térmicos, lo que actualmente se conoce como la primera ley de la termodinámica.

## **Teorema de equipartición y problema del calor específico en gases.**

### ***-Teoría cinético-molecular de los gases.***

Con el cambio de la concepción del calor, pasando de una mirada sustancial a una mecánica dio origen a la teoría cinética de los gases. Se desarrollaron formalismos matemáticos para ejecutar pruebas experimentales por Maxwell, Boltzman y Clausius (Brusch, 2003 citado en Blanco et al.,2010).

Maxwell y Boltzmann edificaron la teoría cinética para gases de tal forma que fuera más fácil explicar su comportamiento, así mismo, su desarrollo cuantitativo, como consecuencia se recoje algunos parámetros básicos que describen el modelo de “gas ideal”. Estos parámetros son (Niaz, 2000 citado en Blanco et al, 2010):

1. Los gases están compuestos por diminutas partículas en rápido movimiento.
2. Estas partículas son esferas perfectamente elásticas.
3. Una partícula actúa sobre otra solo durante el impacto.
4. El movimiento de las partículas está sujeto a las leyes de la mecánica de Newton.
5. La velocidad de las partículas aumenta con la temperatura.
6. Las partículas se mueven con velocidad uniforme y chocan con las paredes produciendo una presión.
7. Las componentes X, Y y Z de la velocidad son independientes.

En consecuencia, los científicos desarrollaron esta teoría con base a sus limitaciones respecto a la existencia de moléculas, esto es debido a que la teoría atómica durante el siglo XIX estaba dando sus primeros pasos y apenas las descripciones sobre sistemas desde una perspectiva molecular eran incipientes complementando con los pocos experimentos que aproximarían a una modelación más clara, por eso los pensadores se basaron en una modelación muy básica de estas partículas en un sistema ya sea en un gas o en un sólido, que es una modelación de una molécula de un gas biatómico o también llamado diatómico.

Cabe aclarar que debemos tener en cuenta el punto 4, ya que este va desencadenar en varias problemáticas que será detallada más adelante, además, habían un grupo considerable de investigadores que se mantenían en oposición a la teoría molecular y atómica que apenas daba sus

primeros pasos. Por otro lado, los aportes de Maxwell y Boltzmann sirvieron para el nacimiento de la teoría cuántica ya que como se mencionó anteriormente surgirían varias problemáticas que solo esta teoría daría respuesta.

***-Teorema de equipartición y capacidad calorífica de los gases.***

El teorema de la equipartición de la energía fue propuesta a partir del trabajo de James Waterson (1811 - 1883) titulado “*Sobre la física de los medios compuestos por moléculas libres y elásticas en estado de movimiento*” en 1845. Planteaba que en gases de diferente peso la velocidad molecular era inversamente proporcional al peso específico, a partir de esto se concluía que en equilibrio térmico, el valor promedio de la energía cinética es la misma para todas las moléculas del gas, Maxwell y Boltzmann aportaron más al desarrollo del teorema basado en la hipótesis planteada por Waterson (Navarro Verguillas, 1992).

Hoy en día se establece que el teorema de equipartición establece que cuando un sistema está en equilibrio, existe una energía media de  $\frac{1}{2}kT$  por molécula o  $\frac{1}{2}RT$  por mol asociada a cada grado de libertad que se define a la cantidad de magnitudes independientes con las cuales puede ser prefijada la posición de un sistema. Esta definición es completamente mecánica debido a las modelaciones de las moléculas donde solamente están regidas por la mecánica newtoniana. Por ejemplo, la posición de una partícula puntual en el espacio se determina preestableciendo los valores de sus tres coordenadas X, Y y Z (Savéliev, 1982). A partir de esto, la partícula puntual tiene tres grados de libertad.

Si bien no hay forma de medir la energía media de cada molécula en una masa material y por ende la validez del teorema de equipartición junto con sus bases en la mecánica clásica es indirecta, proporciona información sobre la energía interna de la molécula relacionada con la estructura molecular (Tipler & Mosca, 2005). La cantidad que se calcula más fácilmente es:

$$C_v = \frac{dU}{dT} \quad (3)$$

Al determinar la capacidad calorífica de un gas nos permite tener información acerca de la energía interna del sistema ya que está relacionado con su estructura molecular. En todas sustancias

se dilatan al calentarse, la capacidad calorífica a presión constante  $C_p$  es mayor a la capacidad calorífica a volumen constante  $C_v$ . Al suministrar calor a presión constante, la sustancia expande y genera trabajo. En consecuencia, se necesita más calor para obtener un cambio de temperatura dado a presión constante que al tener el mismo cambio de temperatura a volumen constante, entonces la capacidad calorífica a volumen constante es la tasa de variación entre la energía interna con la temperatura. Cuando se agrega calor a volumen constante, las energías de interacción entre las partículas se mantienen constantes, es decir, que al añadir calor a un gas con volumen constante, no realiza ningún trabajo. (Tipler & Mosca, 2005)

Teniendo en cuenta que la energía cinética total de  $n$  cantidad de moles en un gas es  $E_c = \frac{3}{2}nRT$  se puede expresar la energía interna del gas solo en términos de la energía cinética  $U = \frac{3}{2}nRT$ . A partir de esta definición la capacidad calorífica expresada en la ecuación (3) queda definida de la siguiente forma:

$$C_v = \frac{3}{2}nR \quad \text{para volumen constante} \quad (4)$$

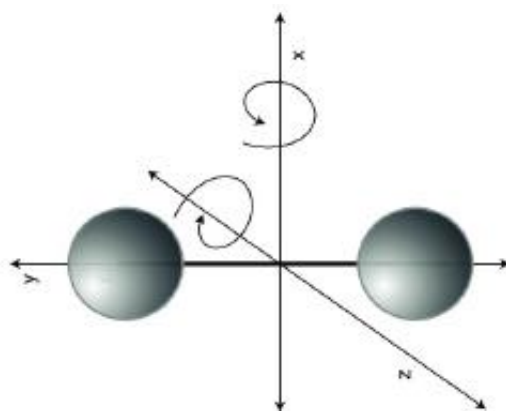
$$C_p = \frac{5}{2}nR \quad \text{para presión constante} \quad (5)$$

