



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**LA CONCEPCIÓN ATÓMICA COMO ESTRATEGIA
PARA SUPLIR LAS FALENCIAS CONCEPTUALES
QUE ORIGINAN LOS TEXTOS
DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Paula Cristina Cabrera Alba

Universidad Nacional De Colombia

Facultad de Ciencias

Bogotá, Colombia

Enero de 2014

**LA CONCEPCIÓN ATÓMICA COMO ESTRATEGIA
PARA SUPLIR LAS FALENCIAS CONCEPTUALES
QUE ORIGINAN LOS TEXTOS
DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA**

Paula Cristina Cabrera Alba

Trabajo final presentado
como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director

Dr. Jose Jairo Giraldo Gallo
Profesor titular, Departamento de Física

Universidad Nacional De Colombia
Facultad De Ciencias
Bogotá, Colombia

A la tía Leo que desde el cielo cuida cada uno de nuestros pasos y de quien estoy segura está intercediendo cada minuto para que las piedras del camino no estropeen nuestro andar.

Mil y mil gracias por tantos años de amor y dedicación, confió en que Dios nos concederá el vernos nuevamente y hacer todo lo que no pudimos hacer en vida.

Hoy siento con tristeza tu partida pero me reconforta sentir que puedo darte una razón para sonreír e imaginar el fuerte abrazo con que celebraríamos este nuevo logro.

Agradecimientos

Más que un trabajo de grado tiene un significado profundo y sincero. Por eso, hay numerosas personas a las que quiero dar mis agradecimientos. Ellas Intervinieron de una u otra manera en el proceso de mi formación y en esta etapa de mi vida.

A mi madre, quien dió su vida porque escaláramos lo más alto posible sin perder el rumbo del buen camino, quien con sus sabios consejos guió nuestros pasos y que con amor corrigió nuestras faltas, a esa mujer de corazón bueno a quien admiro y a quien espero poder demostrar que todo su esfuerzo sigue y seguirá dejando frutos.

A mi padre, quien ha sido la roca en nuestros momentos más difíciles, aquel que con su alegría representada en una sonrisa y una palabra amable hace más ameno nuestro diario vivir, a ese hombre quien con relativa paciencia nos ha enseñado el mérito de la obra bien hecha y el cuidado de los detalles.

A mis hermanos, que han sido siempre la luz de mi camino, y un ejemplo de vida, gracias a ellos he aprendido que la amistad es uno de los tesoros más grandes de nuestra vida. Agradezco enormemente a esos tres mosqueteros para los que el amor traspasa toda barrera y “con quienes he batallado para poder vivir”.

A mi esposo, que me ha acompañado durante este proceso y sostenido mi mano para impulsarme a continuar luchando, el mismo que me ha mostrado el mundo en todos sus matices y que me ha enseñado el valor de una conversación, con aquel que la vida ha estrellado. Gracias por hacer parte de mi vida y por permitirme ser parte de la tuya.

Agradezco a mi director José Jairo Giraldo quien con su rebotante amabilidad, infinita paciencia y dedicación contribuyo enormemente para sacar a delante este proyecto.

Y por último pero no menos importante, doy infinitas gracias a Diana Marcela Sepúlveda quien recorrió este camino junto a mí, su experiencia, bondad y espíritu de servicio fueron mi mano derecha en el desarrollo de este proyecto. A quien además de merecer mi agradecimiento, merece toda mi admiración pues en su caminar lleva de la mano a todo aquel que la rodea.

Resumen

El presente trabajo busca aproximar la enseñanza de la física a nivel de básica secundaria a las teorías actuales de la misma, a partir de la inclusión de la concepción atómica de la materia en la explicación de diversos fenómenos físicos. Para ello, se realiza un análisis de los lineamientos de MEN, de cuatro textos de física de grado décimo y una serie de pruebas aplicadas a estudiantes de décimo grado del Secretariado Social de Soacha. A partir de esta investigación, se identifica que, pese a que dentro de la propuesta curricular del MEN se vincula desde muy temprano las nociones microscópicas, los textos de física presentan conceptos de dicha área totalmente desligados a su realidad microscópica y así mismo, las pruebas realizadas a las estudiantes indican que, pese a conocerse los diferentes modelos, no logran relacionar dichas teorías con la fenomenología de su entorno, incluso evaden dicho vínculo limitándose estrictamente a descripciones macroscópicas. Por lo tanto se proponen una revisión más cuidadosa de los conceptos, en pro de suplir las ya mencionadas falencias conceptuales e implementar la teoría atómica como una alternativa para aproximar el aprendizaje de las ciencias naturales a las descripciones actuales de las mismas, aminorando la brecha entre los que se trabaja hoy en día en el laboratorio y los que se enseña en el aula de clases.

Palabras clave: Enseñanza de la física, teoría atómica, modelos atómicos, falencias conceptuales.

Abstract

The present work is looking for approximating the teaching of physics at the level of basic secondary to current theories, since the incorporation of the atomic conception of the subject matter in the explanation of various physical phenomena. To do this, it performs an analysis of the lines of MEN, four texts of physics at tenth grades and a series of tests applied to students of tenth grade Secretariado Social de Soacha. Based on this research, it is identified that, despite the fact that within the curricular proposal is linked from the very early notions microscopic, the texts of physical concepts presented in that area entirely separate to your microscopic reality as well, the tests carried out to the students indicate that, in spite of knowing the different models, do not relate these theories with the phenomenology of their environment, even evade this link strictly limited to macroscopic descriptions. It is therefore proposed a more careful review of the concepts, in pro to meet the already mentioned conceptual flaws and deploy the atomic theory as an alternative to approximate the learning of the natural sciences to the current descriptions of the same, slowing down the gap between those who now works in the laboratory and the that is taught in the classroom.

Keywords:

Teaching of physics, atomic theory, atomic models, conceptual shortcoming.

Contenido

	Pág.
1. Marco teórico	20
1.1 Concepción atómica.....	20
1.2 Enseñanza de la física	21
1.2.1 Lenguaje formalizado	21
1.2.2 Procesos de pensamiento	23
1.2.3 Niveles de enseñanza de la física.....	25
1.2.4 Rol docente	27
2. Metodología	29
2.1 Enfoque de la Investigación: cualitativo.....	29
2.2 Muestras	30
2.3 Instrumentos para la recolección de la información	32
2.4 Fases del desarrollo de la investigación.....	34
2.4.1 FASE I: Revisión de textos	35
2.4.2 FASE II: Evaluación del nivel de conceptualización e ideas alternativas de las estudiantes.....	35
2.4.3 FASE III: Análisis de resultados.....	35
3. Análisis de los resultados	36
3.1 Base del análisis de los textos escolares	36
3.1.1 Aspectos a considerar	40
3.1.2 Notas aclaratorias.....	41
3.1.3 LENGUAJE TÉCNICO.....	51
3.1.4 REPRESENTACION GRÁFICA.....	55
3.2 Pruebas aplicadas a las estudiantes sobre las concepciones atómicas.	57
3.3 Pruebas aplicadas a las estudiantes sobre la aplicación de la concepción atómica.....	68
4. Propuesta: Implementación de la concepción atómica en la solución de problemas conceptuales	77
4.1 La interpretación atómica contextualizada.....	78
4.2 Fundamentación de la concepción atómica por niveles.....	79
4.3 Experimentación y reflexión constante	83
Conclusiones	96
A Anexo: Prueba diagnóstica “El átomo”	99
B Anexo: Prueba diagnóstico “análisis de casos”	101

Apéndice.....	103
Bibliografía	171

Lista de imágenes

	Pág.
Imagen 1: Cambios de estado	10
Imagen 2: Momentos que le permiten al estudiante reevaluar la información que recibe. MEN	1
Imagen 3: Índice del texto 3 primer capítulo	29
Gráfica 4: Naturaleza de las fuerzas	31
Imagen 5: Ejemplo de las descripciones realizadas por el texto 4 de la fuerza de fricción. El análisis es netamente macroscópico.	32
Imagen 6: Apartes sustraídas del texto 2 sobre fuerza de tensión, normal y rozamiento respectivamente	32
Imagen 7: Inclusión de la naturaleza de las fuerzas en las fuerzas cotidianas	33
Imagen 8: Tomado texto 3; descripción de la fuerza de fricción	33
Imagen 9: Tomado de texto 2; se brindan ejemplos sencillos pero la idea que los relaciona con el concepto no se desarrolla de forma clara	34
Imagen 10: tomado de texto 2; energía potencial elástica	35
Imagen 11: Parte de la tabla de contenido que le corresponde a las primeras temáticas de estados de la materia del texto 3	35
Imagen 12: definición de sólido tomada de texto 3	36
Imagen 13: definición de líquidos y sólidos, tomada del texto 2	36
Imagen 14: diferencias entre líquidos y sólidos, tomada del texto 1	37
Imagen 15: Fases de la materia	38
Imagen 16: proceso de transmisión de calor, tomado del texto 2	39
Imagen 17: Tomado de libro 1, primera intervención de la teoría	40

atómica en el libros, presenta la descripción de la naturaleza de las fuerzas	
Imagen 18: Ejemplo de descripción de la naturaleza de las fuerzas tomado del texto 4	40
Imagen 19: Tomado de texto 2, descripción de la naturaleza de las fuerzas: fuerza nuclear débil	40
Imagen 20: Tomado de texto 2, dentro del contexto de las aplicaciones de la cantidad de movimiento.	41
Imagen 21: Tomado de texto 2, ejemplo de aplicaciones del concepto de rotaciones y momento angular	42
Imagen 22: mención de otras energías potenciales	42
Imagen 23: Tomado de texto 2, descripción de la fuerza eléctrica dentro de la descripción de naturaleza de las fuerzas, la imagen no muestra una relación clara con el texto con el que el autor lo relaciona.	43
Imagen 24: Ejemplo de las imágenes presentadas en los libros de texto para representar la fuerza de fricción	44
Imagen 25: texto e imagen que acompaña para representar la dilatación	45
Imagen 26: Enseñanza de la Física desde la concepción atómica (propuesta de la autora)	67

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Categorías de análisis de las posibles amenazas en la construcción conceptual del estudiante.	28
Tabla 2: Fuerzas abordadas por cada uno de los textos analizados.	34
Tabla 3: Rejilla de análisis prueba diagnóstica	46
Tabla 4: Rejilla de análisis prueba cierre (Estados de la materia)	56
Tabla 5: Rejilla de análisis prueba cierre (Fuerzas)	58
Tabla 6: Rejilla de análisis prueba cierre (Electrostática)	60
Tabla 7: Rejilla de análisis prueba cierre (Termodinámica)	62
Tabla 8: Indicadores Primer Nivel. MEN	69
Tabla 9: Indicadores Segundo Nivel. MEN	70
Tabla 10: Indicadores Tercer Nivel. MEN	71
Tabla 11: Indicadores Cuarto Nivel. MEN	71

Introducción

«Si, por algún cataclismo, todo el conocimiento quedara destruido y sólo una sentencia pasara a las siguientes generaciones de criaturas, ¿qué enunciado contendría la máxima información en menos palabras? Yo creo que es la hipótesis atómica (o el hecho atómico, o como quiera que ustedes deseen llamarlo) según la cual todas las cosas están hechas de átomos: pequeñas partículas que se mueven en movimiento perpetuo, atrayéndose mutuamente cuando están a poca distancia, pero repeliéndose al ser apretadas unas contra otras. Verán ustedes que en esa simple sentencia hay una enorme cantidad de información acerca del mundo, con tal de que se aplique un poco de imaginación y reflexión.» Richard P. Feynman, *Átomos en movimiento, en Lectures on Physics*, Tomo I, Capítulo 1.

Las *Conferencias sobre Física* que Feynman desarrolló durante algunos semestres en *Caltech* (California Institute of Technology) hace más de medio siglo marcaron un hito en la historia de la Enseñanza de la Física introductoria o general a nivel universitario. A pesar de la fama del laureado Nobel en física norteamericano, ese hecho no ha sido reconocido. Según sus propias palabras, el curso fue un fracaso: quienes lo aprovecharon realmente fueron los estudiantes más aventajados. El juicio es demasiado severo como autocrítica, pues no se hizo en su momento un adecuado seguimiento del mismo. En opinión de algunos, se necesitaba de un personaje de las características de Feynman para desarrollarlo como él lo hizo. No obstante, el entusiasmo que puso en el primero de los 3 tomos que forman la colección de *Lectures* no se ve del todo reflejado en

el segundo, casi íntegramente dedicado a la teoría electromagnética, escrito en forma más o menos convencional, mientras que el tercero, sobre mecánica cuántica, salvo el capítulo que repite del primero acerca del *Comportamiento Cuántico de la Materia*, no logra separarse del carácter formal de la teoría. No es este el espacio para hacer un análisis de la edición impresa que se hizo posteriormente de esas conferencias, grabadas con la tecnología del momento y recopiladas con ayuda de algunos de sus colegas, particularmente de Robert Leighton.

El presente trabajo está centrado en la enseñanza de la física a nivel medio, pero el tema es de interés también para los primeros semestres en la educación superior. Para el propósito en mente, la afirmación de Feynman viene como anillo al dedo. Para reforzarla, nos referiremos someramente a los dos capítulos aludidos, el primero, del cual tomamos textualmente la cita, y el 37, sobre *Comportamiento cuántico*. Los 2 son piezas maestras. Han sido publicados, al lado de otros capítulos del primer volumen, en una colección que se titula *Seis piezas fáciles*. Valdría la pena un esfuerzo por actualizar los 6 y agregar algunas cosas más que recojan los avances más notables logrados en la física y en las tecnologías por ella generadas.

Átomos en movimiento fue la idea original de Leucipo, ampliada por Demócrito. Epicuro fundó, un siglo después, la *escuela atomista*, la cual no sobrevivió a sus impulsores, a quienes los coetáneos tomaron por locos. Lo primero que llama la atención es la validez de la afirmación sobre la *hipótesis atómica*. Esa hipótesis y el nombre mismo de átomo para las partículas que fueron propuestas hipotéticamente por Leucipo, descubiertas o de alguna manera verificada su existencia casi 2500 años después, ciertamente no divisibles a pesar de la etimología, es quizá una muestra de lo que podría denominarse el poder predictivo de la mente.

Sin que pretendamos en modo alguno entrar en consideraciones sobre lo que hoy sabemos o desconocemos acerca de esta última, puesto que tampoco es el lugar

Conclusiones

apropiado para hacerlo, de no haberse avanzado como se ha hecho a lo largo del siglo XX sobre la concepción atómica propiamente dicha y sobre la biología molecular que se propone, entre otras cosas, explicar el origen de la vida, no tendríamos la más remota posibilidad de lograrlo o aspirar siquiera a entender el funcionamiento del cerebro y los maravillosos procesos que se dan en su interior. Algunos especulan que los más básicos de estos son de origen cuántico, pero tal hipótesis es controvertible. Es de todos modos innegable que en la base de la vida misma, en particular en el fenómeno de la fotosíntesis, hay una fenomenología cuántica que no puede dejarse de lado. Por esa y muchas otras razones, no puede postergarse por más tiempo el abordaje de algunos conceptos básicos que tienen que ver con los átomos y con los cuantos. A continuación presentamos un argumento adicional.

Aparentemente sin conexión alguna, Feynman había ofrecido una conferencia un par de años atrás que también lo hizo famoso: *There is plenty of room at the bottom*, un tema que lo convirtió, sin proponérselo, en el primer gran visionario de la **nanotecnología**. Es aquí precisamente donde quisiéramos poner el énfasis para la realización del presente ensayo y, por ende, encontrar la motivación para el mismo. En opinión del director del presente trabajo final, no hay un término que caracterice mejor el desarrollo tecnocientífico del momento que el concepto de nanoescala o escala nanométrica, opinión que se argumenta en algunos trabajos recientes. (Giraldo, 2007, 2009, 2014.)* Mencionamos, a modo de ejemplo, lo que hoy se denomina nanoneurociencia, un ambicioso proyecto que en su versión norteamericana se denomina *BRAIN Initiative*. La sigla BRAIN significa: Brain Research through Advanced Innovative Neurotechnologies, pero esta última

*Nanoescala como concepto dista mucho de la simple definición de nanómetro. La explicación de la mayor parte de los fenómenos que allí se presentan se aleja demasiado de la que estamos acostumbrados a dar de los fenómenos en el macromundo.

palabra en realidad se refiere a las nanotecnologías (*nanotechnologies*, en inglés) del momento.

Si se tiene en cuenta el progreso tecnocientífico de las últimas 2 o 3 décadas, observamos que la física que se expone en el aula está lejos de brindar herramientas al estudiante que le permitan aproximarse al contexto de la nanoescala y mucho menos a sus implicaciones para los avances y desarrollos aludidos en ciencia y tecnología. Lo mismo puede decirse de la química y de las otras ciencias básicas. Esto se debe a que aún continuamos limitados por una imagen netamente newtoniana y mecanicista del mundo, imagen que mantiene el sistema educativo aferrado al pasado, como ocurrió antes de Galileo y Newton con la visión aristotélica de la ciencia; prueba de ello es el contenido teórico-práctico de los libros de texto, los cuales inciden directamente en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias y que constituyen la *guía de navegación* del docente para las temáticas que debe tratar con sus estudiantes. Estas son tantas en los tiempos actuales que, de no escogerse adecuadamente, impiden lograr lo que la escuela debe proponerse durante ese proceso: incentivar a niños, adolescentes y jóvenes para que adquieran un método racional, más que científico, de abordar los problemas de la vida cotidiana.

En los libros de texto es palpable la desarticulación existente entre las explicaciones a nivel macro y los orígenes microscópicos que hay detrás de dichos fenómenos. Esto sugiere dos reflexiones pertinentes: por una parte, sobre la profundidad, pertinencia y actualidad de los contenidos, y por otra, sobre la forma en que estos son planteados en el contexto escolar, puesto que las relaciones que se hacen en cada uno de los niveles de enseñanza de las Ciencias Naturales rara vez son articulados de manera continua con las demás temáticas presentadas al estudiante. De hecho, el modelo o la hipótesis atómica acaba por relegarse y muchas de las principales ideas terminan transformándose en imágenes alternativas que poco tienen que ver con la imagen contemporánea de materia.

Conclusiones

Para llevar a cabo un análisis de dichas problemáticas, el presente documento se divide en tres partes:

La primera, consiste en el desarrollo del marco teórico, en el que se invita a un estudio de las ideas y las evidencias experimentales que gestaron las transformaciones que se dieron en la idea de átomo a través de la historia y que permitieron consolidar la concepción atómica que se maneja hoy en día, cuya reconstrucción se encuentra compilada en el apéndice. Por otro lado, se presenta el proceso de enseñanza que se da en los diferentes niveles de educación, en torno a la teoría en mención y su vinculación con la física.

La segunda parte corresponde a una descripción de la metodología cualitativa que se empleó para llevar a cabo el desarrollo de la investigación, tomando como muestra cuatro textos escolares de grado décimo y 41 estudiantes pertenecientes al mismo grado, a quienes se les aplicaron dos pruebas, realizadas con el fin de evaluar sus nociones previas en torno a la concepción atómica y examinar su capacidad de vincular dicha teoría (después de estudiarla) a diferentes fenómenos físicos.

En tercer lugar, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de la información recolectada en el proceso de revisión de los libros y el trabajo con las estudiantes. En éste, se hacen evidentes las falencias de los textos en torno a la inclusión de la concepción atómica y las ideas alternativas con que llegan las estudiantes a grado décimo.

Basados en estas tres instancias, se plantea que se requiere retomar la concepción atómica, hacer un trabajo interdisciplinar entre física y química (y ojalá biología), renovar y actualizar los libros de texto empleados para la enseñanza de la física y mostrar la importancia de brindar una respuesta bien fundamentada desde la concepción atómica al problema de la enseñanza de las ciencias. Para el logro de dichos objetivos se genera una propuesta que pretende un acercamiento a los fenómenos nanoescalares como tema imprescindible en el

currículo actual de enseñanza de las ciencias, y a su vez, se propone que dicho acercamiento se de en los distintos niveles de enseñanza. Ello permitiría a los docentes, más allá de un diagnóstico sobre los preconceptos de los estudiantes alrededor de estos asuntos, entrar con propuestas alternativas que al menos parcialmente remedien las grandes falencias existentes en la enseñanza unificada de las ciencias.