Como vimos anteriormente las capacidades caloríficas no dependen de la temperatura del sistema y solamente la temperatura está relacionada con la energía cinética de traslación. El teorema de equipartición se relaciona con los grados de libertad de la molécula del gas, por ende, se puede relacionar con la capacidad calorífica. Un ejemplo es considerar una partícula monoatómica donde la capacidad calorífica a volumen constante es  $\frac{1}{2}nR$  multiplicado por los grados de libertad que para este caso están definidos por los ejes X, Y y Z expresado en la ecuación (4).

Por otro lado, en gases como el hidrógeno y el oxígeno eran considerados moléculas diatómicas y varios investigadores como Clausius y Lord Kelvin (1824 – 1907) consideraban que estas moléculas se les debía agregar dos grados de libertad más que son las rotaciones en dos de los tres ejes (no se contaba el eje donde estaba ubicada la partícula ya que rechazaban la idea de que estas rotaban en su propio eje, esta idea aplicaba también para los gases monoatómicos).

### ***-Problemas del teorema de equipartición de la energía***

Si bien, el teorema de equipartición tuvo gran aceptación de los científicos de la época, hubo dificultades que llaman la atención, el desprecio de algunos grados de libertad de rotación y vibración sobre el mismo eje de las moléculas (tanto en las moléculas diatómicas como monoatómicas). En consecuencia iba en contra de los fundamentos de la teoría cinético molecular de los gases donde menciona que el movimiento de las moléculas están sujetas a las leyes de Newton por consiguiente es obligatorio tener en cuenta todos los grados de libertad, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3. Representación de una molécula diatómica rígida**

Fuente: Física II ECEN (2020)

No obstante, la idea de despreciar los movimientos de vibración y rotación están ligados con los resultados experimentales obtenidos, estos valores muestran aparentemente que en los gases diatómicos no giran ni vibran, lo mismo pasa en las moléculas monoatómicas, que supuestamente no gire en ninguno de los ejes de rotación. Además, el teorema de equipartición debe predecir valores enteros que sean múltiplos de  $R/2$  para las capacidades caloríficas de los gases (Savéliev, 1982), debido a que los grados de libertad deben ser números enteros, cosa que no se evidencia en los resultados experimentales como se muestra en la tabla 1. Cabe aclarar que los investigadores de finales de siglo XIX tenían en cuenta las discrepancias de los resultados experimentales y teóricos para las capacidades caloríficas, aún así, todavía hay diferencias notorias entre estos resultados.

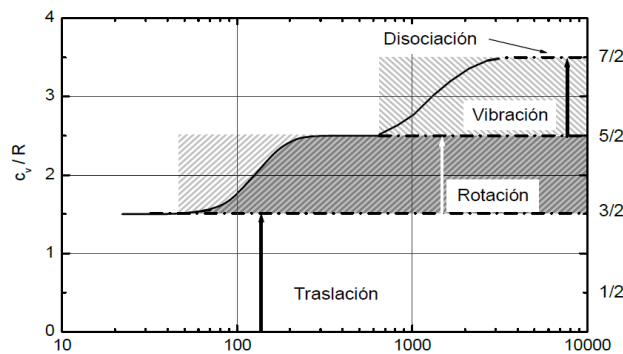


**Tabla 1.** Tabla de resultados teóricos y experimentales de la capacidad calorífica de gases monoatómicos y diatómicos

Gas	$C_p$	$C_p$ (teórico)	$C_v$	$C_v$ (teórico)	$C_v R$	$C_v R$ (teórico)
<b>Monoatómico</b>						
He	20,79	20,90	12,52	12,50	1,51	1,50
Ne	20,79	20,90	12,68	12,50	1,52	1,50
Kr	20,79	20,90	12,45	12,50	1,50	1,50
<b>Diatómico</b>						
N <sub>2</sub>	29,12	28,90	20,80	21,00	2,50	2,50
H <sub>2</sub>	28,82	28,90	20,44	20,90	2,46	2,50
O <sub>2</sub>	29,37	28,90	20,98	20,90	2,52	2,50

Adaptada de Tipler & Mosca, 2005; Savéliev, 1982

Además los resultados experimentales muestran algún tipo de dependencia de la capacidad calorífica de la temperatura. Uno de los ejemplos que frecuentemente usan en los libros de texto es la dependencia de la capacidad calorífica con la temperatura del hidrógeno (H<sub>2</sub>), para interpretar la gráfica de la figura 4 la tenemos que observar bajo la mirada continua de la energía como se tenía vista en el siglo XIX. Los científicos de la época interpretaban esas curvas como la absorción continua de energía por parte de todo el sistema de moléculas de manera instantánea, solo hasta llegar a cierta temperatura el sistema obtenían los grados de libertad de rotación y vibración, por ejemplo, en este caso, para alcanzar los grados de libertad de vibración, el sistema debía sobrepasar una temperatura de 1000 K y así absorber de forma continua la energía para llegar a dicho grado de libertad.



**Figura 4.** Diagrama de dependencia del calor específico del H<sub>2</sub> con la temperatura  
Fuente: Física II ECEN (2008)

Sin embargo, esta interpretación de la gráfica desde la perspectiva continua de la energía iba en contra de la capacidad calorífica ya que esta no depende de la temperatura, varios pensadores no encontraban una explicación clara ante estas problemáticas mencionadas anteriormente cuestionando no solamente el teorema de equipartición sino la cosmovisión que se tenía acerca del concepto de energía a finales del siglo XIX. Uno de los teóricos como Lord Kelvin en su discurso *“Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light”* mencionaba esta problemática como una de las dos “nubes oscuras” que no podía resolver desde la física clásica, cabe aclarar que la otra “nube” era con relación al medio donde se movía la luz, el eter. (Kelvin, 1901).

### CAPITULO III

## **SOBRE EL PROBLEMA DEL CALOR ESPECÍFICO VISTO DESDE LA ENERGÍA DISCRETA**

### **MAX PLANCK: CONCEPCIÓN E INTERPRETACIÓN DISCRETA DE ENERGÍA. CONSECUENCIAS.**

Paralelamente al problema del calor específico en el siglo XIX, surgía otra problemática que se relacionaba con la radiación térmica usando como sistema el cuerpo negro. Max Planck al buscar solución a este problema inicialmente no siguió los resultados teóricos, se enfocó en los resultados experimentales donde trató de encontrar una expresión que se identificara a partir de los datos. Representó las paredes del cuerpo negro como un conjunto de osciladores que al vibrar de manera distinta generaba todas las frecuencias del espectro dentro del cuerpo negro. A partir de esto, buscó la manera de distribuir a cada oscilador la energía total de todo el sistema, pero las leyes que daba la física clásica eran muy limitadas.

Varios autores como Mayorga (2002) Morron, (2014) Roseblum y Kuttner (2016) mencionan que Planck recurrió a las ideas de Boltzmann y aplicarlas a la interacción entre materia y energía. Planck admitía que no era seguidor de las ideas de Boltzmann debido a falta de la credibilidad que tenía de la teoría atómica. Cabe aclarar que la teoría atómica en ese tiempo apenas era naciente y no fue sino hasta la segunda década del siglo XX con descubrimientos y aporte de mayor peso de otros científicos que tuvo aceptación.

Planck encontró que podía derivar las fórmulas de distribución de energía si los osciladores absorben y emiten energía no de forma continua, sino de forma discreta en proporción a la frecuencia de oscilación  $h\nu$ , esto quería decir que dependiendo de la longitud de onda debería tener una cantidad de energía mínima (a lo que Planck lo llamó “cuanto”), pero a la vez aumenta si la onda es de mayor frecuencia. Buscó una interpretación acorde a las leyes establecidas de la física de esa época debido a que se resistía a la idea de que la energía fuera discreta, infortunadamente era más confuso y generaba mayores interrogantes, por consiguiente, lo consideró como un resultado de un proceso matemático (Planck, 1900).

Esta búsqueda por definir un significado físico al descubrimiento de Planck, se mantuvo al margen durante un tiempo debido a que tanto como Planck como otros pensadores eran hostiles a una idea que abandonaba los conceptos de la mecánica y el electromagnetismo, algo que fue producto de trabajo de varios siglos y que se tuviera que replantear la cosmovisión de varios fenómenos que no han sido cambiados desde hace unos cuantos siglos. No fue sino hasta cinco años después de la publicación de Planck en que sus ideas fueron retomadas por Einstein para la explicación del efecto fotoeléctrico.

Es así como Planck comprendió que su descubrimiento era comparado con los descubrimientos que hizo Newton. De tal modo que debió comprender que su fórmula afectaba los cimientos de cómo se describía la naturaleza bajo ese paradigma clásico en esa época llevándolo a una nueva situación totalmente desconocida. Aun así, debemos entender que su manera de pensar conservadora no se sentía cómodo con estas ideas, de igual forma con otros pensadores. (Heisenberg, 2013)

Planck aseguraba, junto con otros físicos como Louis de Broglie, Heisenberg, Dirac entre otros en poner una nueva manera de hacer ciencia en cambiar la cosmovisión que se tiene respecto a ciertos conceptos llegando a un replanteamiento de estos o el surgimiento de nuevas teorías que lograran explicar de manera más exacta la comprensión de nuestro entorno. (Lopez Mosqueda & Aboites, 2017)

La cosmovisión que tenía los físicos, incluyendo a Planck, hacia ver la oposición que tenían respecto a una idea que cambiaba las leyes por las cuales ellos estaban regidas durante siglos, este pensamiento clásico representaba para ellos una manera completa de ver nuestro universo, no obstante, algunas investigaciones experimentales junto con descubrimientos que proponía que la energía era discreta marcó una ruptura entre la concepción clásica de energía (basado en las leyes de la física clásica) y la nueva forma de ver el mundo físico alejado de las ideas de la física clásica (D'Alessandro Martinez, Michinel, & Malaver de la Fuente, 2015).

Así mismo, el aporte dado por Max Planck fue el punto de partida para muchos investigadores para aportar en la búsqueda de una comprensión más precisa y completa basado en nuevos resultados teóricos y experimentales que contradecía la física existente a esos días y como

consecuencia revisar el paradigma clásico, cuestionando la cosmovisión de la época. Por último, hay que resaltar que las teorías modernas de la física (Mecánica cuántica, Relatividad, etc) fue el producto de muchos investigadores que en la historia fueron en búsqueda de un nuevo modo de ver nuestro universo. (Fortin & Lopez, 2016).

### **CALOR ESPECÍFICO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA ENERGÍA DISCRETA**

Con la aparición de nuevos planteamientos acerca de la energía a partir de los aportes de Max Planck, colocaba aún más en dificultad la veracidad el teorema de equipartición y el problema del calor específico en gases, que como se mencionó anteriormente tenía problemas en relación con las medidas experimentales y los valores teóricos con un margen de error, además con su dependencia de la temperatura.

Era un problema que llamaba la atención de todo investigador de esa época, uno de ellos fue Albert Einstein que venía trabajando de forma indirecta con los gases ideales y sólidos mencionando los aportes de Boltzmann. En su publicación del artículo del efecto fotoeléctrico (1905) lo menciona vagamente cuando relaciona en partículas materiales y electrones en movimientos armónicos (Navarro, 1992).