Delimitación de la problemática

La física que se trabaja en el aula actualmente está supeditada a los conceptos y resultados netamente clásicos. Esta situación se hace evidente en el material empleado para la enseñanza de la física en los contextos escolares, puesto que: a) aborda con superficialidad las temáticas, b) desconoce que a la luz de la física actual las explicaciones de los fenómenos macroscópicos son una respuesta al mundo micro, c) se incluyen ideas y conceptos asociados al micromundo sin un sustento teórico previo que sirva de apoyo para que el estudiante logre apropiarse del conocimiento, d) se olvida por completo de las más importantes aplicaciones de los conceptos modernos, en particular de la mal denominada física moderna (*física contemporánea* sería un término más adecuado) y e) aísla a la física de las demás ramas de las ciencias, en especial de la química, pues aunque los estudiantes aprenden estas áreas al mismo tiempo (o simultáneamente), ellas se encuentran separadas y carentes de relación, cuando no diametralmente opuestas, idea que es totalmente falsa. Algo similar podría decirse con respecto a la biología a nivel molecular, pero no vamos a hacer referencia a esta última problemática, salvo insistir en que la enseñanza de las ciencias debería tener un fundamento común, empezando por la actual concepción atómica. La tecnología postmoderna o contemporánea, como quiera denominarse, sería impensable sin el desarrollo que tuvo la física atómica y molecular hace un siglo y sin el posterior desarrollo del amplio campo de la Materia Condensada, de la que surgió entre otras la denominada Nanotecnología, fundamento de los dispositivos de todo tipo que utilizan niños, jóvenes y adultos. De hecho, este último tema debería llevar a un replanteamiento del proceso enseñanza-aprendizaje, pero no es este el lugar apropiado para plantearlo.

1. Marco teórico

1.1 Concepción atómica

Se ha tomado como ingrediente básico el átomo, con el fin de proveer elementos para la enseñanza y aprendizaje de diversas concepciones científicas, dado que no se puede negar que el comportamiento a nivel macro de la materia y la energía no es más que el resultado de todo lo que ocurre en el micromundo, y por ello la mejor interpretación de muchos fenómenos está en la visualización atómica y molecular que se haga del mismo.

Desde hace décadas la comunidad científica ha llegado a esta conclusión y con ello se ha favorecido el desarrollo no solo de la física, sino de la ciencias en general y, por supuesto, las actividades humanas que se alimentan de estas, como la tecnología en sus diferentes extensiones. Es de resaltar que la historia del átomo está lejos de ser reciente y que sus aplicaciones no son tan novedosas como a veces se pretende; es una historia que inicia 5 siglos antes de cristo y que hoy, después de grandes transformaciones, continúa albergando misterios en su interior.

Bajo estas condiciones, desde el punto de vista pedagógico se hace necesario volver a las ideas iniciales que sirvieron de base para el desarrollo de lo que hoy es la concepción atómica; no podemos simplemente presentar al estudiante el modelo atómico actual y pretender que sea evidente para él; por ello al presente análisis conviene agregarle una mirada histórica de la evolución del concepto, de las experiencias que gestaron los cambios drásticos en la concepción del átomo y las fallas de los modelos anteriores ante los resultados de dichas experiencias. (Ver Apéndice)

1.2 Enseñanza de la física

La física, dentro de los estándares de educación colombianos, está vinculada al proceso pedagógico de enseñanza-aprendizaje de las Ciencias Naturales y Educación Ambiental, por ende en el abordaje que se realizará a continuación algunos apartados se relacionarán con las mismas.

Para llevar a cabo el análisis de la forma en que se transmiten las nociones básicas de la asignatura de Física y la forma en que los estudiantes se apropian de aquellas, se tendrán en cuenta aspectos fundamentales como: el lenguaje formalizado propio de la asignatura, los procesos de pensamiento de los estudiantes, los niveles de enseñanza de la Física desde la propuesta del MEN (2003) y el rol del docente, dado que estos corresponden a los ejes articuladores de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

1.2.1 Lenguaje formalizado

Se entiende por lenguaje formalizado la construcción semántica que da cuenta de unas fórmulas o términos especializados o válidos para una comunidad específica; la finalidad del mismo es evitar las imprecisiones que en ocasiones se presentan en el lenguaje ordinario.

Para el aprendizaje significativo de la Física en el nivel básico es fundamental que el estudiante comprenda a cabalidad la información que se le está presentando, pues como lo plantea el MEN (1998):

“El proceso natural es que toda asección o concepción acerca del mundo se exprese primero en un lenguaje natural; esta expresión, y muchas otras, van siendo depuradas, simplificadas, precisadas y relacionadas con la ayuda de un sistema simbólico que poco a poco se va convirtiendo en el lenguaje formalizado propiamente dicho y que en muchos casos, se compendia en fórmulas matemáticas que permiten

eliminar cualquier ambigüedad y expresar las relaciones con generalidad y precisión.” (Pág. 53)

En dichas condiciones es necesario partir de lo conocido por el estudiante para que gradualmente se apropie de los nuevos términos o estructuras para llegar a un resultado específico. De lo contrario, se pueden generar una serie de vacíos que hacen de las cosas, eventos y procesos del mundo natural, propios de las ciencias fácticas, relaciones complejas que los estudiantes prefieren evadir.

Esta inmersión prematura en clase de los lenguajes formalizados y los modelos científicos, sin partir de la realidad del estudiante, lleva a confusiones tales como la que presentan varias estudiantes de décimo grado que ante la Imagen 1 afirman que “al cambiar de estado sus partículas son diferentes”

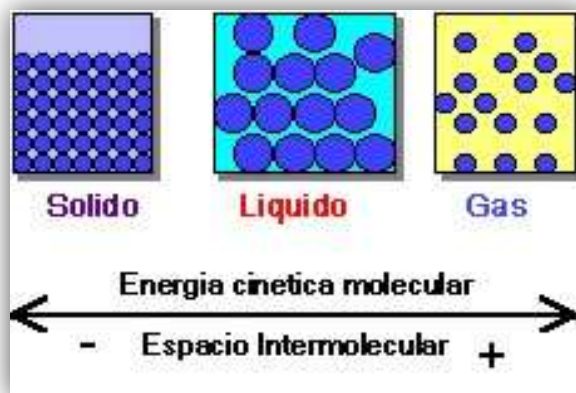


Ilustración 1 Cambios de estado

Por ejemplo, los niveles de abstracción que requieren los estudiantes para comprender esta imagen en su mayoría están fijados por los preconceptos que posee cada uno y el vocabulario que ha empleado en niveles escolares anteriores para dar la explicación a un fenómeno natural cotidiano, pero cuando observan “términos extraños” lo usan memorísticamente sin otorgarle un significado ni establecer relaciones de causa-consecuencia, como lo plantea el MEN (1998)

Conclusiones

El paso apresurado a los lenguajes formalizados, lo único que produce es un manejo sintáctico, en ocasiones correcto, desprovisto de toda semántica. Se encuentran estudiantes que reproducen todos los pasos de una demostración sin entender qué es demostrar ni qué han demostrado; estudiantes que desarrollan aparentemente en forma impecable la solución de un problema sin entender qué problema tenían que resolver; estudiantes que resuelven un tipo de problema con una presentación determinada pero que no resuelven otro del mismo tipo porque se presenta de una forma distinta. (Pág. 48)

Se requiere entonces realizar una transición gradual, involucrando descripciones con un lenguaje que le permita al estudiantes encontrar sentido y significado a lo que hace y luego emplear las abstracciones conceptuales propias de la asignatura, transformando al estudiante en un agente activo de su proceso de aprendizaje y crítico frente a lo que lee o le presentan.

1.2.2 Procesos de pensamiento

El cambio en el proceso de pensamiento se origina cuando el estudiante es capaz de confrontar la realidad que percibe con la teoría que se le presenta, tal como lo plantea el MEN (1998)

“El alumno, después de estar seguro de que puede dar crédito a lo que observa, realiza cambios en su sistema de conocimientos para que lo observado sea una consecuencia lógica del conjunto de proposiciones que expresan el sistema de conocimiento. Si lo logra, obtendrá un nuevo sistema de conocimientos que se equilibra con lo que hasta ahora conoce de los procesos del Mundo de la Vida y, en consecuencia, habrá construido nuevos conocimientos acerca de él. Pero, al mismo tiempo, se habrá situado en un punto de vista diferente que le permite ver cosas nuevas en los procesos del Mundo de la Vida, que antes le eran totalmente “invisibles”. Esta nueva perspectiva y los nuevos procesos visibles para él, lo llevarán a nuevos desequilibrios que tendrá que eliminar recorriendo este ciclo una y otra vez.” (Pág. 62)

De esta forma, se puede expresar que el alumno debe estar en la capacidad de evaluar un fenómeno desde una mirada crítica, de tal forma que le genere un cambio de paradigma, lo cual solo sucederá si cuenta con el conocimiento y las estrategias que le permitan reevaluar constantemente la información que recibe y las propuestas que produce.

Para cambiar esta realidad desde el MEN (1998) se proponen tres momentos:

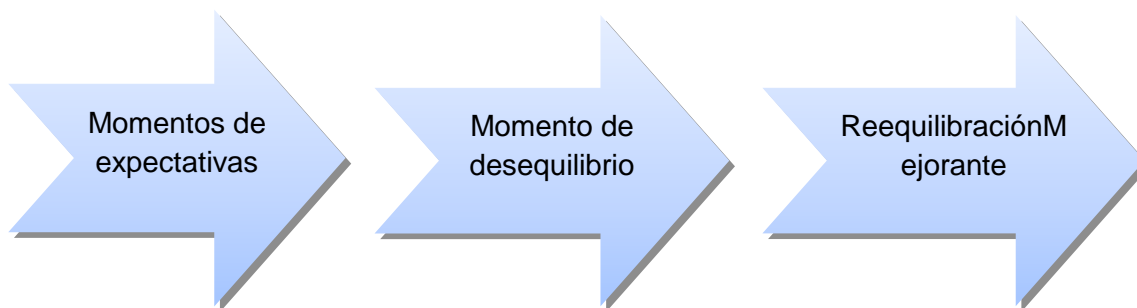


Ilustración 2 Momentos que le permiten al estudiante reevaluar la información que recibe. MEN

- 1) El momento de un primer estado de equilibrio que nos hace concebir los procesos del Mundo de la Vida de una cierta manera y esperar de él que se comporte dentro de un cierto rango de posibilidades. Lo hemos denominado el momento de las expectativas.
- 2) El momento en que lo observado entra en conflicto con lo esperado; es el momento del desequilibrio.
- 3) El momento en que se reorganiza el sistema de conocimientos para llegar a un estado de equilibrio más evolucionado; lo hemos llamado el momento de la Reequilibración Mejorante.

Estos momentos permiten evidenciar que es importante que el estudiante se enfrente por sí solo a situaciones académicas conflictivas que le lleven a repensar lo que conoce, explicarlo y debatirlo con el fin de encontrar una explicación al fenómeno que se le presenta.

1.2.3 Niveles de enseñanza de la física

Desde el MEN se formulan cuatro niveles de enseñanza de las Ciencias Naturales de acuerdo a la complejidad de los temas y los que sirven de fundamentos, los cuales están distribuidos de la siguiente forma:

Primer Nivel:

Abarca desde el grado cero hasta el tercer grado y se incluyen las preguntas del tipo:

- ¿Qué...? Descripción de un objeto o un evento.
- ¿Cómo...? descripción de un proceso.
- ¿Por qué...? son las más difíciles de contestar, pues rara vez tienen respuestas definitivas. Generalmente hay una respuesta inicial que lleva a otra pregunta más fundamental. El valor del por qué radica en que esa pregunta lleva a las explicaciones, las teorías, las atribuciones causales, el razonamiento predictivo a partir de la formulación y puesta en marcha de modelos internos. Esa pregunta es la que permite detectar las preteorías o concepciones alternativas de los alumnos.
- ¿Para qué...? se refieren a los propósitos, finalidades o logros que se buscan alcanzar al interactuar con objetos y eventos del mundo y al desarrollar procesos.

Las respuestas a estas preguntas constituyen la forma más sencilla de explorar el mundo físico puesto que permiten el conocimiento y la exploración de una realidad circundante, y le otorgan la posibilidad al estudiante de acercarse desde diferentes puntos de vista.

Segundo Nivel

Abarca los grados cuarto, quinto y sexto y en este nivel se pretende que los estudiantes expliquen cómo serían determinados fenómenos en unas circunstancias dadas, es decir, producir hipótesis predictivas, lo cual implica que se cuente ya con alguna teoría, aunque sea muy sencilla, acerca del mundo.

Esta complejización progresiva de la información lleva a que adicionalmente el estudiante deba justificar sus ideas con promedios, datos y juicios de valor no tan sencillos y que puedan ser contrastados con otros ejemplos o eventos análogos.

Tercer Nivel

Abarca los grados séptimo, octavo y noveno, y adicional a los elementos propuestos en los niveles anteriores, los estudiantes deben establecer relaciones que no sólo pueden ser ordinales sino que, además, deben poderse expresar en términos cuantitativos.

Cuarto Nivel

Comprende los grados décimo y undécimo; en este nivel, tal como lo expresa el MEN (1998)

“Se hace énfasis en el carácter holístico de las teorías y se pide al estudiante que sea capaz de entenderlas de esta forma. En otras palabras, se espera de él que entienda las relaciones lógicas entre las diferentes leyes e hipótesis que conforman la teoría y que sepa hacer deducciones de ellas que permitan derivar aplicaciones prácticas. Esta capacidad de hipotetizar alcanza su máximo nivel de desarrollo cuando el alumno es capaz de formular apropiadamente hipótesis del tipo: Si... entonces...”
(Pág. 45)

Para el desarrollo de la presente investigación adquiere gran importancia este último nivel porque conlleva la revisión de los conocimientos adquiridos por los estudiantes en su desarrollo académico y permite incidir directamente en la forma en que los estudiantes configuran los diferentes fenómenos naturales que le rodean y evaluar la capacidad valorativa y propositiva de las mismas.

1.2.4 Rol docente

El docente de las áreas que componen las Ciencias Naturales debe ofrecerle al estudiante la posibilidad de establecer una relación cercana con el saber que desea transmitirle, con el fin de que éste llegue a una conclusión por sus propios medios, tratando de limitar su capacidad de raciocinio con una verdad absoluta

“su misión es la de permitirle al estudiante apropiarse de un legado cultural en permanente evolución como son las teorías científicas. El estudiante que se apropia de este legado podrá ser uno de los que lo modificarán en busca de mejores explicaciones del mundo conocido y de preguntas que nos lleven a la ampliación de su extensión.” (Pág. 63)

De esta forma se requiere cambiar la mirada del docente y ayudarlo a que se conciba como un guía dentro del proceso de aprendizaje, dado que en ocasiones cuando se da un error propio de la ciencia en algún estudiante, no se concibe como un momento del desarrollo del pensamiento científico, sino como una equivocación debida a una falta de estudio o de alguna dificultad de aprendizaje.

Para iniciar la transformación en el proceso de acompañamiento del docente, es importante que este emplee estrategias propias del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales que le permitan al estudiante identificar un error en algún texto o imagen que se le presente, tratando de ser lo más críticos posibles y evitando la intransigencia que se pudiera presentar si se es necesario romper un paradigma personal, dado que cada persona está cargada de preconcepciones que en ocasiones se tornan persistentes a pesar de varias explicaciones que se ofrecen en bachillerato.

En ese sentido Greca y Herscovitz (2002) expresan:

“Consideramos que es necesario adoptar estrategias didácticas que facilitan la formación de los (nuevos) núcleos que direccionan la visualización de los fenómenos; o sea, intentar ayudar a los estudiantes a incorporar significativamente los conceptos, las ideas que deben estar en los núcleos de los modelos mentales adecuados para la comprensión de

esta teoría física. En principio, esos conceptos no forman parte de la estructura cognitiva de los estudiantes y los intentos de “aproximarlos” a los conceptos clásicos conocidos (que es en parte lo que se intenta desde el abordaje tradicional) no parecería ser una buena alternativa. Consideramos que una solución posible es, sobre todo en las disciplinas introductorias, focalizar los experimentos y observaciones que enfatizan los primeros principio de la mecánica cuántica”. (Página 330)

Esta mirada lleva a la necesidad de generar un cambio en la forma en que se enseña la física, los términos que emplea el docente y el propio acompañamiento que realiza el mismo.

2. Metodología

2.1 Enfoque de la Investigación: cualitativo

La metodología cualitativa tiene como objetivo presentar los datos o la información obtenida en una investigación, empleando métodos abiertos a la interpretación y correlación de variables, que implican cuestionamientos a través de preguntas abiertas. Dichas preguntas permiten explorar y entender los comportamientos, las motivaciones y la información presentada por los individuos objeto de estudio, haciendo posible que los hallazgos sean comprensibles por el investigador.

De acuerdo con Sampieri

El enfoque cualitativo, por lo común, se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, pero no necesariamente, se prueban hipótesis (Grinnell, 1997). Con frecuencia se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones. Por lo regular, las preguntas e hipótesis surgen como parte del proceso de investigación y éste es flexible, y se mueve entre los eventos y su interpretación, entre las respuestas y el desarrollo de la teoría. Su propósito consiste en “reconstruir” la realidad, tal y como la observan los actores de un sistema social previamente definido (Pág.107)

De esta manera, este tipo de enfoque investigativo utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación y puede o no probar hipótesis en su proceso de interpretación, lo que permite describir y analizar los fenómenos que intervienen en la investigación, y que además le llevan a analizar explícitamente las teorías seleccionadas para comprobar o confirmar la tesis presentada como posible fuente de solución a la problemática abordada en el estudio.

La utilidad de este enfoque dentro de la presente investigación radica en la posibilidad de hacer una construcción previa de los instrumentos de recolección de la información con el fin de que se puedan mostrar de manera más clara los resultados obtenidos en las pruebas, dado que algunas interacciones con los instrumentos de recolección de información se llevaron a cabo grupalmente y esta situación condiciona los resultados, ya que algunos estudiantes pueden llegar a tener mayor influencia y modificar la forma de resolver las actividades formuladas. También las condiciones sobre las cuales se origina el proceso de investigación, dado que el mismo se mueve dinámicamente entre los “hechos” y su interpretación.

2.2 Muestras

Teniendo en cuenta la finalidad del presente trabajo investigativo la muestra está compuesta por dos objetos de estudio, los cuales se relacionaran en la etapa de aplicación de instrumentos de recolección de información y análisis.

Muestra 1:

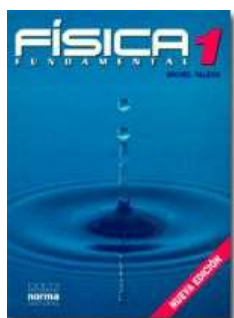
Corresponde a 4 libros de enseñanza de la física en Décimo grado pertenecientes a editoriales reconocidas en el país por lo tanto comercializados a gran escala, y publicados en diferentes años.

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los textos y una valoración de la forma en que presenta el contenido.

Conclusiones



Texto: 1
 Autor: Zalamea, E; Rodriguez, J; Paris, R
 Título: Física 10ª
 Editorial: Educar Editores
 Año de publicación: 1999
 Ciudad de edición: Bogotá
 Páginas: 255



Texto: 2
 Autor: Valero, Michel
 Título: Física fundamental 1
 Editorial: Norma
 N° de la edición: Décimo novena reimpresión 2005
 Ciudad de edición: Bogotá
 Páginas: 288



Texto: 3
 Autor: Tippens, Paul E
 Título: Física conceptos y aplicaciones 1
 Editorial: Mc Grawn Gil
 Edición: 2009
 Ciudad de edición: Bogotá
 Páginas: 380



Texto:4
 Autor: Vaultista, M y Salazar, F
 Título: hipertexto
 Editorial: Santillana
 Edición: 2011
 Ciudad de edición: Bogotá
 Páginas: 288

Para la citación de los libros en el proceso de análisis de la información se tomará como referente el orden que se les ha asignado en la anterior presentación mediante la utilización de los números secuenciados del 1 al 4.

Muestra 2:

Corresponde a un grupo de 41 estudiantes del Colegio Secretariado Social de Soacha cursantes de grado décimo, quienes oscilan entre 14 y 16 años de edad. Este curso es la iniciación al área de física, y el área que la antecede es la biología, en donde incluyen pequeños espacios de prácticas para la introducción a la química. En cuanto a los conocimientos de la concepción atómica, sus primeros acercamientos se dieron en grado quinto en la asignatura de ciencias naturales, ideas posteriormente retomadas en el grado octavo.

Para el desarrollo de la investigación el grupo fue dividido aleatoriamente en dos partes, con el fin de evidenciar el impacto que genera la inclusión de la concepción atómica en el análisis del mundo macro.