Pero Einstein siguió aportando a la investigación sobre la problemática y publicó en 1907 un trabajo titulado "La teoría de la radiación de Planck y la teoría de los calores específicos", donde menciona la teoría de Planck a un nivel de relevancia dando apertura a la teoría cuántica. En este trabajo, Einstein aplicó los conceptos cuánticos, que había aplicado a la radiación electromagnética, a fenómenos termodinámicos (Enders, 2009). Demostró usando las ideas de la energía discreta llamadas también "cuantos", que podían resolver inconsistencias que se presentaban en el área de la teoría cinética de los materiales, por ejemplo, en el caso de los calores específicos de diversas sustancias.

Así mismo demostró en su trabajo que la disminución del valor del calor específico de los sólidos al disminuir la temperatura podía explicarse tomando como base las ideas cuánticas de Planck. Para simplificar su tratamiento matemático, supuso que todos los átomos del sólido oscilaban con la misma frecuencia y encontró entonces una expresión para su calor específico cuya gráfica como función de la temperatura, donde encontró que hay una temperatura característica

del sólido que está directamente relacionada con la frecuencia que oscila las partículas. Einstein explicó que el hecho de que el calor específico de una sustancia varíe al cambiar su temperatura es una manifestación macroscópica de efectos cuánticos. (Enders, 2009)

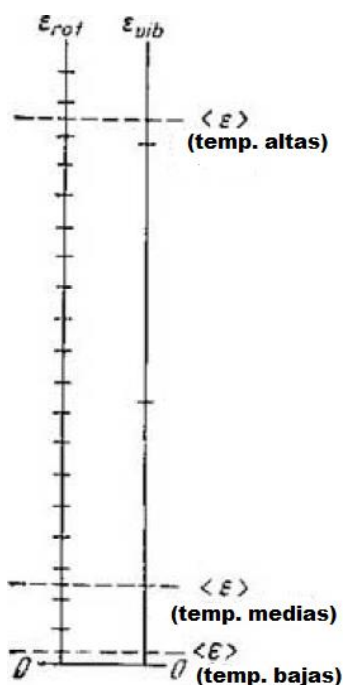
En los sólidos reales no todas sus partículas oscilan con la misma frecuencia. En realidad, hay un número muy grande de frecuencias distintas, es decir, hay una distribución de frecuencias dependiendo de la cantidad de energía que acepta los átomos. En consecuencia, extraer la conclusión de que los efectos cuánticos son los responsables de la disminución del valor del calor específico, esto depende principalmente de cuánta energía necesita cada partícula. (Braun, s.f.)

La solución que propone Einstein aplica también a los gases, teniendo en cuenta los grados de libertad de las moléculas, estas solamente pueden tener ciertos valores de energía interna. En síntesis, la molécula puede obtener rotación y vibración solo si estas pasan al nivel permitido de energía, esto quiere decir que las energías de rotación y vibración de las moléculas solo pueden tener valores discretos, valores finitos, en pocas palabras “saltos”, además de que la energía media del gas sea suficientemente alta para llegar a los niveles permitidos para rotar y vibrar algo que no aplica para los grados de libertad de traslación ya que se puede hacer uso de la energía continua por ende el teorema de equipartición dependerá del espaciado de los niveles de energía permitidos. Esto está representado en la figura 5 donde cada división en las líneas verticales de rotación y vibración es una cantidad determinada o también llamado nivel de energía para adquirir esos grados de libertad.

Cabe destacar que las divisiones de energía para las vibraciones son mayores a las de rotación, esto quiere decir que, si bien la energía está definida bajo una cantidad determinada resulta ser mayor en la vibración que en la rotación debido a que en la vibración de la molécula requiere el doble de energía para adquirir porque hay dos tipos de energía (cinética y potencial elástica), en cambio, en los grados de traslación y rotación solo hay un tipo de energía (cinética). Para explicar el calor específico desde la mirada discreta de la energía usaremos la misma imagen que se usó para explicar la problemática desde la mirada continua de la energía.

En el gas hay un conjunto de moléculas que adquieren energía suficiente para adquirir un movimiento de rotación, sin embargo, la cantidad de moléculas es muy pequeña y la energía media

no es suficientemente grande para alcanzar un nivel permitido de energía para rotación, esto hace que el sistema aún permanezca con movimiento de traslación. Al aumentar la temperatura, causará un crecimiento de energía media y habrá mayor número de moléculas que han adquirido la energía suficiente para obtener rotación. La curva (encerrada en el círculo 1 de la figura 6) representa el aumento del número de moléculas que están adquiriendo energía mínima para rotar, así mismo la energía media del sistema aumenta, la curva se aplana cuando la temperatura es suficientemente alta y la energía media del gas llega a sobrepasar el nivel permitido además la totalidad de las moléculas han adquirido la cantidad de energía necesaria y así pueden rotar.



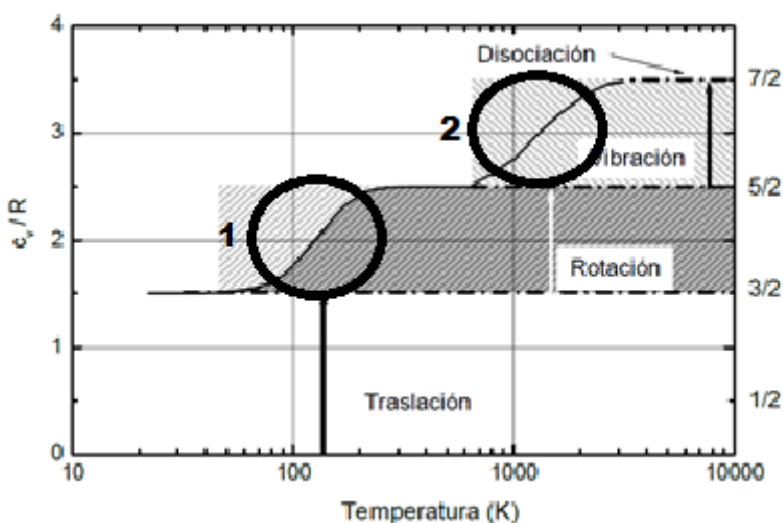
**Figura 5. Representación de la distribución de energía discreta de rotación y vibración**

Fuente: Saveliev (1982)

Del mismo modo, pasa cuando el sistema adquiere vibración. La energía media que tiene el sistema es mucho menor a los niveles requeridos y el número de moléculas que logran obtener vibración es mínimo por lo que todo el gas permanece en rotación. Cuando se eleva la temperatura crece el valor de energía media, además crecerá el número de moléculas que van incorporando movimiento vibratorio que está representado en la curva encerrada en el círculo 2 de la figura 6. Cuando la temperatura es suficientemente alta, todas las moléculas del sistema tendrán movimiento vibratorio y la energía media es suficientemente alta para pasar el nivel permitido de

energía para vibrar. A partir de esta descripción podemos ver que hay una relación proporcional entre la cantidad de moléculas que adquieren energía para rotación y vibración, con la energía media del sistema, además cabe mencionar que la molécula puede ganar o perder energía solo si esta ganancia o pérdida le conduce a un nivel permitido.

Finalmente, el teorema de equipartición de la energía vista desde la energía discreta se cumple de la siguiente forma: si la cantidad de energía que tiene la partícula no es la mínima para adquirir rotación y vibración, esta se va distribuir a los otros grados de libertad a través de choques, principalmente en los de traslación donde aceptan de forma continua la energía.



**Figura 6. Diagrama de dependencia del calor específico del  $H_2$  con la temperatura**

Fuente: Física II ECEN (2020)

Además, estas interpretaciones ayudaron también a comprender los resultados experimentales y teóricos sobre la capacidad calorífica, al no aparecer números que sean enteros o múltiplos de  $R/2$  lo que se muestra en los resultados es que no todo el sistema ha adquirido la energía media suficiente para tener los grados de libertad de vibración y rotación, esto va ligado a como una parte del sistema de moléculas ha adquirido estos grados de libertad. Por último, estos resultados también muestran el cumplimiento del teorema de equipartición, como se mencionó anteriormente, la cantidad de energía que no alcanza a llegar al nivel requerido se distribuye a los grados de libertad de traslación donde aceptan de manera continua dicha cantidad, esto se evidencia en los valores que ya no son enteros, esos “decimales” muestran un valor de energía continua en los grados de traslación.



Como consecuencia podemos apreciar que en el problema del calor específico surge un rompimiento de paradigma en pasar de una mirada continua a una discreta de la energía. Para los científicos esta problemática tenía que ser reinterpretada estableciendo un límite entre la mirada continua y discreta de la energía, algo que, como se mencionó anteriormente se resistían a considerar. Para este caso, al explicar los grados de libertad de rotación y vibración en las moléculas debían abandonar la mirada continua de energía que solo era válida para los grados de libertad de traslación y usar la mirada discreta de la energía para la interpretación de los grados de libertad de rotación y vibración.

Finalmente, esta problemática sirvió de antecedente para muchos pensadores, en dar la concepción discreta de la energía que, si bien fue dada con otra problemática que fue la radiación de cuerpo negro, sirvió para reforzar la validez de la energía discreta y cambiar la cosmovisión que se tenía acerca de la naturaleza de la energía.

## CONCLUSIONES

- El análisis histórico – crítico realizado sobre los aportes dados por los pensadores respecto a la problemática del calor específico en los gases en el siglo XIX permitió exponer las concepciones que tenían aquellos pensadores acerca del concepto de energía y calor, pero también mostrar sus falencias y dificultades cuestionando la visión que tenían respecto a esos conceptos.
- Los aportes de investigadores como Joule, Mayer y Thompson mostraron que la visión sustancial del calor tenía dificultades y era obsoleto ante estas, terminando por abandonar esta visión y adquirir una nueva mirada del calor como equivalente mecánico que sirvió para describir el comportamiento de los gases de manera mecánica, usando la teoría cinético molecular.
- Las percepciones acerca de la naturaleza del calor y la energía que tenían los pensadores fueron concebidas a partir de buscar analogías en sus experimentos, es decir asociar con otras cosas que fueran familiares para ellos como un fluido o una molécula para dar explicación de dichos conceptos.
- El problema del calor específico y el teorema de equipartición de la energía sirve de ejemplo para exponer el rompimiento de paradigma entre el pensamiento continuo y discreto de la energía, ya que las problemáticas alrededor de ellas surgen por la falta de explicación e inconsistencias desde el punto de vista continuo y se necesita la visión discreta para explicar por completo dichas problemáticas.
- Los aportes de Max Planck y otros investigadores para la concepción discreta de energía forzaron a una nueva cosmovisión de nuestro entorno. Así, mismo hay que resaltar que esta nueva concepción de energía dio solución a varias problemáticas que surgieron durante el siglo XIX. En el caso del calor específico, permite explicar la equipartición de la energía de los grados de libertad de rotación y vibración de gases tanto monoatómicos como diatómicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez López, J., Jaimes Gómez, O., & Sánchez Moreno, A. (2018). La historia en la enseñanza y aprendizaje de los campos clásicos. *REEC: Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 17(1), 1–18.
- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17(1), 19–37.
- Blanco , A., Ruiz , L., & Prieto, T. (2010). El desarrollo histórico del conocimiento sobre las disoluciones y su relacion con la teoria cinetico-molecular. Implicaciones didacticas. *Historia y epistemologia de las ciencias*, 447-458.
- Braun, E. (s.f.). *Einstein a la luz del enigma de los calores especificos*. Obtenido de Una Faceta desconocida de Einstein:  
[http://200.23.188.74/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/19/htm/sec\\_13.htm](http://200.23.188.74/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/19/htm/sec_13.htm)
- Camelo Bustos, F., & Rodríguez Sotelo, S. (2008). Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje. *Tecné, Episteme y Didaxis: Revista de La Facultad de Ciencia y Tecnología*, 1(23), 67–77. <https://doi.org/10.17227/ted.num23-149>
- Carrasco, E., Hernández, J. E., Carrión, V., Arrieta, J., & Díaz-moreno, L. (2016). Complejidad y construcción de conocimiento. In *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp. 808–816). Retrieved from  
<http://funes.uniandes.edu.co/11693/1/Carrasco2016Complejidad.pdf>
- Di Laccio, J. (2018). *Metodología para el aprendizaje de Física Moderna para Educación Secundaria con Química* (Universidad de la República de Uruguay). Retrieved from  
<http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/2fe582f22206fca15c3b721d7d330185.pdf>
- Enders, P. (2009). State, Statistics and Quantization in Einstein's 1907 Paper Planck's Theory of Radiation and. 1 - 20.
- Figuroa, A., & Orjuela, J. (2015). *La enseñanza de la física moderna en la educación media*.