- ✓ G1: conformado por 20 estudiantes. A este grupo se le aplicaron cuatro pruebas, una prueba de diagnóstico, dos de control y una de cierre. Además de las clases propias de la jornada, el grupo asistió a sesiones extraescolares en las que se profundizó en las nociones básicas de la concepción atómica, mediante charlas, lecturas y videos.
- ✓ G2: conformado por 21 estudiantes. A este grupo se le aplicó una prueba de diagnóstico y una de cierre y participaron en las clases propias de la jornada escolar.

2.3 Instrumentos para la recolección de la información

Para la recolección de la información se construyeron tres formatos:

Conclusiones

Pruebas

Se elaboraron dos pruebas, una de diagnóstico y otra de cierre, con las que se buscaba medir los conocimientos que tenían las estudiantes de los grupos G1 y G2 sobre el modelo atómico y los preconceptos, los cuales se modificaron al final de la aplicación.

Además se elaboraron dos pruebas para el grupo G1 que tenían la finalidad de controlar la forma en que las estudiantes estaban asimilando lo aprendido en las sesiones extraescolares. Para la elaboración de las mismas se tuvieron en cuenta como ejes temáticos:

- Concepción de átomo
- Modelos atómicos
- Cargas
- Estados de la materia
- Interpretación atómica de los fenómenos macroscópicos.

Rejillas de análisis

Para analizar la información obtenida en la aplicación de las pruebas se construyeron rejillas que permitían evaluar las categorías subyacentes en las interpretaciones de las estudiantes.

CATEGORIA	CRITERIO	RESPUESTAS	G1 N°	%	G2 N°	%
EL ATOMO	IDENTIFICACION					
	MODELOS ATOMICOS					
	COMPOSICION					

ESTADOS DE LA MATERIA	DISTRIBUCION					
	CARGAS					
	PORQUE ESTUDIARLO					
	ESTADOS DE LA MATERIA					
	CAMBIOS DE ESTADO					
IMAGEN	INTERPRETACION IMAGEN					

Tabla 1 Ficha textuales: este tipo de fichas permite extraer información sin distorsión y literalmente de las fuentes consultadas con el ánimo de emplearlas en el análisis y ejemplificación de los datos obtenidos.

Fichas

Para la revisión documental se utilizaron diversos tipos de fichas:

- Fichas bibliográficas: empleadas para recopilar los datos de los diferentes textos, fuentes, autores y otros elementos relevantes en el momento de llevar a cabo el análisis de la información obtenida.

2.4 Fases del desarrollo de la investigación

La investigación está encaminada a mostrar cómo se presentan las diferentes temáticas en los textos de física de grado décimo en cuanto a la inclusión de la concepción atómica y evaluar si los saberes previos de las estudiantes les permiten acceder a la información suministrada por los libros de texto.

En este contexto el desarrollo de la presente investigación se realiza bajo tres fases:

2.4.1 FASE I: Revisión de textos

Esta fase consiste en una revisión del contenido de los cuatro libros presentados en la muestra, destacando algunos apartes donde se tiene en cuenta la descripción desde el punto de vista atómico o molecular, y/o donde no se presenta la concepción atómica a pesar de su transcendencia en la explicación en algunos conceptos específicos trabajados por el libro.

2.4.2 FASE II: Evaluación del nivel de conceptualización e ideas alternativas de las estudiantes

Teniendo en cuenta la información encontrada en los libros y con el fin de corroborar las hipótesis planteadas frente a las falencias conceptuales que pueden generar en los estudiantes el vocabulario técnico o la falta de explicación de un tema, se realizaron dos pruebas que fueron aplicadas a los 2 grupo de estudiantes (G1 y G2) de décimo grado.

La primera de ellas busca evaluar las ideas previas de las estudiantes en torno a la concepción atómica; allí se pretende también encontrar aquellas ideas alternativas que puedan intervenir negativamente en la estructuración de un concepto dado.

La segunda, por su parte, pretende evaluar hasta qué punto las estudiantes logran interpretar las fenomenologías macroscópicas y explicarlas en términos de las interacciones a nivel atómico o molecular.

2.4.3 FASE III: Análisis de resultados

Esta fase busca organizar y analizar la información recolectada durante las dos fases anteriores; para ello se exponen una serie de apartes tanto de los libros como de las respuestas de las estudiantes.

3. Análisis de los resultados

3.1 Base del análisis de los textos escolares

Es pertinente recordar que el análisis realizado apunta única y exclusivamente a la inclusión de la concepción atómica en la consolidación de los conceptos y las temáticas desarrolladas en los libros, y por ende solo son relevantes las instancias donde se haga cualquier mención o explicación que contenga ideas o conceptos a nivel atómico o molecular.

En este orden de ideas y basados en la revisión de los 4 libros de texto, se realizó un análisis teniendo en cuenta cuatro temas; el orden puede variar: fuerza, energía, estados de la materia y termodinámica.

Fuerza:

Pese a que las leyes de Newton se encuentran inmersas en todo libro introductorio de física, las descripciones de las propiedades independientes, como la ley que expresa la relación de causa a efecto entre la fuerza y la aceleración, mediada por la inercia o masa del cuerpo ($f=ma$), constituyen el único legado aparentemente bien cimentado y elaborado para la comprensión del estudiante; no obstante, el concepto de fuerza a partir de allí, no va más allá de una descripción matemática, en ellos no se da ninguna herramienta que permita

Conclusiones

al estudiante interpretar lo que ocurre, por ejemplo, cuando dos cuerpos se empujan mutuamente (interacción repulsiva) o por qué un carrito de juguete se frena (interacción atractiva) después de ser impulsado sobre una superficie horizontal.

Al respecto, se intenta suplir la necesidad de responder al por qué sin precisar lo que es fuerza, asignando nuevos nombres a esta según el contexto, como por ejemplo la normal o la fuerza de rozamiento, entre otras, para acercar al estudiantes a una conceptualización sin fundamentación.

Pese a los adelantos de la física en los últimos siglos, no hay definición satisfactoria del concepto de fuerza [Feynman 1998]. Actualmente se conocen aproximaciones que permiten ver con más detalle lo que ocurre en casos como los presentados anteriormente. En lo concerniente a los libros de texto escolares se espera que estos brinden a los estudiantes herramientas conceptuales para desarrollar sus habilidades científicas, dando fundamentos que desde un inicio permitan aumentar la exactitud en la descripción de la realidad, con un lenguaje claro y soportado por unas bases firmes.

Energía:

Este concepto es fundamental ya que permea gran parte de las ciencias y las tecnologías. Muchas de las explicaciones y soluciones de problemas abordados ellas deben ser analizados a partir de términos energéticos, ejemplos abundantes de ello se encuentran en la termodinámica, las ondas, el electromagnetismo, entre otros, para no hablar de la mecánica, en donde la energía puede tomarse como punto de partida, o de las ciencias sociales en donde se utiliza el término por analogía.

La diversidad en las formas de encontrar la energía en el universo (gravitacional, cinética, calórica, elástica, eléctrica, química, radiante, nuclear, de masa y otras),

hace que este tema permee todas las ramas de la física, y dado que el concepto de energía influye en y desde las instancias más elementales, su descripción y los fenómenos que de ella se derivan deben ser estudiados desde el punto de vista atómico (o subatómico), y así exponer en los casos correspondientes los fenómenos macroscópicos como una consecuencia del agitado interior de la materia o de sus ingredientes básicos, la interacción materia-radiación a nivel atómico.

En este orden de ideas, los libros deben propiciar el análisis de los fenómenos macroscópicos desde una mirada microscópica, bien sea apoyado en las analogías (con las respectivas correcciones que requiere pasar del microcosmos, al mundo palpable), las comparaciones en los cambios de escala y los comportamientos cuánticos presentes en las instancias más pequeñas de la materia. Recuérdese que este concepto es fundamental en la física cuántica y en la relativista.

Estrategias como estas no solo favorecen a esta temática en específico, sino que también facilitan la comprensión de otras temáticas que por lo general resultan complejas, como el electromagnetismo, ya que parece romper bruscamente la barrera de las escalas, que muchas veces se pasan por alto, y donde se espera que el estudiante sin un trabajo previo, dimensione escalas de hasta diez órdenes de magnitud menores (o veinte veces mayores, a nivel cósmico).

Estados de la materia:

Las ideas alternativas de las estudiantes en torno a la materia se gestan desde dos instancias, las originadas desde su contexto diario y las descripciones adoptadas en sus primeros niveles escolares, dado que se familiarizan con ellas al transcurrir cada año escolar. Es por ello que en estas unidades debe asumirse el punto de vista atómico desde un comienzo y así apuntar, por un lado a suplir todas las falencias en las preconcepciones de las propiedades de la materia y

Conclusiones

sus cambios de estado y por el otro, brindar definiciones más próximas a la realidad del momento.

También se espera que el texto brinde las herramientas para que el estudiante conciba de manera apropiada ideas fundamentales para el buen desarrollo de esta(s) unidad(es), como por ejemplo las ideas de densidad –viscosidad, y presión – fuerza, estableciendo las diferencias entre las mismas, que le permitan interpretar correctamente los problemas que se asignan durante esta temática. Un tema que se suele dejar de lado es el del cambio de estado a partir de una concepción atómico-molecular.

Termodinámica:

Este tema es transversal a todos los anteriores, pero se suele presentar de manera aislada y descontextualizada. La termodinámica y la física estadística nacen de las más pequeñas escalas, por ende se hace ineludible realizar un abordaje de esta desde lo microscópico. La teoría cinética molecular y los conceptos fundamentales que de ella se derivan, temperatura, calor, entropía, cambios de estado y mecanismos de transferencia de energía entre otros, deben estar soportados por una concepción atómica bien estructurada, y el texto debe contribuir a rastrear las evidencias de los fenómenos que percibimos desde nuestra experiencia sensorial, hasta sus explicaciones en términos si se quiere estadísticos, y no solo a partir de una conceptualización mecanicista y determinista, sobre la cual se pide vincular algunos datos producto de un problema, asumiendo un papel netamente macroscópico y operacional.

Podría afirmarse que la termodinámica, siendo la más importante para las aplicaciones diarias, es la parte de la física básica peor presentada en los textos de física, cuando por el contrario es la parte de la disciplina científica que permite

relacionar todas las ciencias básicas y todas las tecnologías. Desde nuestro punto de vista, merece un tratamiento especial acorde con los cambios que han ocurrido en el mundo a partir de las revoluciones tecnocientíficas más recientes.

3.1.1 Aspectos a considerar

A su vez, el análisis de los textos se realizó teniendo en cuenta tres categorías

de análisis que corresponden a las posibles amenazas en la construcción conceptual del estudiante, entendidos en los siguientes términos:

Notas aclaratorias	Este criterio centra su atención en las herramientas propias que brinda el texto para la comprensión de un concepto, el orden en que se desarrollan las ideas y la pertinencia de los ejemplos presentado
Lenguaje técnico	En este aspecto se pretende evaluar la pertinencia del lenguaje empleado por el texto, con base en las ideas previas de las estudiantes y el manejo de las definiciones que faciliten la apropiación de la nueva terminología.
Representaciones gráficas	Ante la importancia que tienen las imágenes en el proceso de enseñanza aprendizaje, se tomaron algunas imágenes como ejemplo de posibles fallas en estas, ante la interpretación de las mismas y su influencia en la construcción de concepto desde el punto de vista atómico.

Tabla 1: Categorías de análisis de las posibles amenazas en la construcción conceptual del estudiante.

3.1.2 Notas aclaratorias

Primeras nociones de fuerzas planteadas por los textos

En este aspecto se comenzó por hacer una revisión de la tabla de contenidos de los libros examinados y se encontró, por ejemplo que en el primer capítulo por lo general se hace un compendio de todas las herramientas que el estudiante va a requerir para comprender el resto del libro, como es el caso del texto 3:

1.2	Matemáticas técnicas	6
1.2.1	Números con signo	6
1.2.2	Repaso de álgebra	9
1.2.3	Exponentes y radicales	11
1.2.4	Solución a ecuaciones cuadráticas	14
1.2.5	Notación científica	15
1.2.6	Gráficas	17
1.2.7	Geometría	18
1.2.8	Trigonometría del triángulo rectángulo	21
1.3	Cantidades físicas	26
1.4	El Sistema Internacional	27
1.5	Medición de longitud y tiempo	29
1.6	Cifras significativas	30
1.7	Instrumentos de medición	32
1.8	Conversión de unidades	33
1.9	Cantidades escalares y vectoriales	36
1.10	Suma o adición de vectores por métodos gráficos	38
1.11	Trigonometría y vectores	40
1.12	Adición de vectores por el método	

Imagen 3: Índice del texto 3 primer capítulo

Es evidente que la idea atómica está totalmente excluida, y por ende parece no ser requerida en el resto del libro, de igual forma los demás textos excluyen dicha idea y no es solo del primer capítulo sino del resto de texto en general.

Una vez revisado las tablas de contenido, se procede a explorar la forma en que la concepción atómica puede ser incluida en las unidades temáticas correspondientes a décimo grado.

Iniciando con la cinemática, dado que no se requiere la concepción atómica para su desarrollo, se puede justificar que dicha teoría no se encuentre en los primeros capítulos asignados para la descripción de tal tema. Es solo hasta cuando se llega al desarrollo conceptual de la dinámica que comienzan algunos textos a hacer mención de entidades microscópicas dentro de la explicación de los fenómenos a nivel macro.

En el caso del texto 1, 2 y 4 se habla de las fuerzas fundamentales de la naturaleza, la fuerza gravitacional, las fuerzas electromagnéticas y las fuerzas nucleares tanto la débil como la fuerte.

Nótese que las descripciones hechas en la imagen 4, de cada uno de los tipos de fuerzas, se hacen de manera muy superficial y en especial los casos de las fuerzas electromagnéticas y las fuerzas nucleares se requiere claridad en cuanto a la constitución interna del átomo y a nociones de fuerza eléctrica y fuerza magnética, las cuales, cabe aclarar, no se mencionan previamente en el texto.

Otro tipo de descripciones como la propuesta en el caso del texto 4, permite evidenciar (ver Imagen 5), que pese a realizar una ligera mención de las cuatro fuerzas fundamentales, (aún más superficial de la hecha en el texto anterior), a la hora de hacer una caracterización de las fuerzas que reconocemos en nuestra cotidianidad, (normal, peso y rozamiento entre otras) se desconoce por completo la idea que las vincula con las cuatro fuerzas fundamentales presentadas en un inicio, y su descripción se hace sobre un marco conceptual puramente macroscópico; esto daría a entender que son otras fuerzas totalmente aisladas y con un régimen totalmente diferente a las cuatro fuerzas mencionadas.

Conclusiones

8.3 Naturaleza de las fuerzas

Todas las interacciones que conocemos se traducen solamente por tres tipos de fuerza; ellas son:

a. Fuerza gravitacional

Es una fuerza de atracción entre dos cuerpos, debido a que ambos poseen una cualidad que llamamos *masa* y que precisaremos más adelante.

Esta fuerza es muy débil, y para sentir su efecto es necesario que por lo menos uno de los dos cuerpos tenga una dimensión planetaria, como el Sol, la Tierra, la Luna...

Si abandonamos un cuerpo sobre la Tierra, diremos que la fuerza gravitacional producida por esta sobre el cuerpo es el *peso* (figura 3.4). Si queremos medirlo, lo suspendemos de un resorte calibrado, cuya deformación nos dará la magnitud y la dirección del peso.

b. Fuerza electromagnética

Se descompone en:

- Una *fuerza eléctrica*, que es la de atracción o repulsión entre dos cuerpos, debido a que ambos poseen una cualidad que llamamos *carga eléctrica*, que precisaremos en electricidad (figura 3.5).
- Una *fuerza magnética*, que es una fuerza adicional a la anterior, cuando las *cargas están en movimiento*.

Estas fuerzas también pueden medirse por medio del resorte calibrado. Así, vemos que podemos calcular el valor de cualquier fuerza independientemente de su naturaleza, por la dirección y deformación de un resorte.

Entre electrones y protones hay fuerzas electromagnéticas.

Fuerzas nucleares

Se descomponen en:

- Una *fuerza nuclear fuerte*, que explica por qué las partículas dentro del núcleo se mantienen unidas. Es la más fuerte de todas las fuerzas. Sin embargo, desaparece cuando se separan las partículas.

Entre protones y neutrones hay fuerzas nucleares fuertes.

- Una *fuerza nuclear débil*, que explica cómo se producen ciertas desintegraciones radioactivas del núcleo.

Imagen 4: Naturaleza de las fuerzas

Para analizar más a fondo lo que sucede con las irregularidades de dos superficies en contacto al ser presionadas, podemos considerar cada superficie como una lija, cuyo material abrasivo corresponde a las irregularidades.

Si se presiona un trozo de lija contra el otro, los granos se entrelazan y, al aplicarse una fuerza paralela a la superficie, dificultan el desplazamiento, lo cual da origen a la fuerza de rozamiento. La cantidad de material abrasivo (granos) de cada lija hace evidente fuerza de rozamiento que actúa sobre cada superficie.

Cuanto más se presionan los trozos de lija, más se incrustan los granos del uno en la superficie del otro y en consecuencia, mayor resulta la fuerza necesaria para desplazar las superficies hasta alcanzar un valor máximo, es decir, hasta el momento en el cual un trozo de lija comienza a moverse con respecto al otro.

Imagen 5: Ejemplo de las descripciones realizadas por el texto 4 de la fuerza de fricción. El análisis es netamente macroscópico.

Por otro lado, el texto 2, hace una presentación de las fuerzas cotidianas en la que se intenta vincular éstas con las cuatro principales, mostrando algunas pinceladas de la teoría, sin embargo estas no son suficientes ni siquiera para clasificarlas en los tipos de fuerzas.

Como las moléculas de la cuerda se separaron, la fuerza de restitución, llamada *tensión*,

Consideremos un cuerpo sobre una superficie plana. Las moléculas comprimidas de la superficie producen sobre el cuerpo una fuerza elástica, dirigida de la superficie hacia el cuerpo y normal a la superficie, y que denominaremos *fuerza normal* (figura 3.9).

Notemos que si, microscópicamente, el rozamiento es debido a las interacciones electromagnéticas entre las diferentes moléculas, macroscópicamente se debe a las asperezas y deformaciones de las superficies en contacto.

Imagen 6: Apartes sustraídas del texto 2 sobre fuerza de tensión, normal y rozamiento respectivamente

En cuanto al texto 1, se habla en un principio de las fuerzas cotidianas desde sus implicaciones en el movimiento, y posteriormente se intenta incluirlas dentro de los cuatro tipos de fuerza

Conclusiones

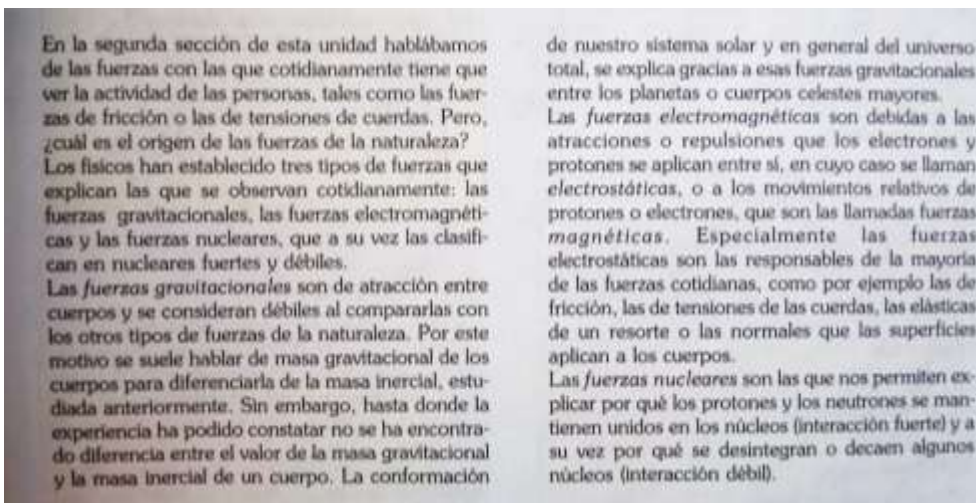


Imagen 7: Inclusión de la naturaleza de las fuerzas en las fuerzas cotidianas

Esta forma de organizar las ideas puede no contribuir pedagógicamente, pues el estudiante se encuentra familiarizado de una u otra forma con las fuerzas cotidianas, y el texto en un principio refuerza estas ideas, así que el estudiante no concibe la necesidad de un cambio en sus concepciones, razón por la cual las nuevas descripciones a la larga terminan por no trascender en la construcción conceptual del estudiante.

El texto 3 por su parte, omite que existen unas fuerzas fundamentales, y así mismo la explicación de las fuerzas cotidianas está dada únicamente en función de las condiciones macroscópicas y de su implicación en el movimiento, como se evidencia en la imagen presentada a continuación.