*Una aproximación* (Vol. 3). Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2177/1/FigueroaMoyaAnyulSteak2015.pdf>

Forero, S. M. (2013). El equivalente mecánico del calor. *Latin-American Journal of Physics Education*, 7(4), 5. Retrieved from [http://www.lajpe.org/dec13/5-LAJPE\\_815\\_Sandra\\_Forero.pdf](http://www.lajpe.org/dec13/5-LAJPE_815_Sandra_Forero.pdf)

Forero, S. M. (2014). *Sadi Carnot y la Segunda Ley de la Termodinámica*. Universidad Pedagógica Nacional.

Furió-Gomez , C., Solbes, J., & Furió-Mas, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Eureka*, 461-465 .

Galan Diaz, J. J. (2013). Una aproximación pedagógica a la energía desde una perspectiva histórica. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 285-290. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4559194>

García, E. C., Fernández, P. G., & Díaz, L. L. (2012). La historia de la ciencia como recurso didáctico en Física y Química desde un punto de vista constructivista. *Tiempo y Sociedad*, 8, 68–88.

Greiner, W., Neise, L., & Stöcker, H. (10 de Octubre 2020 de s.f). *Desarrollo histórico de la teoría del calor*. Obtenido de Recuperado: <https://www.fis.cinvestav.mx/~jmendez/JMMA/historia%20calor.pdf>

D'Alessandro Martinez, A., Michinel, J., & Malaver de la Fuente, M. (2015). Los paradigmas en la Física, retardos difusionales e implicaciones didácticas. *Revista de Investigación. Instituto pedagógico de Caracas. Universidad Pedagógica Experimental Libertador*. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142015000300010](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142015000300010)

Güémez, J. (12 de diciembre de 2003). Teoría del calor. *Departamento de física aplicada. Universidad de Cantabria. Cantabria, España*.

- Heisenberg, W. (2013). *Física y filosofía (traducido de Physics and Philosophy)*. Antwan.
- Henke, A., & Höttecke, D. (2015). Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. *Science and Education*, 24(4), 349–385.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>
- Hernández, M., & Prieto, J. (2000). Un currículo para el estudio de la historia de la ciencia en Secundaria (la experiencia del Seminario Orotava de Historia de la Ciencia). *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 18(1), 105–112.  
 Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21643>
- Kelvin, L. (Julio de 1901). Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light. *Phil*, 2(7), 1-40. Obtenido de [http://ether-wind.narod.ru/Kelvin\\_1901/009.html](http://ether-wind.narod.ru/Kelvin_1901/009.html)
- Lopez Mosqueda, J. A., & Aboites, V. (2017). La filosofía frente al objeto cuántico. *Revista Mexicana de Física*, 107 - 122.
- Mayer, R. (1842). Fuerzas inorganicas de la naturaleza. *revista filosofica y diario de ciencia*, 370-377.
- Marín Castaño, L. C., Agudelo Zuluaga, N., & Isaza Piedrahita, P. A. (2015). Calor y temperatura: Una propuesta de recontextualización en la enseñanza de la física a partir de los planteamientos de Robert Boyle y Robert Mayer. *Tesis de pregrado*. Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia.
- Mayorga, A. (2002). Planck, Einstein y el nacimiento de la teoria cuantica (1900 - 1905). *Revista de filosofia. Univeridad de Costa Rica*, 145 - 152.
- MEN. (2004). Estandares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Sociales. In *Guia No. 7* (Vol. 7). Retrieved from [http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- Milhaud. (24 de marzo de 2010). *Historia de la energía: Desde el calórico hasta Joule*. Obtenido

de Recuerdos de pandora: <https://recuerdosdepandora.com/ciencia/fisica/historia-de-la-energia-desde-el-calorico-hasta-joule/>

Morrón Ruiz de Gordejuela, L. (10 de octubre de 2014). *Mundos de Brana*. Obtenido de Radiación de cuerpo negro y catástrofe ultravioleta: <https://losmundosdebrana.com/2014/03/10/radiacion-de-cuerpo-negro-y-catastrofe-ultravioleta/>

Navarro Verguillas, L. (1992). "Status" del teorema de equipartición de la energía a la luz del primer congreso de Solvay (1911). *Revista de la sociedad española de historia de las ciencias y de las técnicas*, 129-155. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=62097>

Pantoja, G., Moreira, M., & Elnecave Herscovitz, V. (2014). La enseñanza de conceptos fundamentales de Mecánica Cuántica a alumnos de graduación en Física. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 9(1), 5.

Perea, M. A., & Buteler, L. M. (2016). Vista de El uso de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física\_ una aplicación para el electromagnetismo \_ G. *Góndola, Enseñ Aprend Cienc*, 11(1), 12–25. <https://doi.org/doi: 10.14483/udistrital.jour.gdla.2016.v11n1.a1>

Perez, J. (2005). Una aproximación a la vida y obra de James Prescott Joule . Del motor eléctrico a la conservación de la energía de la sabia mano de un cervecero de. *Departamento de Física Fundamental y Experimenta Electrónica y Sistemas. Facultad de Física. Universidad de La Laguna. 38205 La Laguna. Tenerife.*, 6.

Planck, M. (1900). On the Theory of the Energy Distribution Law of the Normal (traducido del alemán al inglés).

Rosemblum, B., & Kuttner, F. (2016). La intrusión del cuanto en la física. En B. Rosemblum, & F. Kuttner, *El enigma cuántico. El secreto mejor guardado de la física contemporánea* (págs. 69 - 85). Barcelona: Tusquets Editores S.A.

Rubio, A. (2012). *Unidad didáctica para la enseñanza del concepto de energía*. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/8036/>

Savéliev, I. V. (1982). *Curso de física general I*. Moscú: MIR.

Solbes, J., & Tarín, F. (2008). Generalizando el concepto de energía y su conservación. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 180(22), 155–180.  
<https://doi.org/10.7203/dces..2415>

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología*. Barcelona: Reverté.

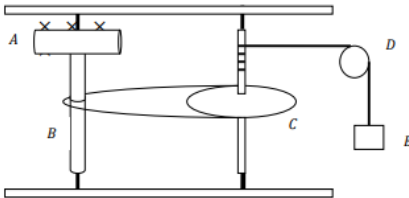
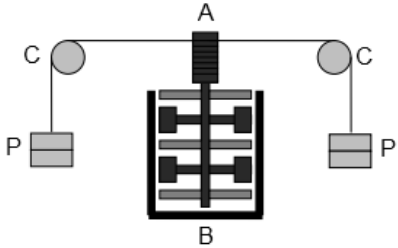
Wisniak, J. (2011). Conservation of Energy Readings on the Origins of the First Law of Thermodynamics. Part II. *Educación Química*, 19(3), 216.  
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2008.3.25835>

Zarate Monroy, C. A. (2013). Lo Continuo y lo Discreto, una discusión desde el movimiento browniano. *Trabajo de grado*. Bogotá D.C: Universidad Pedagógica Nacional.

## ANEXOS

**ANEXO A: TABLAS DE MONTAJE Y FUNCIONAMIENTO DE LOS  
EXPERIMENTOS DE JOULE**

*Tabla 2. Experimentos de Joule con la descripción de su estructura*

Nombre del experimento	Montaje	Estructura
<b>La máquina electromotriz</b>		<p>Consta de dos cilindros AB, A está lleno de agua y que contiene una bobina conectada por medio de dos cables con un galvanómetro (no aparece en el esquema). Un campo magnético generado por un electroimán conectado a una serie de pilas voltaicas que pasa por el cilindro A. El cilindro B es macizo que puede girar. Los cilindros se conectan a un par de poleas C y D y un peso E.</p>
<b>Calorímetro de paletas giratorias</b>		<p>Está conformado por un recipiente con agua B con un cilindro con paletas de bronce A conectado por medio de un hilo que pasa a través de poleas C y sostiene dos pesas P.</p>

Fuente: (Forero, 2013)

*Tabla 3. Experimentos de Joule con su respectivo funcionamiento*

Nombre del experimento	Funcionamiento (fases)
<b>La máquina electromotriz</b>	<p><b>Fase 1:</b> Se elimina el campo magnético abriendo el circuito que alimenta la corriente del electroimán, los cilindros giran, pero no hay corriente en la bobina. La energía de las pesas equivale al trabajo que se necesita para detener el giro de los cilindros</p>



---

	<p><b>Fase 2:</b> Restablecimiento del campo magnético e introducción de la corriente en la bobina, nuevamente se calienta el agua y se aumenta el peso para conservar la velocidad de rotación.</p>
<p><b>Calorímetro de paletas giratorias</b></p>	<p><b>Fase 1:</b> Calculo de la capacidad calórica de la rueda de paletas y del recipiente.</p> <p><b>Fase 2:</b> Medición de la cantidad de trabajo necesaria para para mover la rueda de paletas sin agua (en el vacío).</p> <p><b>Fase 3:</b> Medición del trabajo necesario para mover las paletas con el recipiente con agua (usan la misma velocidad de la fase 2)</p>

---

## ANEXO B: EQUIVALENTE MECÁNICO DEL CALOR DE ROBERT MAYER

Truesdell (citado en Wisniak, 2008) modela el valor del equivalente mecánico del calor de la siguiente manera. Un pistón ejerce presión  $P$  entonces:

$$PV \rightarrow \text{Donde } V \text{ es el volumen del gas}$$

Entonces el calor impartido al gas es:

$$C_P * \theta \tag{A-1}$$

Donde  $C_P$  es el calor específico a presión constante y  $\theta$  es la temperatura del gas ideal. Entonces la cantidad de energía usando las capacidades caloríficas a presión y volumen constante