Siempre que un cuerpo se mueve estando en contacto con otro objeto, existen *fuerzas de fricción* que se oponen al movimiento relativo. Estas fuerzas se deben a que una superficie se adhiere contra la otra y a que encajan entre sí las irregularidades de las superficies de rozamiento. Es precisamente esta fricción la que mantiene un clavo dentro de una tabla, la que nos permite caminar y la que hace que los frenos de un automóvil cumplan su función. En todos estos casos la fricción produce un efecto deseable.

Imagen 8: Tomado texto 3, descripción de la fuerza de fricción.

En este apartado debe tenerse cuidado con la interpretación que genera la afirmación de adherencia entre superficies e irregularidades de la superficie que encajan, ya que la una se explica a nivel atómico y la otra dentro de ese contexto, puede verse única y exclusivamente, desde el punto de vista macroscópico.

La siguiente tabla muestra las fuerzas abordadas por cada uno de los textos.

FUERZA \ TEXTO	TEXTO 1	TEXTO 2	TEXTO 3	TEXTO 4
PESO	SI	Si	SI	SI
NORMAL	SI	Si	NO	SI
TENSIÓN	SI	Si	NO	SI
ROZAMIENTO	SI	Si	SI	SI
ELASTICAS	SI	SI	NO	SI
COHESIÓN	NO	SI	NO	NO
ADHERENCIA	NO	SI	NO	NO

Tabla 2: Fuerzas abordadas por cada uno de los textos analizados.

Aparte de las fuerzas mencionadas, solo el texto 2 presenta las fuerzas de adhesión y cohesión

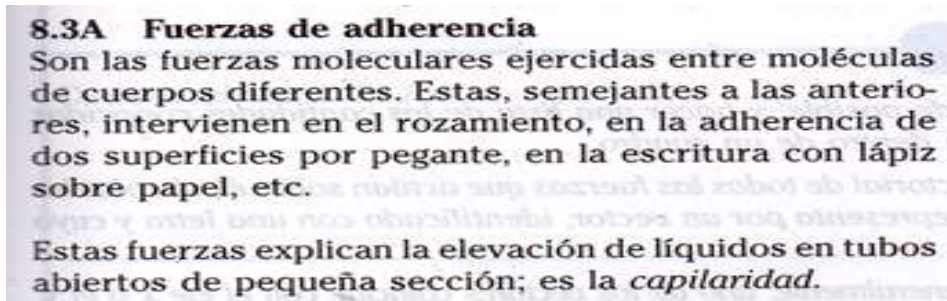


Imagen 9: Tomado de texto 2; se brindan ejemplos sencillos pero la idea que los relaciona con el concepto no se desarrolla de forma clara

Conclusiones

Sin embargo, como se observa, el lenguaje empleado por este deja bastante desazón ante lo que se espera sea una explicación descriptiva y explicativa para un estudiante de grado décimo.

Referentes microscópicos en la idea de energía

Al continuar con el análisis del desarrollo de las temáticas y la forma en la que los distintos textos hilan las concepciones, se encuentra que en los capítulos de *trabajo, potencia y energía*, (textos 1, 2, 3 y 4), de *rotación* (textos 2, 3, y 4) y de *impulso y cantidad de movimiento* (texto 3) las ideas microscópicas aparecen solo en los textos 1 y 2 con la concepción de energía potencial elástica, como se observa en la imagen

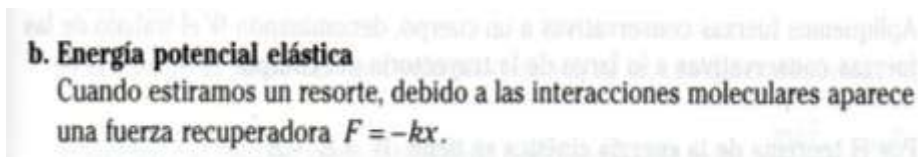


Imagen 10: tomado de texto 2; energía potencial elástica

Allí se pone de manifiesto que nuevamente se carece de todo detalle, y no pasa a ser más que una simple noción, cuya inclusión puede pasar desapercibida en el escaso desarrollo del concepto construido por el estudiante.

Presentación de la materia: sólidos y fluidos en los textos

Esta unidad varía ligeramente de un texto al otro, así mismo los títulos que la acompañan (Hidráulica, mecánica de líquidos y gases, sólidos y fluidos, y mecánica de fluidos).

Propiedades elásticas de la materia	248
Módulo de Young	250
Módulo de corte	253
Elasticidad de volumen; módulo volumétrico	254
Otras propiedades físicas de los metales	255
Densidad	256
Presión	258
Presión de fluidos	259

Imagen 11: Parte de la tabla de contenido que le corresponde a las primeras temáticas de Sólidos y fluidos del texto 3

En el caso del libro 3, la unidad recibe el nombre de sólido y fluidos, llama la atención que a pesar del título, el autor no hace una descripción de estos, inicia hablando de las propiedades elásticas de la materia y en ningún momento se dirige a descripciones microscópicas, continua con el desarrollo de las temáticas que se presentan en el índice como se puede ver en la imagen 11, y es hasta “otras propiedades físicas de los metales” donde afirma:

sentan otras propiedades importantes. Un sólido consiste en un conjunto de moléculas tan cercanas unas a otras que se atraen fuertemente entre sí. Esta atracción, llamada *cohesión*, le imparte a un sólido una forma y un tamaño definidos. También afecta su utilidad para

Imagen 12: definición de sólido tomada de texto 3

Es preciso aclarar que el texto no menciona anteriormente ninguna descripción de las fuerzas de adhesión, sumado a ello, la afirmación puede contribuir a generar problemas más adelante, pues podría interpretarse como un modelo estático, lo que a la hora de llegar a concepciones termodinámicas contrastará con lo allí presentado, por ejemplo en el caso específico de la dilatación, en la que puede cambiar la forma y/o el tamaño sin dejar de ser sólido.

Por otro lado, en los libros 1 y 2 durante la introducción se realiza una ligera descripción a nivel molecular, se tomará como ejemplo este aparte del libro 2 en el que se plantea:

Conclusiones

En los líquidos, las moléculas están en contacto entre sí, pero pueden deslizarse, como lo hacen los granos de un montículo de arena. El conjunto es muy poco compresible; para esto se necesitaría que las moléculas disminuyeran de volumen o que encajaran mejor unas dentro de otras.

En los gases, las moléculas están muy separadas entre sí, semejantes a los granos de arena esparcidos en el aire y, por tanto, el conjunto es fácilmente compresible; para esto se necesitaría una simple disminución de las distancias entre moléculas.

Imagen 13: definición de líquidos y sólidos, tomada del texto 2

Lo que es bastante cuestionable desde el punto de vista atómico ya en realidad las moléculas interactúan pero no se ponen en contacto las unas con las otras, y de la misma manera la analogía empleada puede generar errores conceptuales bastante notorios a la luz no solo de la temática que se está desarrollando sino también de la termodinámica y otras.

En el mismo libro, la descripción de densidad y de presión está dada en términos completamente macroscópicos.

El libro 1, por otro lado menciona que:

A pesar de sus similitudes, los líquidos y gases presentan diferencias notables debidas a las características de las fuerzas de cohesión molecular. Las fuerzas de cohesión molecular en un líquido son muy grandes comparadas con las de los gases, lo cual trae como consecuencia comportamientos muy di-

Imagen 14: diferencia entre líquidos y sólidos, tomada del texto 1

En este fragmento se emplea el término de cohesión molecular sin haber llegado previamente a una descripción de la misma, y con muchos vacíos conceptuales en su descripción.

En el libro 4, se abordan las fases de la materia después de la explicación, por ejemplo de densidad dentro de la unidad de mecánica de fluidos, lo que lleva a

concluir que la ubicación dentro de la unidad temática no es la más apropiada y además, sigue siendo muy superficial cuando se han brindado explicaciones con términos más complejos para las estudiantes.

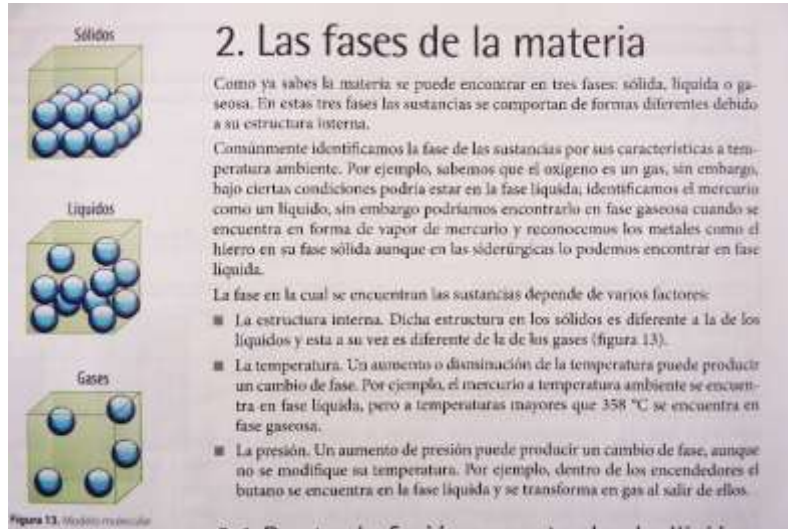


Imagen 15: Fases de la materia

Una situación de mayor problematicidad es la presentada en el libro 2, ya que realiza una descripción de la teoría cinético-molecular después de pasar por escalas de temperatura, ley cero de la termodinámica, dilatación superficial y volumétrica, calor y calor específico, calorimetría y propagación del calor.

Organizaciones de este tipo hacen necesario revalorar la forma en que se presentan y construyen las unidades temáticas en los textos escolares, dado que en dichos términos se podría pensar que la conceptualización elaborada por los estudiantes se limita al campo sensorial.

Referentes atómicos en la presentación de la termodinámica en los libros de texto.

En la unidad de termodinámica se hace fundamental el abordaje desde lo atómico lo que lleva a que la presentación de las unidades temáticas que lo componen profundice en la concepción atómica. Pese a dicha necesidad, se hace notorio que los textos continúan abordando con cierta superficialidad la explicación de los fenómenos físicos que se emplean para la ejemplificación.

Esta forma de transmisión del calor se puede experimentar cuando colocamos al fuego uno de los extremos de una varilla metálica; después de un tiempo, en realidad bastante corto, la temperatura del otro extremo de la varilla aumenta.

Este proceso de transmisión del calor se explica en virtud de que las moléculas del cuerpo más próximas a la fuente de calor absorben energía que se manifiesta en forma de energía cinética y durante el proceso de conducción la energía cinética de las moléculas vecinas aumenta (figura 6), de tal manera que después de un tiempo ha aumentado la energía cinética de todas las moléculas del cuerpo.

Imagen 16: proceso de transmisión de calor, tomado del texto
2

En este fragmento se presenta el proceso de transmisión de calor explicado desde la concepción atómica comprensible para los estudiantes en dichos términos, sin embargo hubiese sido más sencillo de asimilar si se realiza la previa inclusión de ejemplificaciones a nivel micro en la descripción de la energía cinética.

3.1.3 LENGUAJE TÉCNICO

El lenguaje juega un papel fundamental en la transmisión de conceptos; cuando este es acorde a las ideas preexistentes que tiene el educando sobre lo mencionado, las relaciones se generan fácilmente; sin embargo se convierte en una amenaza cuando se aborda al estudiante con terminología carente de sentido

para él, y aún más si no se brinda ningún espacio en el que pueda construir ideas que lo familiaricen con el término.

A continuación presentaremos una serie de apartes tomados de los diferentes libros en los que se incurren en faltas de este estilo.

Las fuerzas electromagnéticas son debidas a las atracciones o repulsiones que los electrones y protones se aplican entre sí, en cuyo caso se llaman electrostáticas, o a los movimientos relativos de protones o electrones, que son las llamadas fuerzas magnéticas. Especialmente las fuerzas electrostáticas son las responsables de la mayoría de las fuerzas cotidianas, como por ejemplo las de fricción, las de tensiones de las cuerdas, las elásticas de un resorte o las normales que las superficies aplican a los cuerpos.

Las fuerzas nucleares son las que nos permiten explicar por qué los protones y los neutrones se mantienen unidos en los núcleos (interacción fuerte) y a su vez por qué se desintegran o decaen algunos núcleos (interacción débil).

Imagen 17: Tomado de libro 1, primera intervención de la teoría atómica en el libros, presenta la descripción de la naturaleza de las fuerzas

La fuerza gravitacional es la fuerza de atracción que se ejercen mutuamente dos objetos y que afecta a todos los cuerpos. Newton fue el primero en plantear que debido a la fuerza gravitacional los objetos en las cercanías de la Tierra caen con aceleración constante hacia esta y, además, esta fuerza mantiene en movimiento a los planetas alrededor del Sol.

La fuerza electromagnética afecta a los cuerpos eléctricamente cargados, está aplicada en las transformaciones físicas y químicas de átomos y moléculas. Por ejemplo, un electrón cuya carga eléctrica es negativa ejerce fuerza eléctrica de atracción sobre un protón cuya carga es positiva.

La fuerza nuclear fuerte es la fuerza que mantiene unidos los protones con los neutrones para formar los núcleos atómicos. Sin esta fuerza el núcleo no podría existir, ya que la repulsión entre los protones generaría la dispersión de estos.

La fuerza nuclear débil actúa entre partículas elementales. Esta fuerza es la responsable de algunas reacciones nucleares y de una desintegración radiactiva denominada desintegración beta. La vida media del Sol está determinada por las características de esta fuerza.

Imagen 18: Ejemplo de descripción de la naturaleza de las fuerzas tomado del texto 4

Conclusiones

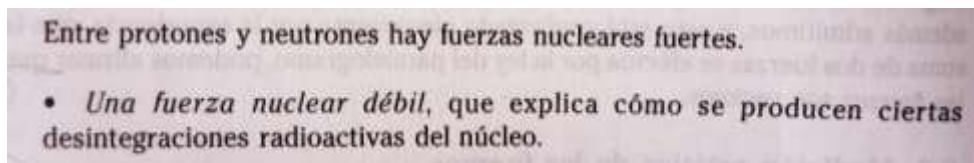


Imagen 19: Tomado de texto 2, descripción de la naturaleza de las fuerzas: fuerza nuclear débil

Es importante aclarar que ninguno de los libros presentados hizo algún tipo de introducción que ayudara a la contextualización del estudiante, por ejemplo los dos primeros apartes, corresponden a la primera mención de los libros en cuestión de términos atómicos. Como se evidencia allí la ausencia de contextualización, sumada a lenguaje específico y la falta de profundidad al desarrollar lo que se menciona, impide que se contribuya a la construcción conceptual; por el contrario puede que el estudiante termine por desmotivarse.

Los ejemplos presentados en las imágenes 17, 18 y 19 muestran los grados de abstracciones a los que se llega en los libros, los cuales evidentemente están fuera de la cotidianidad del estudiante, y cuyas interpretaciones, no muy adecuadas, requieren un desarrollo de la física mucho más nutrido; nuevamente se incurre en la ausencia de herramientas dadas previamente por el texto, y en las que no se asuma que el estudiante maneja correctamente la concepción atómica.

12.6A Propulsión iónica y fotónica

Hasta nuestros días, los expulsados son solamente los gases, debido a la combustión.

En un futuro cercano serán los iones, que pueden provenir de reacciones nucleares; su eyección se hará por medio de potentes campos eléctricos o magnéticos; es la propulsión iónica.

En un futuro lejano serán los fotones de luz, que provocarán el retroceso de los vehículos, tanto espaciales como terrestres; es la propulsión fotónica. En efecto, actualmente, cuando un auto enciende sus faros recibe un empuje hacia atrás, debido a que la luz está formada de fotones, que poseen una cantidad de movimiento. Este empuje es muy débil para que se note su efecto, pero en el futuro, con potentes faros, su realización será factible.

Imagen 20: Tomado de texto 2, dentro del contexto de las aplicaciones de la cantidad de movimiento.

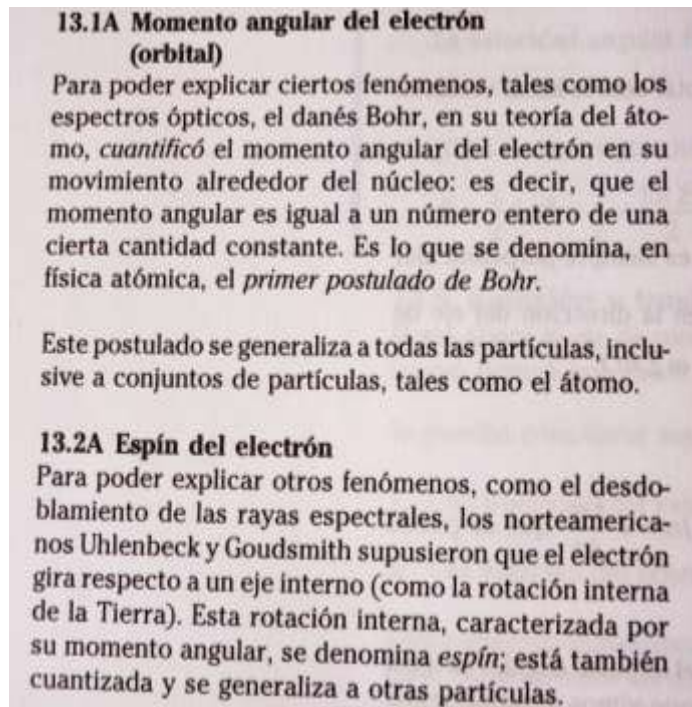


Imagen 21: Tomado de texto 2, ejemplo de aplicaciones del concepto de rotaciones y momento angular

Otro ejemplo que podemos cuestionar en torno a la inclusión de temas fuera del alcance conceptual de los estudiantes es el de la Imagen 22

Se definen otras energías tales como la *energía potencial eléctrica*, lo cual origina a su vez la definición de potencial eléctrico o voltaje; la *energía po-*

Imagen 22: mención de otras energías potenciales

Donde de nuevo, se recurre a terminología fuera del alcance conceptual de las estudiantes y no se hace ninguna precisión al respecto. Como se mostrará más adelante (sección 4.3), las ideas previas del estudiante son pobres para las afirmaciones hechas por el libro.

3.1.4 REPRESENTACION GRÁFICA

Para la realización del análisis de las representaciones gráficas se tuvieron en cuenta las relaciones establecidas entre la imagen y el contenido que la explica; también se evaluó en que medida las imágenes contribuían a apoyar las ideas microscópicas cuando el texto que las acompañaba hacía alusión a estas, y por último se valoró la pertinencia de la conformación de las imágenes que contenían ilustraciones alusivas al mundo microscópico.

En primera instancia, cabe resaltar que en realidad la producción de imágenes que representaban condiciones del micro mundo fue escasa en los libros, pues la mayoría de las imágenes están destinadas a ejemplificar fenómenos cotidianos en un contexto macroscópico.

Una generalidad de los cuatro textos analizados fue la no inclusión de imágenes en torno al tema de nuestro interés hasta llegar al capítulo de termodinámica, y solo en el caso del texto 2 se generó una imagen como la 23, presentada a continuación en el contexto de la dinámica.

- Una *fuerza eléctrica*, que es la de atracción o repulsión entre dos cuerpos, debido a que ambos poseen una cualidad que llamamos *carga eléctrica*, que precisaremos en electricidad (figura 3.5).

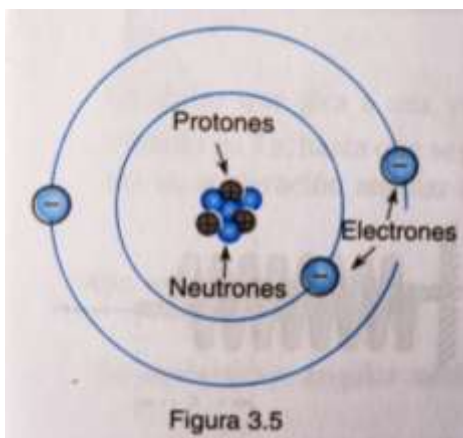


Imagen 23: Tomado de texto 2, descripción de la fuerza eléctrica dentro de la descripción de naturaleza de las fuerzas; la imagen no muestra una relación clara con el texto con el que el autor lo relaciona.

Esta imagen corresponde a un segmento de texto que se refiere a la fuerza eléctrica, sin embargo la imagen tan solo muestra el modelo atómico de Bohr, y resulta ser poco diciente ante el pobre texto que la menciona. El vínculo entre la imagen y el texto no está claramente expresado y dado que no se hace ninguna otra afirmación soportada por la imagen, su papel en el proceso de enseñanza termina por ser prácticamente innecesario.