$C_P$  y  $C_v$  es:

$$(C_P - C_v) * \theta \tag{A-2}$$

Asumiendo que la potencia mecánica generada por el calentamiento es proporcional a él y usando un factor de compresibilidad  $J$  entonces la potencia es:

$$(C_P - C_v)\theta = PV \quad (A-3)$$

Usando la ecuación de estado de gas ideal a presión constante  $PV = R\theta$ :

$$(C_P - C_v) = R \quad (A-4)$$

Donde  $C_P > C_v$  y usando la relación de los calores específicos  $\gamma = C_P/C_v$  entonces:

$$J = \frac{R\gamma}{(\gamma-1)C_P} \quad (A-5)$$

### **ANEXO C: CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS GASES A VOLUMEN CONSTANTE**

El calor suministrado a volumen constante está representado por:

$$Q_v = C_v\Delta T \quad (B-1)$$

Como se añade calor a un gas a volumen constante, no se realiza trabajo ( $W=0$ ) usando el primer principio de la termodinámica:

$$\Delta U = Q_v + W = C_v \quad (B-2)$$

Entonces  $\Delta U$  queda representado por:

$$\Delta U = C_v\Delta T \quad (B-3)$$

Si tomamos que el valor de  $\Delta T$  tiende a cero queda expresado de la siguiente forma:

$$dU = C_v dT \quad (B-4)$$

Por lo tanto,

$$C_v = \frac{dU}{dT} \quad (\text{B} - 5)$$

#### ANEXO D: CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS GASES A PRESIÓN CONSTANTE

Cuando un gas se calienta a presión constante se dilata y tiene trabajo ( $P\Delta V$ ), usando la diferencia  $C_p - C_v$  expresamos calor de la siguiente forma

$$Q_p = C_p \Delta T \quad (\text{C} - 1)$$

Usando el primer principio de la termodinámica:

$$\Delta U = Q_p + W = Q_p - P\Delta V \quad (\text{C} - 2)$$

De esta manera,

$$C_p \Delta T = \Delta U + P\Delta V \quad (\text{C} - 3)$$

Si usamos la expresión de forma diferencial obtendremos:

$$C_p dT = dU + P dV \quad (\text{C} - 4)$$

Reemplazando  $dU$  por la expresión en términos de la capacidad calorífica a volumen constante se obtiene

$$C_p dT = C_v dT + P dV \quad (\text{C} - 5)$$

Usando la ecuación de gas ideal  $PV = nRT$  usando un proceso a presión constante  $dP = 0$ , sustituyendo se obtiene

$$C_P dT = C_v dT + nR dT \quad (C-6)$$

$$C_P dT = (C_v + nR) dT$$

Por lo tanto

$$C_P = (C_v + nR) \quad (C-7)$$

### **ANEXO E: RESOLUCION DE MAX PLANCK SOBRE LA RADIACION DEL CUERPO NEGRO.**

Basado en el artículo publicado en el año 1900 por Max Planck, usando los datos experimentales, establece que la pared del cuerpo negro está formada por  $N$  osciladores, entonces calcula su energía media total  $U_N$ :

$$U_N = NU \quad (D-1)$$

Entonces la entropía total está dada por:

$$S_N = NS \quad (D-2)$$

Ahora usando la definición de entropía propuesto por Boltzmann proporcional al logaritmo natural de la probabilidad  $W$  por lo tanto:

$$S_N = k \ln W + cte \quad (D-3)$$

Según Planck, para encontrar la probabilidad  $W$  de  $N$  osciladores todos juntos teniendo una energía, se considera necesario que se imagine la energía  $U_N$  no como un valor dividido ilimitado continuo, sino como un valor discreto, compuesto por un número entero de partes iguales finitas. Queda expresado de la siguiente manera:

$$U_N = P * \varepsilon \quad (D - 4)$$

Donde  $P$  es un número entero grande y  $\varepsilon$  es el valor a encontrar. Usando la ecuación (D - 3) la entropía es:

$$S_N = k \ln R \quad (D - 5)$$

Donde:

$$R = \frac{(N + P)^{N+P}}{N^N * P^P}$$

$$S_N = k (N + P) \ln\{(N + P) - N \ln N - P \ln P\} \quad (D - 6)$$

Usando las ecuaciones (D - 1) y (D - 4) obtendremos:

$$S_N = kN \left\{ \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right\}$$

$$S_N = k \left\{ \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon}\right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right\} \quad (D - 7)$$

Usando la ley de desplazamiento de Wien, la energía  $\varepsilon$  es proporcional al número de vibraciones  $\varepsilon = h\nu$  por consiguiente:

$$S_N = k \left\{ \left(1 + \frac{U}{h\nu}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{h\nu}\right) - \frac{U}{h\nu} \ln \frac{U}{h\nu} \right\}$$

$$\frac{1}{\vartheta} = \frac{k}{h\nu} \ln \left(1 + \frac{h\nu}{U}\right) \quad (D - 8)$$

Donde introduce la entropía del oscilador  $\frac{1}{\theta} = \frac{dS}{dU}$

Y los valores  $k$  y  $h$  son:

$$h = 6.55 * 10^{-27} \text{ erg} * \text{seg} \quad (D - 9)$$

$$k = 1.346 * 10^{19} \frac{\text{erg}}{\text{grad}} \quad (D - 10)$$

## ANEXO F: TEOREMA DE EQUIPARTICION A PROPÓSITO DE LA ENERGÍA DISCRETA DE UNA MOLECULA EN ROTACIÓN

La energía de rotación de una molécula es:

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{(I\omega)^2}{2I} = \frac{L^2}{2I} \quad (E - 1)$$

Teniendo en cuenta que  $I$  es momento de inercia, su velocidad angular es  $\omega$ ,  $L$  tiene valores restringidos  $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$ . Si  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  entonces la energía de una molécula en rotación es:

$$E = \frac{l(l+1)\hbar^2}{2I} \quad (E - 2)$$

Si la energía es mucho menor que los valores de  $kT$  se puede usar el teorema de equiparticion clásico, en caso contrario teniendo en cuenta que la temperatura es mayor se usa la energía entre niveles que está dado por:

$$E_{0r} = \frac{\hbar^2}{2I} \quad (E - 3)$$