En las descripciones referentes a la Fuerza, específicamente en el rozamiento, se observa que éste es representado en todos los textos únicamente por vectores, descuidando todo detalle que justifique el efecto de dicha fuerza. Como evidencia de ello, a continuación se observa una imagen tomada del texto 4.

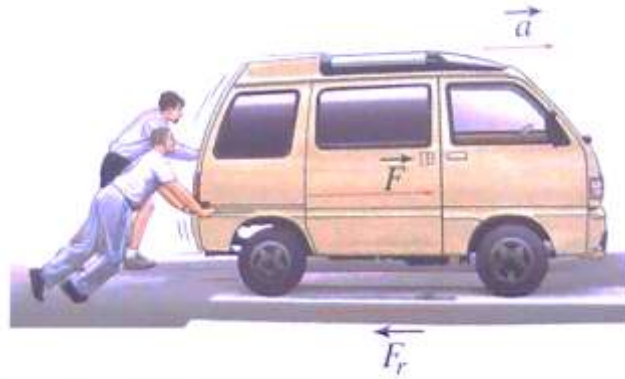


Figura 6. Fuerza de rozamiento.

Imagen 24: Ejemplo de las imágenes presentadas en los libros de texto para representar la fuerza de fricción

Respecto al fenómeno de dilatación presente en el contexto de la termodinámica, el texto hace una descripción desde una mirada microscópica de lo que ocurre dentro del material, sin embargo la imagen que acompaña al texto se limita al

Conclusiones

cambio macroscópico omitiendo los detalles presentados en el mismo y manteniendo una visión continuista de la materia.

Al aumentar la temperatura de una sustancia, sea un sólido, líquido o un gas, aumenta también el movimiento de las moléculas que la forman, generando cierta separación entre sí. Esto provoca que dicha sustancia, por lo general, presente un aumento en su volumen en relación con su volumen original, es decir, que se dilate. En el caso contrario, es decir, en una disminución de temperatura, las moléculas se acercan y se reduce el tamaño de la sustancia, fenómeno denominado contracción.

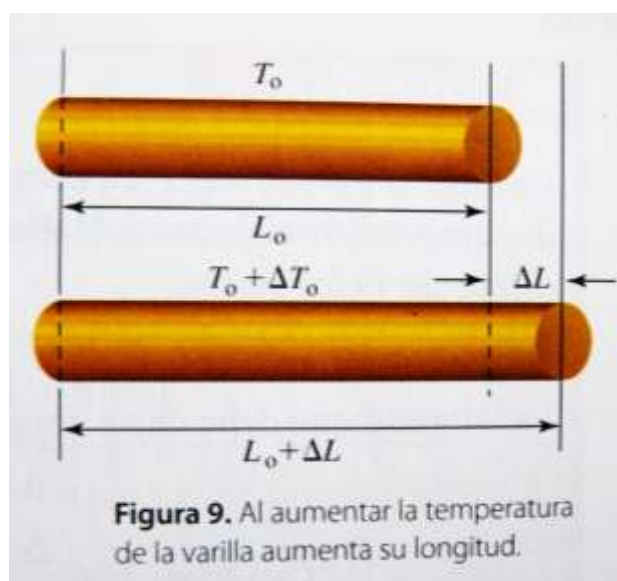


Imagen 25: texto e imagen que acompaña para representar la dilatación

Los apartes presentados en este análisis de los textos, corresponden solo a algunos ejemplos, que permiten evidenciar la ausencia de construcciones conceptuales más allegadas a la realidad, y deja en evidencia un problema que debe tenerse en cuenta en el desarrollo de la clase de física.

3.2 Pruebas aplicadas a las estudiantes sobre las concepciones atómicas.

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas, además de mostrar las concepciones de las estudiantes frente a los temas propuestos, permitieron

identificar una serie de errores tanto en el lenguaje como en algunas conceptualizaciones.

TABLA 3: REJILLA DE ANALISIS PRUEBA DIAGNÓSTICA

CATEGORIA	CRITERIO	RESPUESTAS	G1	%	G2	%	
EL ÁTOMO	IDENTIFICACIÓN	Su concepción de átomo se enfoca en pequeñas partículas que se unen para formar lo que nos rodea.	9	45%	7	33%	
		Reconoce que el átomo tiene una estructura y por ende está compuesto de otras partículas más pequeñas	8	40%	9	43%	
		Establece una relación directa con los modelos atómicos y reconoce que ellos dan cuenta de su estructura.	1	5 %	2	9.5%	
		Además de reconocerlo como un componente de la materia con estructura, mencionan que poseen una carga eléctrica	2	10%	3	14%	
	MODELOS ATÓMICOS	Reconocen cada uno de los modelos como una evolución del concepto	3	15%	5	24%	
		Reconocen los modelos como una visión diferente de cada físico	6	30%	4	19%	
		Reconocen los modelos y los asocian con los físicos que los propusieron.	8	40%	6	29%	
		Menciona las partículas internas del átomo (electrones, protones y neutrones)		0%	2	9%	
		No presenta concepto	2	10%	1	4%	
	COMPOSICIÓN	Reconocen los electrones, protones y neutrones como componentes del átomo	18	90%	15	71%	
		Concibe las cargas del átomo como sus componentes.	1	10%	6	29%	
		Reconoce que el movimiento de los electrones se realiza alrededor del núcleo	10	50%	13	62%	
Conciben que los electrones		8	40%	5	24%		

Conclusiones

		pueden estar en todas las partes del átomo incluido el núcleo					
		Ubican a los electrones por fuera del átomo	2	10%	1	8%	
		Reconocen que los protones se encuentran en el núcleo	20	100%	21	100%	
	DISTRIBUCIÓN		Consideran que los protones se encuentran por todas las regiones del átomo	18	90%	17	81%
			Consideran que los protones se encuentran fuera del átomo.	2	10%	4	19%
			Reconocen que los neutrones se encuentran en el núcleo	16	80%	18	86%
			Consideran que los neutrones se encuentran por todas las regiones del átomo	2	10%	1	5%
			Consideran que los neutrones se encuentran fuera del átomo.	2	10%	2	9%
	CARGAS		Asocia la carga con energía y transferencia de ésta.	8	40%	7	33%
			Reconoce que hay cargas negativas y positivas	7	35%	8	38%
			Relaciona con atracción y repulsión	4	20%	4	19%
			Concibe que la carga puede transferirse de un átomo a otro y relaciona la carga con la cantidad de electrones, reconoce además que puede ser positiva o negativa	3	15%	2	10%
	POR QUÉ ESTUDIARLO		Opinan que es necesario para el avance científico	4	20%	4	19%
			Mencionan que es importante para reconocer de que se encuentra formada la materia	13	65%	14	67%
			Afirman que su estudio permite un avance científico y que gracias a ello se construyen inventos tecnológicos.	3	15%	3	14%
ESTADOS							

DE LA MATERIA	CAMBIOS DE ESTADO	Reconoce que un mismo elemento puede presentarse en diferentes estados.	11	55%	8	38%
		Todo elemento puede presentarse en diferentes estados gracias a un proceso o un factor de cambio que produce una transformación de estado	3	15%	5	24%
		La diferencia entre estados se encuentra en la separación de sus partículas o átomos.	2	10%	5	24%
		Relaciona la separación de los átomos con densidades y volúmenes.	4	20%	3	14%
IMAGEN	INTERPRETACIÓN GRÁFICA	Evidencian la presencia de cargas únicamente en el estado plasma	10	50%	7	34%
		Identifica la presencia de carga solamente en el estado plasma y afirma que los otros no la poseen, ya que en ellos no se observa la presencia de los símbolos que indican cargas positivas y negativas	6	30%	8	38%
		Menciona la presencia de cargas solo en el estado sólido debido a que es el único en el que las partículas se encuentran juntas	1	5%	3	14%
		Afirma la existencia de cargas en todos los estados	3	15%	3	14%

Teniendo en cuenta la información presente en la rejilla de análisis, se hacen evidentes algunas nociones que pueden afectar determinados conceptos científicos fundamentales ya que pueden contribuir en la construcción de todo un andamiaje de ideas erróneas.

Las nociones en cuestión fueron encontradas en la prueba de diagnóstico, correspondiente a las concepciones atómicas y su relación con los estados de la materia; cabe resaltar que con estas concepciones llegan varios de las estudiantes a grado décimo.

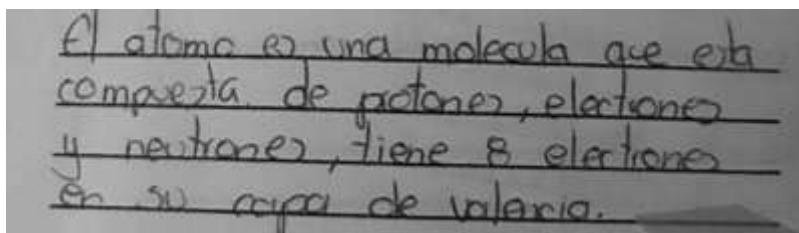
Conclusiones

- Definición del átomo

Dentro de las respuestas no se presentó un único enfoque, algunas de las estudiantes quisieron definir el átomo como el componente básico de la materia, otras lo describieron teniendo en cuenta su distribución y las partículas en su interior.

Por este motivo, se logró recolectar una variada serie de ideas alternativas, algunas sujetas al lenguaje empleado por las estudiantes, otras ligadas a las concepciones previas de las mismas y otras al parecer por un proceso memorístico de las nociones trabajadas en la clase.

Un ejemplo de lo mencionado se registra en la siguiente respuesta dada por una de las estudiantes

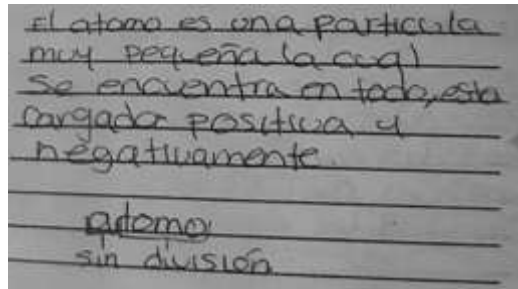


El átomo es una molécula que está compuesta de protones, electrones y neutrones, tiene 8 electrones en su capa de valencia.

En esta definición se evidencia un mal manejo del lenguaje, que puede proceder de la necesidad de emplear el lenguaje técnico, o puede venir de un problema grave en la diferenciación entre los dos conceptos. Este mismo problema se encuentra en las respuestas dadas por otras tres estudiantes. Pero este no es el único problema presente en esta respuesta, notese que la estudiante generaliza la conformación del estado de valencia con ocho electrones, lo que como habíamos mencionado puede presentarse debido a un mal proceso memorístico traído por la estudiante.

Por otro lado, la siguiente respuesta pone de manifiesto una concepción primitiva de átomo como algo indivisible, esto puede ser atribuido a la dificultad de la

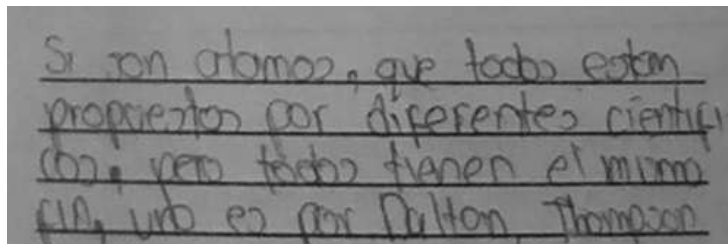
estudiante de relacionar sus ideas previas y confrontarlas con las concepciones actuales de la teoría atómica.



El átomo es una partícula
muy pequeña (a ojo)
Se encuentra en toda esta
cargada positiva y
negativamente.

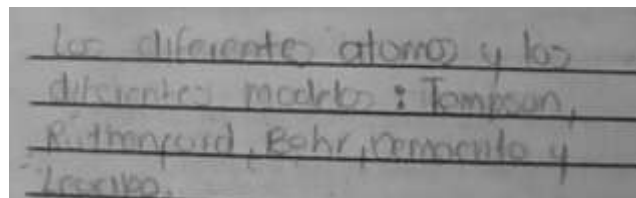
átomo
sin división

En otra de las respuestas, se puede evidenciar la no relación de los modelos atómicos con correcciones requeridas ante las evidencias experimentales, sino que parece concluir que los modelos simplemente se deben a unas propuestas de diferentes físicos a través de la historia.



Si son átomos, que todos están
propuestos por diferentes científicos,
pero todos tienen el mismo
fin, uno es por Dalton, Thompson

Siete estudiantes más concluyen lo mismo e incluso en el caso de la respuesta mostrada a continuación, no solo se presenta como diferentes visiones de los físicos, sino que además parece haber diferentes tipos de átomos dentro de su concepción.

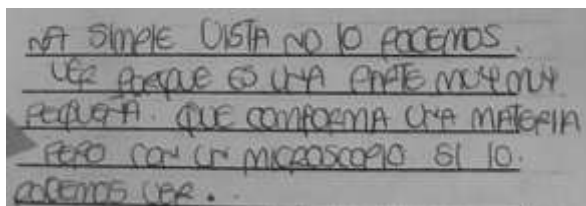


Los diferentes átomos y los
diferentes modelos: Thompson,
Rutherford, Bohr, Rutherford y
Thomson.

Los enfoques en la descripción atómica no solo se limitaron a los modelos atómicos, en algunos casos se hizo referencia (erroneamente) frente a su

Conclusiones

tamaño, incurriendo en problemas de dimensiones, los cuales se hicieron evidentes en otras 29 estudiantes.

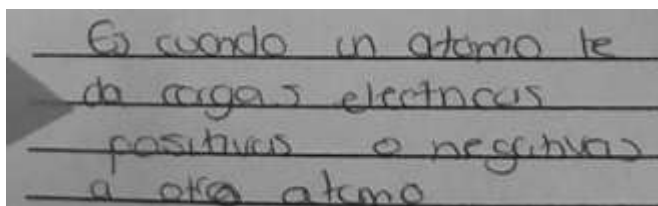


NO SIMPLE VISTA NO LO VEEMOS.
 VER PERO ES UNA PARTE MUY MUY
 PEQUEÑA. QUE CONFORMA UNA MATERIA
 PERO CON UN MICROSCOPIO SI LO
 VEEMOS VER.

- Carga eléctrica

Este tema no es comunmente abordado con gran profundidad en las ciencias diferentes a la física y mucho menos en los grados inferiores, por ello es de esperarse que en este campo las ideas de las estudiantes estén sobre todo ligadas a sus experiencias cotidianas.

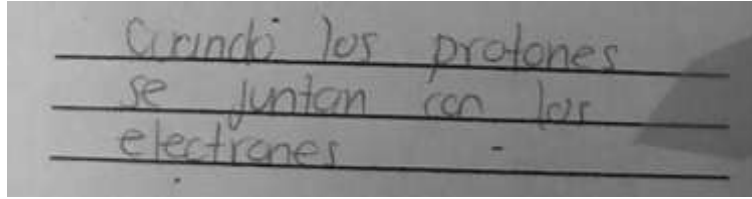
Al realizar la prueba diagnóstica, ante las preguntas de qué es la carga eléctrica y cómo se carga el celular se observaron respuestas como:



Es cuando un átomo le
 da carga y electrones
 positivos o negativos
 a otro átomo

En esta, a pesar de relacionar las cargas con los electrones y los protones, se concibe el tránsito de ambos, lo que muestra, entre otras cosas, que el obstáculo está en la mala comprensión que se tiene acerca del núcleo.

Otra respuesta dada se presenta a continuación,

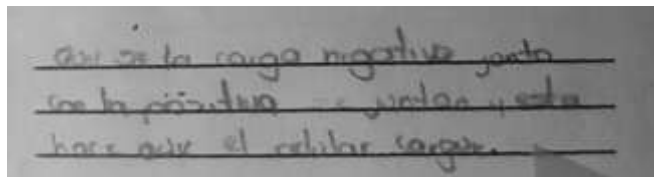


Cuando los protones se juntan con los electrones

Aunque no se defina carga eléctrica, se empiezan por hacer relaciones de atracción entre cargas opuestas, en un lenguaje muy coloquial.

Cabe aclarar que junto a esta son 18 estudiantes más las que formularon relaciones similares, algunas con un lenguaje más técnico.

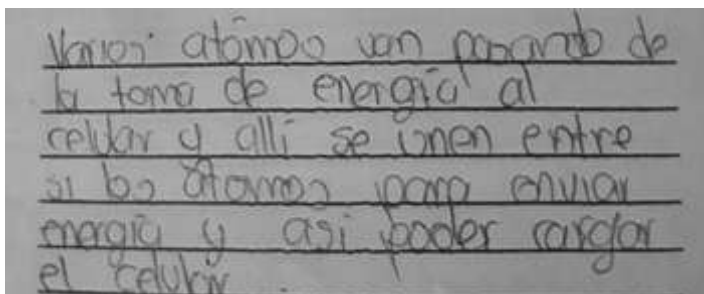
Con respecto a la segunda pregunta, que está asociada a la forma en que se carga el celular, algunas de las respuestas fueron:



cuando la carga negativa junta con la positiva se juntan y esto hace que el celular cargue.

Aquí se evidencia una intención errónea de la estudiante por extrapolar las interacciones de atracción a la idea de cargar, en este caso el celular, ello nos ayuda a entender un poco más por qué es relevante mantener las nociones básicas bien cimentadas, pues es inevitable y debe ser así, que las estudiantes relacionen lo visto con la dinámica diaria.

Otra respuesta que llama la atención es:

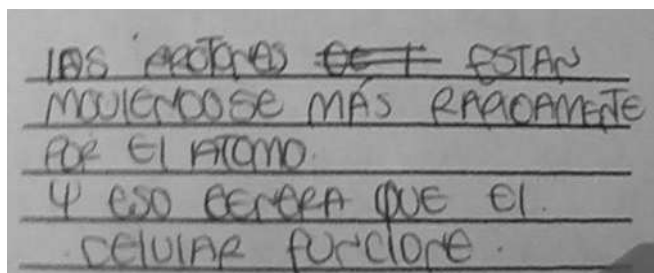


Los átomos van pasando de la toma de energía al celular y allí se unen entre sí los átomos para enviar energía y así poder cargar el celular.

Conclusiones

La estudiante manifiesta que lo que se da no es un movimiento de la carga sino del átomo en general, y aunque no explica con claridad la idea, relaciona la energía con la unión de los átomos. Estas concepciones muestran el grado de desorientación que se tienen en torno al tema y como esta respuesta se encuentran otras dos que presentan descripciones similares.

Por último, se presenta una respuesta en la que se incluye una visión más dinámica del átomo.



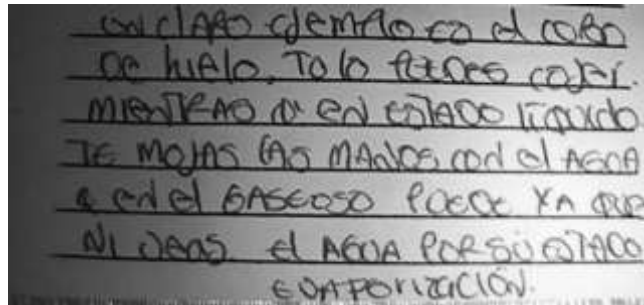
Aunque no es correcto, es destacable el papel que cumple la concepción dinamista, ya que no se piensa el átomo y su interior de forma estática como por lo general lo muestran las imágenes.

- Estados de la materia

Este tema en particular es abordado en cada uno de los diferentes niveles de formación, como se mostró en el marco teórico, dando descripciones más detalladas conforme aumenta el nivel en que se encuentran los estudiantes, por este motivo se quiso mirar el grado de empleo de la concepción atómica para explicar los fenómenos físicos.

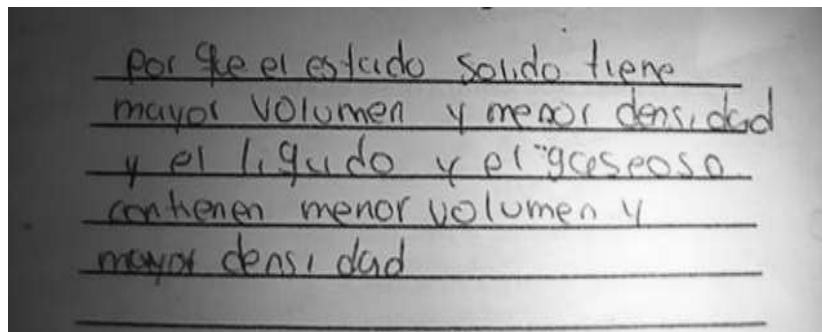
A continuación se presentarán una serie de ejemplos de respuestas dadas por las estudiantes a la pregunta de ¿Por qué podemos manipular fácilmente un sólido con nuestras manos y no un líquido o un gas?

La primera respuesta que se muestra es un reflejo del arraigo de las estudiantes por descripciones muy generales procedentes de las vivencias diarias.



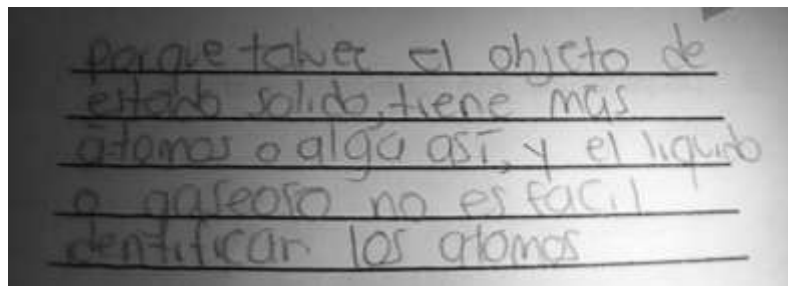
cuando demtro en el cubo
de hielo. To lo feres caer.
Mientras en estado liquido
te mojas las manos con el agua
y en el gaseoso parece ya que
ni das el agua por su estado
EVAPORACION.

En otros casos, se hace evidente que algunas estudiantes presentan confusiones en los conceptos de volumen y densidad. Sin embargo, aunque no es específica con su respuesta, busca descripciones un poco más concretas.



por que el estado solido tiene
mayor volumen y menor densidad
y el liquido y el gaseoso
contienen menor volumen y
mayor densidad

En la siguiente respuesta se hace mención de la idea atómica para describir lo que sucede:

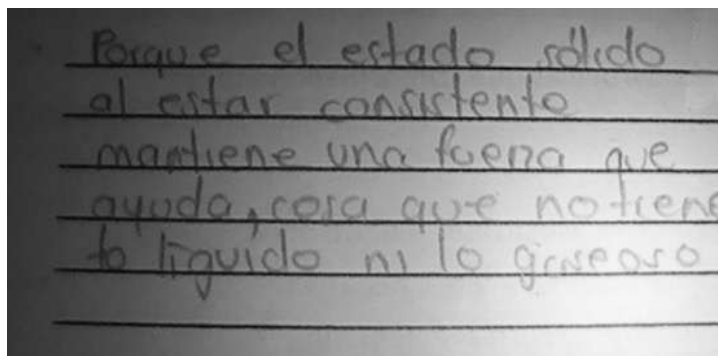


porque tal vez el objeto de
estado solido, tiene más
átomos o algo así, y el liquido
o gaseoso no es facil
identificar los átomos

Conclusiones

En esta descripción se desconoce por completo la relación entre densidades que existe en los diferentes estados, y la sustituye por la idea de la cantidad de átomos presentes.

Por último, se presenta un caso en donde la estudiante alcanza a dimensionar unas fuerzas internas.



Sin embargo, como se observa se carece de un lenguaje que facilite la claridad en la transmisión de su idea.

En conclusión, estos resultados justifican la necesidad de retomar los conceptos y buscar mecanismos para que los estudiantes puedan

- Apropiarse más concientemente de los conceptos y perder el carácter memorístico que se tiene de los fundamentos físicos.
- Dar claridad al lenguaje técnico, y emplearlo adecuadamente en la transmisión de sus ideas y con ello poder asimilar la información que presentan los libros.
- Suplir las fallas conceptuales que le permitan estructurar bien los contenidos venideros.
- Hacer asequible las nociones atómicas para generar espontáneamente relaciones con los fenómenos macros.

3.3 Pruebas aplicadas a las estudiantes sobre la aplicación de la concepción atómica.

A partir del proceso realizado con las estudiantes y con el fin de determinar la incidencia de la aplicación de la investigación se realizó una prueba final que consistía en el planteamiento de una serie de fenómenos físicos que están inmersos dentro de las temáticas de fuerzas, electrostática y termodinámica, y que deberían ser abordados desde una mirada micro.

A continuación se presenta la rejilla de análisis de prueba de cierre dividida de acuerdo a las temáticas expuestas anteriormente. En estas se incluyen los resultados del G1 y G2 acompañados de una serie de evidencias que dan cuenta de las respuestas dadas por las estudiantes.

TABLA 4: REJILLA DE ANALISIS PRUEBA CIERRE

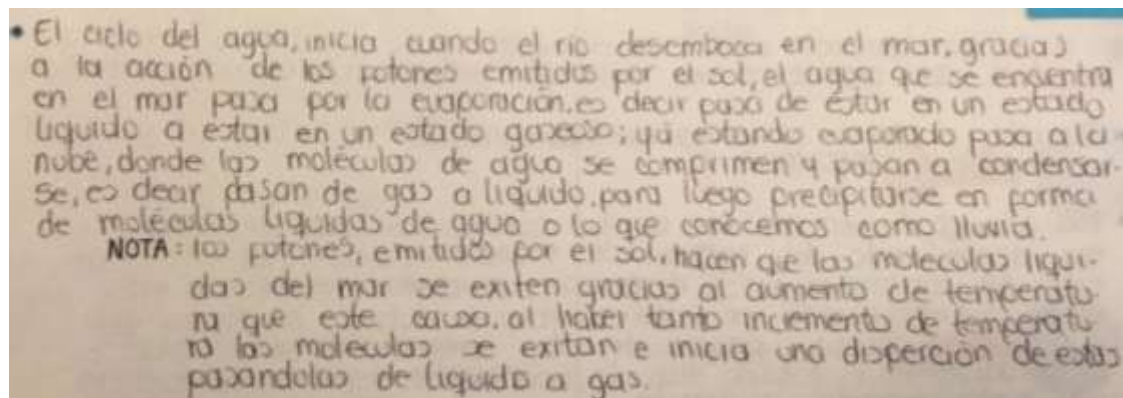
(Estados de la materia)

CATEGORIA	ASPECTOS	RESPUESTAS	G1	%	G2	%
CAMBIOS DE ESTADO	Ciclo del	Describen el ciclo del agua a través de los procesos de evaporación, condensación y precipitación sin entrar en detalles.	6	30%	18	85%
		Describen el ciclo del agua, definiendo las causas que generan cada uno de los cambios de	12	60%	-	-

Conclusiones

DE LA MATERIA	agua	estado basado en descripciones moleculares.				
		Describen el ciclo del agua atendiendo las densidades de cada uno de los estados y pese a incluir términos atómicos no están empleados correctamente, ni guardan relación entre sí.	2	10%	3	15%
	Importancia de la inclusión de la concepción atómica	Reconocen la importancia de incluir la concepción atómica porque identifican que los cambios de estado se originan a nivel microscópico.	15	75%	-	-
		Pese a que reconocen la concepción atómica se evidencia una inclinación a realizar descripciones en términos de procesos de cambios de fases.	3	15%	-	
		No evidencian la necesidad de incluir la concepción atómica en la descripción de los cambios de estado porque ya está familiarizada con los preconceptos que posee.	2	10%	21	100%

Se evidencia que G1 se apropia de la concepción atómica incluyéndola en las descripciones que realiza del ciclo del agua, adopta también la idea de fotones como agente de excitación en el interior del átomo y logra vincularlo de manera coherente con las observaciones macroscópicas como se puede observar en la respuesta dada por una de las integrantes de este grupo.



Por otro lado las respuestas dadas por el G2 muestran un arraigo por las descripciones desde el punto de vista de los procesos de cambio de fase, sin explicar a profundidad el fenómeno.

A su vez, manifiestan que tan solo es necesario identificar un proceso con su respectiva ejemplificación descuidando las causas y consecuencias que dan origen a este.

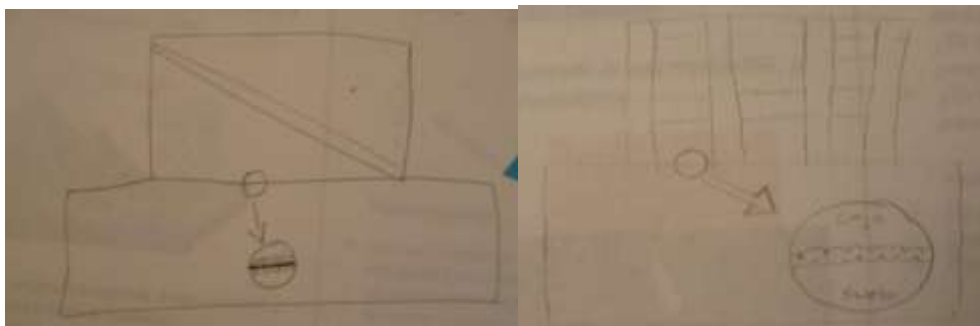
TABLA 5: REJILLA DE ANALISIS PRUEBA CIERRE
(Fuerzas)

CATEGORIA	ASPECTOS	RESPUESTAS	G1	%	G2	%
FUERZAS	Rozamiento	Reconocen que la única causa de la fuerza de rozamiento es el encaje de las rugosidades de ambas superficies.	12	60%	21	100%
		Identifican que adicional al encaje de las rugosidades de ambas superficies existen agentes atómicos que contribuyen a producir la fuerza de rozamiento.	3	15%	-	-
		La estudiante expone que hay dificultades para reconocer la fuerza de rozamiento, ya que en la ampliación de la imagen, no hay un contacto entre	1	5%	-	-

Conclusiones

		las superficies, como se indica que sucede en el texto que la acompaña.				
		Intentan incluir la concepción atómica en la descripción pese a que ésta no sea correcta.	4	20%	-	-
	Importancia de la inclusión de la concepción atómica	Reconocen la importancia de incluir la concepción atómica adjudicándose a las interacciones entre las cargas.	7	35%	21	100%
		No evidencian la necesidad de incluir la concepción atómica ya que las descripciones desde el punto de vista macroscópico son suficientes para explicar los que se observa.	13	65%	-	

Algunas de las estudiantes del G1 intentan vincular la concepción atómica incluyéndola en las descripciones que realiza de la fuerza de rozamiento (Imagen 1) mediante interacciones entre cargas (imagen 2).



Las otras estudiantes de este grupo, se limitan a describir el fenómeno desde el punto de vista macroscópico.

De la misma forma las estudiantes del grupo G2 muestran un arraigo por las descripciones macroscópicas.

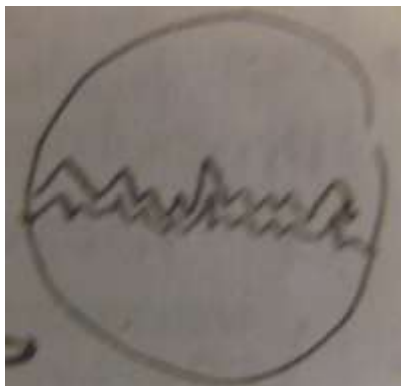


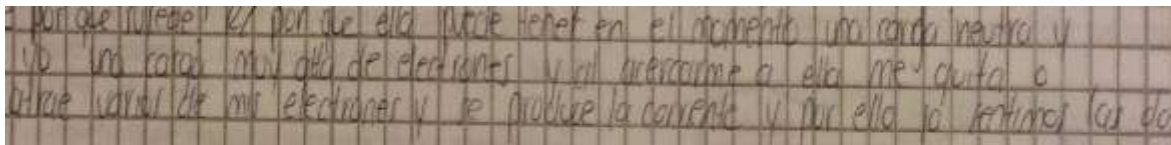
TABLA 6: REJILLA DE ANALISIS PRUEBA CIERRE

(Electrostática)

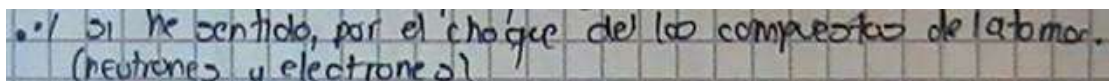
CATEGORIA	ASPECTOS	RESPUESTAS	G1	%	G2	%
ELECTROSTÁTICA	Conducción eléctrica (Cargas)	Reconocen en el fenómeno que los "corrientazos" son a causa de una diferencia de potencial, cargas positivas y negativas se atraen.	10	50%	-	-
		Realizan la asociación de corriente con la carga, sin embargo no hace distinción entre positivas y negativas.	5	25%	6	29%
		Describen el "corrientazo" como el paso de energía.	3	15%	7	33%
		Plantean que el "corrientazo" se debe al choque entre átomos.	2	10%	-	-
		No presentan respuestas.			8	38%

Conclusiones

La mayoría de las estudiantes del G1 establecen las interacciones entre las cargas como explicación del fenómeno de “corrientazo” distinguiendo las componentes elementales del átomo.



También se observa que algunas estudiantes de este grupo intentan a partir de los componentes atómicos dar explicación del fenómeno, sin embargo estas se lo atribuyen a un choque de dichos componentes.



Por otro lado, poco más de la mitad de G2 reconoce que la explicación está en el micro mundo pero no logra establecer ningún otro criterio. El resto del grupo no presenta respuesta alguna.

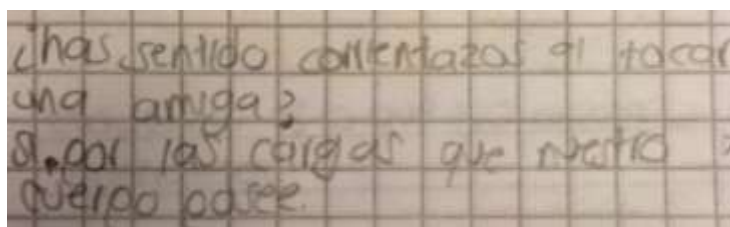


TABLA 7: REJILLA DE ANALISIS PRUEBA CIERRE
(Termodinámica)

Para la recolección de los datos en este tema, es preciso aclarar que la temática no alcanzó a ser vista dentro del programa curricular del área de física del grado décimo, pese a ello se intentó evaluar las respuestas que los grupos ofrecían frente a una experiencia demostrativa en la que se muestra primero que una esfera

metálica puede pasar a través del agujero de un soporte metálico. Posteriormente la esfera se calienta durante un minuto utilizando un mechero de alcohol. Una vez caliente, se hace pasar de nuevo la esfera a través del soporte. Se observa que a diferencia de la situación inicial, la esfera queda suspendida en este. El proceso es reversible. Después de unos segundos, la esfera se enfría, y cae del soporte quedando suspendida como en la situación inicial.

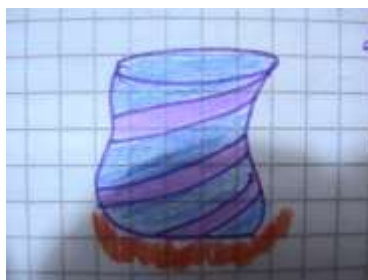
A continuación se presentan los resultados obtenidos

CATEGORIA	ASPECTOS	RESPUESTAS	G1	%	G2	%
TERMODINÀMICA	Dilatación	Explican el fenómeno a partir de la teoría cinético-molecular, asociando el incremento de volumen a un movimiento interno de las moléculas.	17	85%	-	-
		Reconocen el cambio de temperatura que presenta un cuerpo, lo aplica con la dilatación pero no logran asociarlo con la teoría cinético – molecular.	3	15%	2	10%
		Aunque reconoce el cambio de temperatura no aplican la dilatación ni logran asociarlo con la teoría cinético – molecular. Plantean ideas alternativas.	-		19	90%
	Extrapolación de la experiencia	Relaciona la experiencia con situaciones afines a su cotidianidad	7	35%	-	-
No logra establecer ninguna relación con situaciones de su contexto.		13	65%	21	100%	

Como se observa, el 85% del grupo G1 logró establecer una relación entre el experimento y la teoría cinético-molecular trabajada en las sesiones adicionales.

Conclusiones

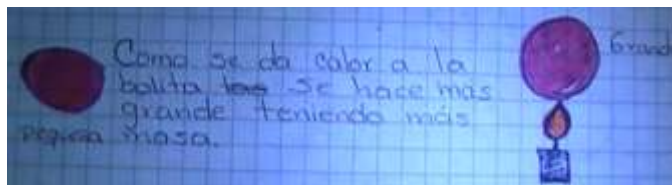
→ Al estar en calor el átomo se corta haciendo que un átomo se separe del otro y se convierta en la regla inestable.





Sumado a ello, el 35% de las estudiantes pertenecientes a este grupo logran extrapolar lo observado en la experiencia a otras de su cotidianidad, como por ejemplo el funcionamiento del globo aerostático, la coccion del masmelo y la pizza.

Respecto al G2, se evidencia que las estudiantes generan explicaciones alternativas en las que se desconocen los agentes microscopicos y solo se tiene en cuenta el cambio de temperatura.



A partir del analisis realizado, se puede concluir que las estudiantes que participaron de las sesiones adicionales se apropiaron de la teoria atomica, logrando explicar fenomenos fisicos cotidianos a pesar no haber sido tratados anteriormente, lo que permite apresiar las ventajas que trae consigo la inclusion de la concepción atómica en los abordajes conceptuales de la física.

4. Propuesta: Implementación de la concepción atómica en la solución de problemas conceptuales

Atendiendo a los resultados obtenidos en el análisis de los libros de texto empleados para la enseñanza de la física y las pruebas aplicadas a un grupo de estudiantes de décimo grado, se hace evidente la necesidad de una mirada más amplia y actualizada de la física en el aula, y para ello se requiere:

- Retomar la concepción atómica en su significado actual
- Hacer un trabajo interdisciplinar entre física y química
- Renovar el material empleado para la enseñanza de la Física (libros, revistas, videos, experiencias en el laboratorio, entre otros), teniendo en cuenta la teoría atómica o modelos que se le asemejen
- Brindar respuestas bien fundamentadas desde la concepción atómica (desde todos los niveles de enseñanza de las Ciencias Naturales) a las preguntas e inquietudes de los estudiantes
- Implementando las Tics, como complemento para la visualización de experiencias que no sea posible recrear en el aula.

Para el logro de dichos objetivos se propone retomar la concepción atómica a partir de una mayor profundización, en la que se muestren los avances que ha

tenido la misma; para ello se podría retomar la propuesta de Feynman, quien concibe que este concepto debe estar en la base de la física.

Así mismo, se requeriría, en los grados superiores, de un trabajo interdisciplinar entre Física y Química que no solo permita complementar las nociones atómicas sino que a partir de esta se llegue a una mayor organización del contenido curricular y que las estudiantes logren tener una visión unificada de las ciencias y no segmentada, como se despliega actualmente.

En el siguiente esquema se presenta una propuesta esquemática, producto de la unificación de los datos obtenidos en la investigación y las descripciones presentadas en el marco teórico.

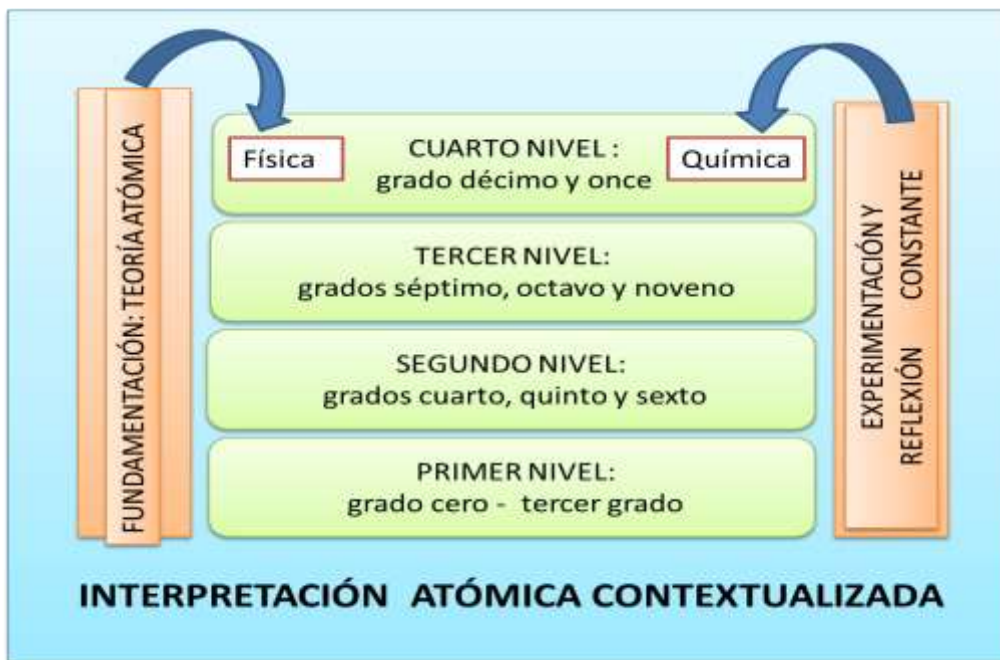


Imagen 26: Enseñanza de la Física desde la concepción atómica (propuesta de la autora)

Esta Imagen se debe comprender en los siguientes términos:

4.1 La interpretación atómica contextualizada

Conclusiones

Para iniciar con la vinculación de la concepción atómica es indispensable mejorar la fundamentación desde el nivel inicial dado que las temáticas que se plantean en cada grado se pueden abordar con la ayuda de experiencias elementales que alimenten las ideas previas de las estudiantes, les permita generar conceptos y asimilar o discutir con mayor facilidad lo que les plantea el texto, la imagen e inclusive los datos que les provea el docente.

Si se genera este avance, en los grados superiores se lograría profundizar en temas como:

- ✓ Dinámica y Fuerzas
- ✓ Estados de la materia
- ✓ Termodinámica
- ✓ Fluidos, presión y densidad
- ✓ Ondas
- ✓ Electromagnetismo
- ✓ Otros

Esta vinculación entre el trabajo desarrollado desde los grados inferiores le otorgaría la trascendencia necesaria a la enseñanza de las Ciencias Naturales en cada uno de sus componentes y sus resultados se evidenciarían en una dinámica interdisciplinar, articulando lo abordado en química con lo aprendido en física, mostrándolas como áreas diferentes pero complementarias.

4.2 Fundamentación de la concepción atómica por niveles

Para lograr la vinculación de la teoría atómica se propone una fundamentación de los siguientes temas en cada grado y nivel, al igual que un modelo de guía práctica para generar una discusión sobre lo aprendido en clase, con el fin de que

los estudiantes estén en capacidad de evaluar lo que se les presenta y extraer sus propias conclusiones.

A continuación se presentan los indicadores que se pueden abordar por niveles teniendo en cuenta los planteamientos del MEN para el área de Ciencias Naturales.

TABLA 8: ESTANDARES CONCEPTUALES PRIMER NIVEL

ESTANDARES CONCEPTUALES		
PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO
Identificar en su entorno objetos que realizan movimientos y desplazamientos.	Reconocer la aplicación de fenómenos físicos en el funcionamiento de instrumentos musicales.	Identificar y comparar fuentes de luz, calor y sonido y su efecto sobre diferentes seres vivos.
Clasificar objetos según sus características físicas.	Clasificar sonidos según sus características.	Identificar situaciones en las que ocurre transferencia de energía térmica y realizar experiencias para verificar el fenómeno.
Verificar la fuerza generada por los imanes sobre diferentes objetos.	Identificar la relación entre la luz blanca y los colores.	
Identificar diferentes estado físicos de la materia y verificar las causas para los cambios de estado.	Identificar como afectan el calor y el frío a los seres vivos.	Proponer y verificar diferentes formas de medir sólidos y líquidos.
	Identificar diferentes estados físicos de la materia y verificar las causas para los cambios de estado.	
	Proponer y verificar diversas formas de medir sólidos y líquidos.	
	Identificar situaciones en las que ocurre transferencia de energía térmica. Valorar la importancia del termómetro.	

TABLA 9: ESTANDARES CONCEPTUALES SEGUNDO NIVEL

ESTANDARES CONCEPTUALES		
CUARTO	QUINTO	SEXTO
<p>Reconocer algunas propiedades en los diferentes estados de la materia y aprender a determinar otras.</p> <p>Nombrar las propiedades específicas de la materia y citar ejemplos de su uso.</p> <p>Determinar las propiedades de la materia y a partir de ellas establecer relaciones entre los objetos con masa iguales y volúmenes diferentes o viceversa.</p> <p>Identificar el peso como una fuerza debida a la masa y a la gravedad.</p> <p>Reconocer que la materia está hecha de compuestos y de sustancias simples o elementos.</p> <p>Identificar y diferenciar la masa del peso de objetos.</p> <p>Verificar diferentes formas de medir el peso y el volumen</p> <p>Analizar y explicar cómo la materia está formada de átomos y moléculas.</p>	<p>Explicar y representar la composición interna de algunos materiales en términos de partículas.</p> <p>Reconocer las propiedades generales y específicas de la materia.</p> <p>Describir y verificar el efecto de la transferencia de energía térmica en los cambios de estado de algunas sustancias.</p> <p>Explicar y describir los estados de la materia y sus cambios en términos de movimiento y la fuerza de las partículas.</p> <p>Identificar y clasificar las sustancias de uso diario en términos de mezclas y sustancias puras.</p> <p>Verificar la posibilidad de mezclar diversos líquidos, sólidos y gases.</p> <p>Proponer y verificar diferentes métodos de separación de mezclas.</p> <p>Establecer relaciones entre</p>	<p>Comprender la dinámica del flujo de materia y energía</p>

<p>Identificar, comparar y clasificar elementos químicos e identificar en qué objetos y materiales se encuentran.</p> <p>Establecer relaciones entre magnitudes y unidades de medidas apropiadas.</p>	<p>objetos que tienen masas iguales volúmenes diferentes o viceversa y su posibilidad de flotar.</p> <p>Verificar que la cocción de alimentos genera cambios físicos y químicos.</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

TABLA 10: ESTANDARES CONCEPTUALES TERCER NIVEL

ESTANDARES CONCEPTUALES		
SEPTIMO	OCTAVO	NOVENO
	<p>Identificar los modelos de la luz en el funcionamiento de los receptores sensoriales.</p> <p>Explicar las aplicaciones de las ondas en la recepción de los sonidos por los receptores sensoriales.</p> <p>Describir los procesos físicos y químicos de contaminación atmosférica.</p>	<p>Comprender y explicar las bases moleculares y los mecanismos genéticos de la herencia.</p>

TABLA 11: ESTANDARES CONCEPTUALES CUARTO NIVEL

ESTANDARES CONCEPTUALES	
DECIMO	ONCE
<ul style="list-style-type: none"> - física y otras ciencias. - la medida en física. - notación científica. - Conversión de unidades. - Gráfica - Vectores y sus representaciones - Característica de un vector - Operaciones con vectores - Cinemática del movimiento rectilíneo 	<ul style="list-style-type: none"> - Movimiento periódico - Elemento del movimiento periódico - Movimiento armónico simple - Elemento del movimiento armónico simple - Movimiento ondulatorio - Propiedades de la onda - El sonido - Instrumentos sonoros - Luz

Conclusiones

<ul style="list-style-type: none"> -Posición y desplazamiento -Análisis de gráfica -Movimiento uniforme -Movimiento uniforme acelerado -Caída libre -Cinemática del movimiento en el plano -Movimiento con velocidad relativa -movimiento parabólico - Lanzamiento de un proyectil -Movimiento circular uniforme - Dinámica de los sólidos - Primera Ley de Newton - Segunda Ley de Newton - Tercera Ley de Newton -Fuerzas especiales (tensión normal, peso y rozamiento) -Movimiento en un plano inclinado sin y con rozamiento -Fuerza elástica recuperadora -Fuerza centrípeta y centrífuga 	<ul style="list-style-type: none"> -Naturaleza y propagación de la luz - fonometría -Reflexión de luz -Los lentes -Instrumentos de óptica -La separación de las luz en colores -Óptica física - Electricidad - Electrostática -Corriente eléctrica -Potencia de la corriente eléctrica - Pilas - Magnetismo -Electromagnetismo -Inducción electromagnética -Ondas electromagnéticas - Nociones de electrónica -Nociones de física atómica -Transmutación atómica
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

4.3 Experimentación y reflexión constante

Se requiere incrementar el número de laboratorios y actividades que se realizan en relación con las temáticas que se proponen en la fundamentación, enfocados hacia la concepción atomista. Para ello, se presentan a continuación modelos de talleres prácticos que pueden contribuir a la consolidación de un proceso de enseñanza – aprendizaje dinámico y efectivo.

**TEORIA CINETICO MOLECULAR
GUIA TERCER NIVEL**

Guía de aprendizaje

Área de Formación: Ciencias Naturales	III nivel	I Periodo
Profesora: Paula Cristina Cabrera Alba	Estudiante:	
Tema: Teoría Cinético Molecular De La Materia	Tiempo: 4 secciones	

Objetivo:

Reconocer el dinámico mundo interior de la materia y relacionar fenómenos macros y su explicación con la teoría cinética de la materia

El inicio de la concepción atomista

¿Hasta dónde puedes dividir un trozo de hoja o una gota de agua? Aunque parece algo sin gran trascendencia, preguntas como estas gestaron la teoría atómica de la materia. Hacia el siglo IV a. C. en Abdera el filósofo griego Demócrito conocido en su época por su extravagante carácter junto a su maestro Leucipo concibieron de manera diferente la idea de materia y como tal su composición. Estos dos personajes dieron una brillante conclusión a preguntas como: ¿Hasta dónde se podía dividir una gota de agua? Uno podía ir obteniendo gotas cada vez más pequeñas hasta casi perderlas de vista. Pero ¿había algún límite? ¿Se llegaba alguna vez hasta un punto en que fuese imposible seguir dividiendo?

Leucipo, maestro de Demócrito, había intuido que esa escisión tenía un límite. Demócrito hizo suya esta idea y anunció finalmente su convicción de que cualquier sustancia podía dividirse hasta allí y no más. El trozo más pequeño o partícula de cualquier clase de sustancia era indivisible, y a esa partícula mínima la llamó átomo, que en griego quiere decir «indivisible». Según Demócrito, el universo estaba constituido por esas partículas diminutas e indivisibles. En el universo no había otra cosa que partículas y espacio vacío entre ellas. Según él, había distintos tipos de partículas que, al combinarse en diferentes ordenaciones, formaban las diversas sustancias.

Hoy en día reconocemos que hay mucha verdad en sus palabras, aunque el átomo no resultó ser indivisible como se pensaba; ahora sabemos que en su interior se albergan electrones, protones y neutrones, conocemos incluso que los protones y neutrones no son indivisibles, estos pueden descomponerse en quarks, mientras que los electrones son parte de una familia de partículas llamadas leptones. Tanto los quarks como los leptones son partículas elementales y actualmente son tomados como los componentes fundamentales de la materia.

Por ahora nos centraremos en la idea de que la materia no es un conjunto de masa continua como quizás nos hacen creer nuestros sentidos sino que por el contrario está constituida por diminutas partículas sumergidas en el vacío y unidas por unas fuerzas.

Conclusiones

En esta guía haremos un viaje al interior de la materia, veremos parte de todo lo que hay detrás de ella y que es imperceptible a nuestros ojos, incluso en ocasiones imperceptible ante la más avanzada tecnología que poseemos.

¿Materia que crece?

Antes de iniciar nuestro viaje hablemos un poco de la materia; en años anteriores te habrán dicho que la materia es “todo aquello que tiene masa y ocupa un volumen”; esta definición se ajusta muy bien al mundo macroscópico. Sin embargo, para tener una definición más apropiada esta idea tiene que ser revisada a la luz de la física, específicamente desde una rama denominada mecánica cuántica, la cual se encarga de analizar en detalle los componentes básicos de la materia; para ella, el concepto "tener masa " y “ocupar espacio" no está tan bien definido como en la vida diaria. Un punto de vista más amplio es que los cuerpos están formados de varias sustancias, y las propiedades de la materia (entre ellas, la masa y el volumen) están determinadas no sólo por las sustancias mismas, sino por cómo interactúan entre ellas. El volumen por ejemplo puede variar según lo que esté ocurriendo dentro del objeto.



Experimentemos:

1. Has pasar la esfera por el orificio tantas veces como quieras para comprobar si entra fácilmente.
2. Enciende el mechero y pon a calentar la esfera
3. Introduce nuevamente la esfera por el orificio.



¿Qué observaste?

Describe qué ocurrió durante la experiencia: _____

¿Por qué ocurre? _____

Como lo habíamos mencionado la respuesta no está en el mundo macro, debemos penetrar en la esfera para ver lo que allí ocurre.

Realiza la siguiente experiencia y reflexiona al respecto

Experimentemos:

1. Toma una botella y vierte en ella un poquito de agua.
2. Pon la boca de la bomba en la de la botella
3. Pon al baño de María la botella
4. Observa lo que ocurre



¿Qué observaste?

Describe qué ocurrió durante la experiencia: _____

¿Por qué ocurre? _____

¿Encuentras alguna relación entre las dos experiencias? ¿Cuál? _____

¿Qué ocurre con el volumen en ambos casos? _____

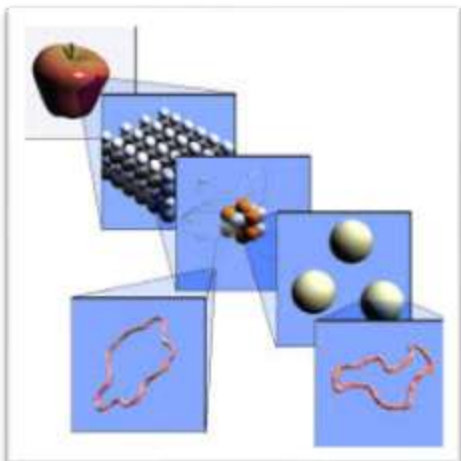
¿Se incrementó en algún momento la cantidad de materia? ¿Cómo lo sabes?

Conclusiones

Como podrás darte cuenta, el concepto de volumen es relativo y depende de la temperatura del material, así que el volumen no es una característica intrínseca de la materia. Sin entrar más en detalles, diremos que materia es aquello que tiene masa, y esa masa gracias a Newton sabemos que es la causante de atracciones, debido a una interacción que denominamos fuerza gravitacional; esta es la que hace que la tierra nos mantenga atados a ella o que el sol evite que la tierra se escape de su órbita. Adicional a la característica de la materia usual de poseer masa, ella también posee otra característica que es la carga.



El agitado interior de la materia



partículas más pequeñas que una partícula de polvo serían los electrones....

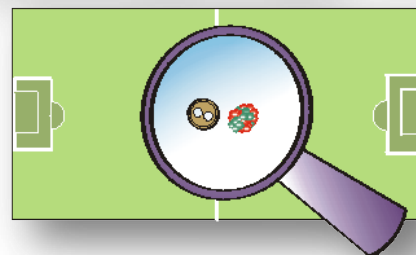
Imagina si así es el átomo, ¿cuánto de nuestro cuerpo es vacío? Y si es así, ¿por qué no vemos esos espacios? ¿por qué cogemos las cosas y no las transpasamos?

Analiza y formula tus propias respuestas de lo anterior; luego discútelas en grupo con tus compañeros.

Como se mencionó en la primera lectura, la idea de continuidad de la materia se rompe cuando pensamos que esta constituida por átomos; su estudio ha ido progresando y la experiencia ha mostrado determinadas características de los átomos, las cuales nos permiten hacernos una idea de cómo es y describirlo de forma muy aproximada. Por ejemplo, sabemos que la división no termina allí, sino que encontramos dentro de él a otras partículas y dentro de ellas otras más que podemos diferenciar claramente gracias al espacio vacío que hay entre ellas, como se mencionaba anteriormente. Ahora, reconocemos gracias a varias experiencias, que la mayor parte del átomo está vacía. Para que te hagas una idea de las dimensiones y proporciones de un átomo recrea la siguiente imagen.

El resto sería vacío, y hacia la tribuna

Si el átomo tuviera el tamaño de una cancha de fútbol, el núcleo sólo tendría el tamaño de un botón de camisa.



Pero el átomo y su interior, lejos de ser una esfera predecible con bolitas en su interior y estáticas como se ven en las imágenes, es un dinámico mundo donde todo se encuentra vibrando, rotando, y en ocasiones trasladándose al interior de la sustancia, en fin se encuentra en continuo movimiento gracias a las interacciones entre fuerzas que se presentan en su interior, unas de atracción cuando el núcleo (predominantemente positivo) y el electrón (negativo) están separadas pequeñas distancias y otras de repulsión cuando se acercan demasiado gracias a la interacción entre los escasos componentes negativos del núcleo y el electrón.

¿Y cómo sabemos que el átomo se está moviendo si no podemos verlo?

Observemos

¿Te has fijado en las pequeñas y diminutas partículas de polvo que se ven tras el reflejo de un rayo de luz por la ventana?.

Fíjate muy bien y describe lo que observas; trata de seguir una sola partícula ¿Qué ocurre?



Observemos con mayor detalle

Con ayuda del microscopio, observa una gota de leche y escribe aquí lo que observaste:

¿Cómo explicas este fenómeno?

Ese fenómeno es llamado el efecto Browniano en honor al científico británico inglés Robert Brown, quien lo observó por primera vez. Brown se dio cuenta que las partículas pequeñas (granos de polen) en suspensión en el seno de un líquido presentan, observadas a microscopio, un movimiento permanente y por completo irregular, en zig-zag, cambiando sucesivamente de dirección, como pudiste ver en las experiencias.

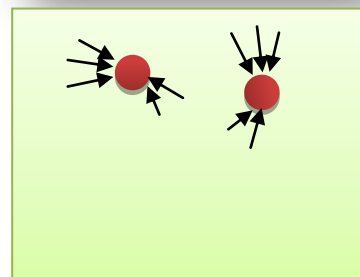
Al principio pensó que el movimiento se producía por tratarse de organismos vivos. Más tarde, tuvo que deshechar esta idea pues se pudo comprobar que el movimiento seguía, sin interrupción, durante varios meses, y además, que podía observarse el mismo fenómeno con partículas inorgánicas (y por tanto, sin vida) también en suspensión.

Pasaron muchos años sin que se encontrara una explicación adecuada del movimiento browniano. Un estudio completo y un análisis matemático de dicho fenómeno sólo vino a ser posible en el trabajo que ya mencionamos, y que Albert Einstein presentó a principios del siglo pasado.

Einstein, quien creía que la materia en verdad estaba constituida por átomos y moléculas en constante movimiento, trataba de encontrar el fenómeno que evidenciara la existencia de esas partículas y propuso la siguiente explicación:

Conclusiones

Cuando una partícula se encuentra en suspensión dentro de un líquido, recibe simultáneamente los impactos de un gran número de moléculas del propio líquido, las cuales se encuentran en movimiento continuo y caótico. Eventualmente, la partícula puede recibir un mayor número de impactos de un lado que de otro, lo cual obviamente produce un desplazamiento de la partícula (visible al microscopio). Inmediatamente después cambia la dirección en que predominan los choques moleculares y entonces la partícula se desplaza en otra dirección. Por lo tanto, de acuerdo con Einstein, el movimiento Browniano es consecuencia directa del movimiento caótico de las moléculas del líquido.



Relacionemos Ideas

Revisa los resultados obtenidos en las prácticas anteriores y contesta las siguientes preguntas

1. ¿Cómo explicas que la esfera después de calentarse
2. no pase a través del orificio? ¿Tiene algo ver el aumento de su temperatura? ¿Puede relacionarse con los movimientos descritos anteriormente?

3. ¿Cómo explicas que la bomba se infle después de calentarse el agua al interior de la botella?

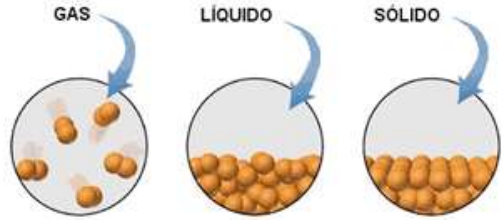
4. ¿Puede la esfera o la bomba aumentar su volumen sin que se suministre calor? ¿Qué crees que esta pasando a nivel atómico?

Discute con el grupo y la profesora tus respuestas, contrástalas y complementa tus respuestas.

Estados de la materia

Los estados de la materia pueden ser explicados también bajo la luz de la teoría que hemos venido construyendo.

Conocemos muy bien el agua en sus tres estados; y sabemos que esto depende de la temperatura; a muy baja temperaturas ésta se encuentra en estado sólido en forma de hielo; a medida que aumenta la temperatura comienza a derretirse y a transformarse en líquido, y si seguimos aumentando la temperatura, lograremos hacerla llegar al estado gaseoso.

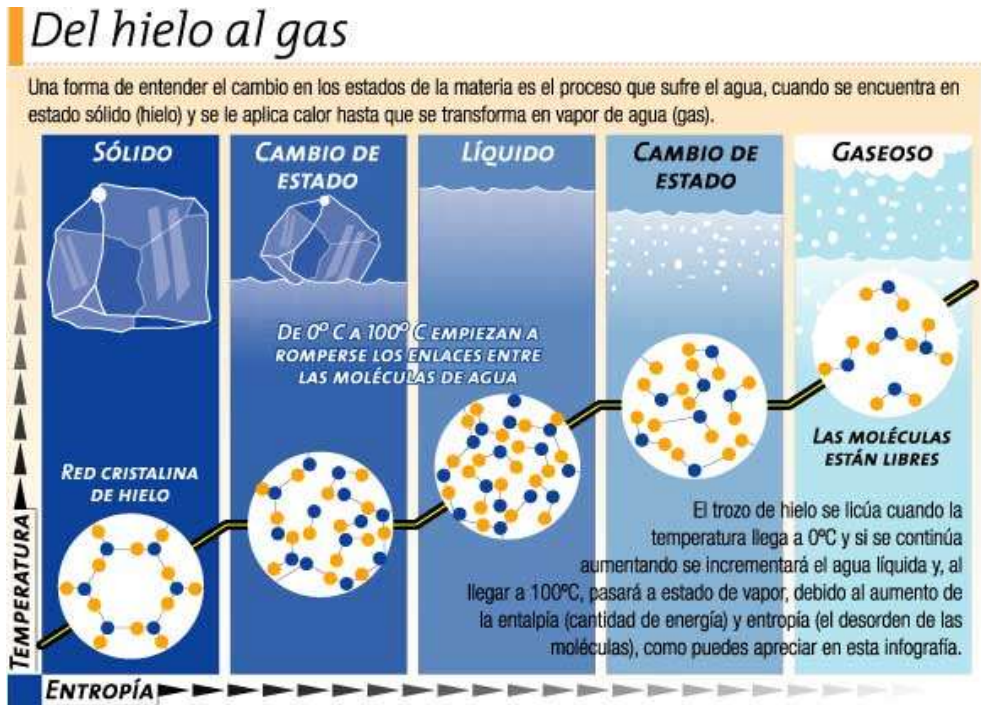


en

Esto está seriamente relacionado con lo que ocurre su interior, cuando hablamos de un incremento de la

temperatura, en realidad nos referimos a un aumento de la agitación o el movimiento (entiendase este como vibraciones, rotaciones, traslaciones entre otros) que van rompiendo la estructura original del sólido y volviéndose más moldeable, comportándose como un fluido; cuando llega a determinada temperatura (dependiendo del material) los enlaces se rompen y encontramos los átomos disociados casi por completo.

Imagina entonces que, al suministrar calor aumenta los movimientos como si se estuviesen desordenando las moléculas dentro del objeto que estudiamos.



Pon a prueba lo aprendido

PANELA DESBARATADA

Experimentemos:

Conclusiones

1. Toma un pedazo de panela y viértela en agua al clima.
2. Déjala en total reposo y observa constantemente lo que ocurre con ella
3. Mide el tiempo que tarda en disolverse la panela.
4. Describe lo ocurrido en la experiencia.

¿Qué crees que cambia si se pone a calentar el agua con la panela?

Repite el mismo procedimiento pero ahora pon a calentar el agua mientras la panela está inmersa; recuerda medir el tiempo.

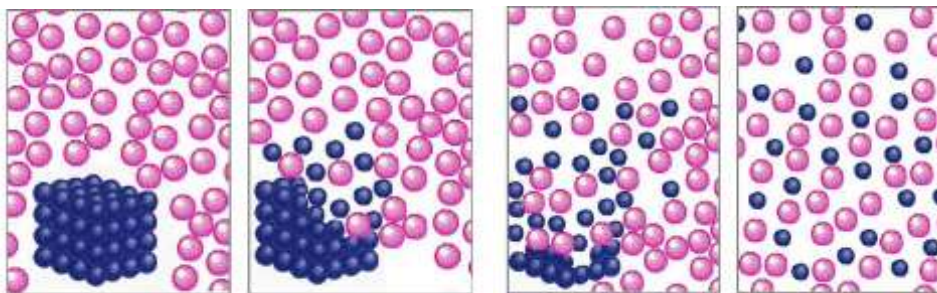
¡Y ahora disfruta de una deliciosa agua-de-panela!

Desarrolla habilidad de predicción

¿Qué crees que ocurre con el tiempo si el proceso se realiza con agua fría? ¿Por qué?

Interpreta

1. Observa las siguientes imágenes y describe lo que ocurre,
2. Menciona tres situaciones donde ocurra lo que se muestra allí





**TEORIA CINETICO MOLECULAR
GUIA DOCENTE TERCER NIVEL**

Guía de aprendizaje (Para el docente)

Área de Formación: Ciencias Naturales	Tercer nivel
Profesora: Paula Cristina Cabrera Alba	
Tema: Teoría Cinético Molecular De La Materia	Tiempo: 4 sesiones
<p>Objetivo General: Reconocer el dinámico mundo interior de la materia y relacionar fenómenos macros y su explicación con la teoría cinética de la materia</p>	
<p>Población: La guía está diseñada para ser aplicada en un grupo con conocimientos previos de los modelos atómicos, que le permitan comprender más fácilmente la temática trabajada en esta guía.</p>	
<p>Justificación: La guía está diseñada para estudiantes de grado décimo que se inician en el área de la física, con el fin de dar algunas ideas de los fundamentos de esta ciencia, y con ello poder por un lado dar explicaciones más precisas y detalladas de los fenómenos que se estudiarán dentro del curso e invitar a un análisis microscópico dentro de la gran estructura, y por el otro mostrar que la ciencia es en sí un compendio de muchas y de esta forma, romper las barreras que titulan a las ramas de la ciencia, sobretodo en el aula.</p>	
<p>El inicio de la concepción atomista Objetivo: Rescatar la idea del átomo y abandonar la idea de materia como un continuo. Realice la lectura de forma individual, y al finalizar realice una socialización de las ideas abstraídas por los estudiantes, tome nota en el tablero sin discriminar entre correcto o incorrecto, utilice estas concepciones más adelante para comprobar si los estudiantes corrigieron sus falencias y complementaron sus ideas. Una forma puede ser que coloquen en frente a cada una si es verdadera o falsa y pidiendo que justifiquen su respuesta.</p>	
<p>¿Materia que crece? Objetivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Resaltar a la masa como una característica de la materia y desligarla de la idea de volumen. ✓ Mostrar de manera empírica la dilatación o expansión volumétrica 	

Actividad:

Organice pequeños grupos de trabajo (se sugiere por parejas) y deles el material necesario para trabajar pida que tomen nota en forma individual, y que den sus propias explicaciones al fenómeno. Recuerde hacer acompañamiento constante y exaltar las buenas ideas para que los demás puedan apoyarse en ellas y llegar lo más cercano posible al concepto.

Ayude a que el estudiante sea consciente que lo que se da al sistema es energía y no materia.

El agitado interior de la materia

Objetivo: Llevar a partir de la experiencia a la idea de átomos y por ende moléculas en movimiento

Lea el texto en grupo, resuelva dudas si las hay y realice las prácticas, asegúrese de contar con todo lo necesario para el buen desarrollo de ellas.

Una vez finalizadas las prácticas y después de que cada estudiante resuelva las preguntas, realice mesa redonda y haga la lectura, dé las aclaraciones pertinentes y complemente de una vez las respuestas de los estudiantes, puede acompañarse de otros ejemplos o datos que resulten curiosos.

Ejemplo: Si nuestros oídos fueran unas pocas veces más sensibles, podríamos escuchar un zumbido perpetuo. La evolución no ha desarrollado el oído hasta ese punto, porque sería inútil si fuera tan sensible – oiríamos un jadeo perpetuo-. La razón es que el tímpano está en contacto con el aire, y el aire consiste de muchas moléculas en movimiento perpetuo, y estas golpean contra los tímpanos. Al golpear contra los tímpanos producen un tamborileo irregular –bum, bum, bum- que no escuchamos porque los átomos son muy pequeños, y la sensibilidad del oído no es suficiente para notarlo. El resultado de este bombardeo perpetuo es desplazar la membrana, pero por supuesto existe un bombardeo perpetuo igual de átomos por el otro lado del tímpano; así la fuerza eta sobre él es cero. Si sacáramos el aire de un lado a otro o cambiáramos las cantidades relativas de aire en los dos lados, el tímpano se desplazaría entonces hacia un lado u otro, porque el bombardeo por un lado seria mayor que por el otro. A veces sentimos este efecto molesto cuando subimos demasiado rápido en un ascensor o en un avión (e incluso en un paseo a tierra caliente en bus o estamos resfriados). (Tomado de Mecánica, Radiación y calor de R. Feynman)

Esto le permite a su vez tocar el tema de presión atmosférica, entre otros.

Estados de la materia:

Objetivo: Reconocer que la energía interna de la materia interviene en el estado en que se encuentre esta.

Se recomienda comenzar por ver este video <https://www.youtube.com/watch?v=PHBTdmBIJ5Q> haciendo pausas para aclarar inquietudes además de ir resaltando las actividades que se hicieron previamente y vinculándolas al video. Con éste podrá hacer un recuento y completar algunas ideas, no es necesario que se vea la parte de electricidad (aunque si se cuenta con el tiempo puede dárseles algunas ideas que serán retomadas cuando el curso lo indique), así que puede dejarse hasta ahí, lo importante es recapitular y adoptar la idea de estructura de sólidos como lo

Conclusiones

presentan para dar inicio a la explicación de los estados de la materia. Puede iniciar la lectura y ante dudas puede recurrir a la explicación de las piquis en una caja y moverla para simular sólidos, líquidos y gases, recuerde mencionar que va a darle calor o energía al sistema.

Pon a prueba lo aprendido

Objetivo:

- ✓ Evaluar lo aprendido
- ✓ Potenciar las habilidades de interpretación, argumentación y proposición frente a experiencias prácticas y su explicación a través de los conceptos trabajados

La actividad puede realizarse a manera de tarea, exija que se entregue a tiempo y después de leer las respuestas, lleve al salón de clase la corrección de conceptos si es necesario.

Con esto se espera iniciar un proceso de actualización que inicie en principio con la inclusión de la concepción atómica e incidir directamente en la posibilidad del estudiante de identificar un error, emitir un juicio de valor sobre lo que lee y observar en las imágenes y con el tiempo se desencadene una serie de nuevas concepciones vanguardistas que renueven la física en el aula.

Este trabajo unificado a su vez, le permitirá comprender a los estudiantes por un lado que la física es una ciencia no terminada y que la respuesta a los fenómenos físicos no es un porque sí, sino que tiene una respuesta bien fundamentada desde la concepción atómica y que ellos pueden acceder conceptualmente a estas respuestas.

Conclusiones

El estudio realizado permitió evidenciar que los libros empleados para la enseñanza de la física en décimo grado presentan de forma superficial las temáticas que corresponden a dicha área. Esto se manifiesta cuando:

Las alusiones que se hacen de las descripciones microscópicas, no están en la capacidad de dar cuenta de las relaciones que expliquen los fenómenos macros ya que éstas no son vinculadas en las explicaciones y cuando se hacen, se tornan superficiales.

En la mayoría de las explicaciones brindadas a nivel microscópico se observa que éstas están tan desligadas de las preconcepciones de las estudiantes que simplemente pasan por desapercibidas en su proceso de aprendizaje.

Por otro lado, hay libros en los que ni se mencionan referentes microscópicos; estos son omitidos en su totalidad, basando su trabajo no en la formalización del concepto sino en el desarrollo operacional de la Física, en el que se apuesta únicamente a que el estudiante logre aplicar las ecuaciones pertinentes a cada caso y con ello logre dar respuesta a los problemas planteados en el libro.

A esta situación, se le suma que las imágenes presentes en los textos suelen omitir casi en su totalidad los detalles microscópicos, así que aunque se haga mención de seguro el estudiante también excluirá tal grado de detalle, perdiendo espacios propicios para aproximar la actividad escolar a los avances de la física.

Otro aspecto fundamental, encontrado también durante la investigación hecha con las estudiantes, y que no puede pasarse por alto a la hora de la clase, es que a pesar de conocer la teoría desde primaria y continuar trabajándola en la secundaria, las nociones ligadas a la teoría atómica no están totalmente unificadas, bien sea por la falta de profundización en los libros de texto o un abordaje superficial realizado por el docente en cada uno de los niveles de enseñanza de las ciencias naturales, generalmente ambas cosas.

Conclusiones

Dichas problemáticas nos llevan a plantear que para la consolidación de la teoría atómica en el aula es necesario realizar una mirada histórica y reconocer las experiencias que gestaron los cambios en dicha concepción, rescatando de allí el carácter dinámico de la física y la importancia de la experimentación en la idealización de lo no visible; y así formular una alternativa para acercar las cuestiones atómicas desde algunos aspectos cualitativos a la enseñanza que se genera en el aula, constituyéndose en el andamiaje que requieren los estudiantes para la comprensión de los fenómenos físicos.

Un primer paso para superar la brecha existente, es que los conceptos fundamentales sean presentados a partir de fenómenos simples desde cada uno de los niveles de enseñanza de las ciencias naturales, dado que como los expresa Greca y Herscovitz (2002):

“Consideramos que es necesario adoptar estrategias didácticas que facilitan la formación de los (nuevos) núcleos que direccionan la visualización de los fenómenos; o sea, intentar ayudar a los estudiantes a incorporar significativamente los conceptos, las ideas que deben estar en los núcleos de los modelos mentales adecuados para la comprensión de esta teoría física. En principio, esos conceptos no forman parte de la estructura cognitiva de los estudiantes y los intentos de “aproximarlos” a los conceptos clásicos conocidos (que es en parte lo que se intenta desde el abordaje tradicional) no parecería ser una buena alternativa. Consideramos que una solución posible es, sobre todo en las disciplinas introductorias, focalizar los experimentos y las observaciones.” (Pág. 330)

La propuesta, producto de la presente investigación, es un modelo que busca, además de generar una reflexión en torno a cómo se realiza el proceso de enseñanza – aprendizaje de las teorías físicas, postular la teoría atómica como una alternativa para aproximar el aprendizaje de las ciencias naturales a las descripciones actuales de las mismas, lo que genera la posibilidad de que una nueva explicación sea reconciliable con el conocimiento existente, propiciando el cambio conceptual correspondiente en los estudiantes.

A Anexo: Prueba diagnóstica “El átomo”

**SECRETARIADO SOCIAL DE SOACHA
PRUEBA DIAGNÓSTICO
EL ÁTOMO**

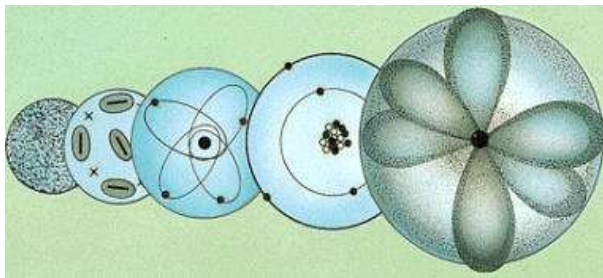
NOMBRE: _____

La siguiente prueba no tiene nota, conteste según lo que sabe.

Si es el espacio no es suficiente para dar su respuesta puede utilizar hojas anexa.

¿Recuerdas que es un átomo? ¿Qué sabes acerca de él?:

Observa detalladamente y contesta



¿Reconoces alguna(s) de estas imágenes? ¿que representan? ¿cuál es la diferencia?

Las partículas que conforman el átomo son:

- a. Protones, electrones y neutrones.*
- b. Carga positiva y carga negativa.*
- c. Corriente eléctrica y neutrón.*
- d. Protón y electrón.*

Otros, cuales _____

En que parte del átomo se encuentran los electrones

En que parte del átomo se encuentran los protones

En que parte del átomo se encuentran los neutrones

¿Qué entiendes por carga eléctrica? ¿Qué tipos de cargas hay?

B Anexo: Prueba diagnóstica “análisis de casos”

Secretariado Social De Soacha Prueba diagnóstica Análisis de casos

La siguiente prueba no tiene nota, conteste según lo que sabe.

Utiliza la hoja anexa para dar tus respuestas.

A continuación encontraras una serie de imágenes que abarcan diferentes problemas físicos, y unas preguntas en torno a ellos. Recuerda leer bien y siempre justificar tu respuesta.

¿Sobre qué es la siguiente imagen?

Describe lo que ocurre, recuerda ser clara y explicar hasta el último detalle.

¿Es necesario recurrir a la teoría atómica o molecular para explicar lo que ocurre en ella? ¿por qué?



La siguiente imagen está acompañada de esta explicación, y hace referencia a la fuerza de rozamiento:

“las superficies de contacto no son perfectamente lisas, sino que presentan rugosidades que encajan

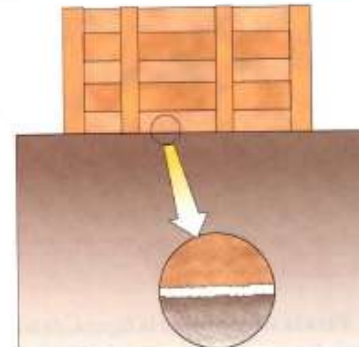


Figura 4. Rugosidades en las superficies producen fuerza de rozamiento.

aleatoriamente entre sí, produciendo esta fuerza que se opone al movimiento”

Dicha afirmación es correcta y completa (justifica tu respuesta), si no lo es ¿cómo podría ser la imagen?

La imagen está acorde con el enunciado

¿Es necesario recurrir a la teoría atómica o molecular para explicar lo que ocurre en la imagen anterior? ¿por qué?

Reflexiona: Seguramente has sentido “corrientazos” cuando tocas a alguien o cuando tocas parte de un vehículo

¿Por qué crees que ocurre eso? Explica.

¿Qué crees que ocurre a nivel atómico o subatómico



Apéndice

MODELOS ATÓMICOS

Apartado 1

1. Reconocimiento de la estructura compleja del átomo: sus primeras caracterizaciones

1.1 Los orígenes de la imagen de átomo

El inicio de la idea atomista se da en dos momentos diferentes de la historia. El primero hacia el siglo V a.C., en donde la idea de átomo o partícula indivisible nace como una tesis propuesta por Leucipo y desarrollado aún más por su discípulo Demócrito, idea que escapa a una visión de la materia como un *continuum*. Esta última imagen, más cercana al sentido común, la retomaría Aristóteles años más tarde con su propuesta de cuatro elementos fundamentales, (agua, tierra fuego y aire) como fundamento constituyente de toda la materia. Es solo hasta el siglo XIX de la era moderna, 22 siglos después, que se da el segundo momento, basado en una propuesta planteada por Dalton, en la cual se retoma la idea atomista de Demócrito, pero ahora sujeta a las experiencias científicas en el laboratorio, para explicar las leyes ponderales de las reacciones entre elementos que se estudiaban en ese momento y que dieron origen a la química como disciplina científica.

1.1.1. De lo continuo a lo discreto

Es usual que se mencione a Leucipo y Demócrito como los gestores de la imagenatomista, sin embargo no siempre se entra en los detalles de la descripción que Demócrito hacía de dicha teoría, la cual cabe resaltar estaba llena de brillantes ideas, como lo muestra el siguiente aparte:

“Demócrito pensaba y postulaba que los átomos son indivisibles, y se distinguen por forma, tamaño, orden y posición. Se cree que la distinción por tamaño fue introducida por Epicuro años más tarde o que Demócrito mencionó esta cualidad sin desarrollarla demasiado. Gracias a la forma que tiene cada átomo es que pueden ensamblarse, aunque nunca fusionarse (siempre subsiste una cantidad mínima de vacío entre ellos que permite su diferenciación) y formar cuerpos, que volverán a separarse, quedando libres los átomos de nuevo hasta que se junten con otros. Los átomos de un cuerpo se separan cuando colisionan con otro conjunto de átomos; los átomos que quedan libres chocan con otros y se ensamblan o siguen desplazándose hasta volver a encontrar otro cuerpo. Para Demócrito, los átomos estuvieron y estarán siempre en movimiento. Su modelo atomista constituye un claro ejemplo de modelo mecanicista, dado que el azar y las reacciones en cadena son las únicas formas de interpretarlo.. [Asimov](1983)

Más adelantada a su tiempo es esta reflexión, que bien quisieran los pioneros de la teoría cuántica haber propuesto:

“Por convención, dulce es dulce, amargo es amargo, y por convención, caliente es caliente, frío es frío. Pero en realidad sólo hay átomos y vacío. Es decir, los objetos de la sensación se suponen reales y es costumbre considerarlos como tales, pero en realidad no lo son. ¡Sólo los átomos y el vacío son reales!”

Leucipo, Demócrito y sus discípulos sostuvieron que la luz y los átomos están estrechamente conectados. Para ellos, la luz sería un flujo de partículas extremadamente diminutas. Como se observa, las ideas de Demócrito iban más allá de una división de la materia; él hacía una descripción detallada de dos concepciones que 2 milenios más tarde, sin saberlo, estarían presentes en la construcción de la teoría actual, la primera relacionada con el vacío, y la segunda, la idea de átomo como un agente dinámico. Estas caracterizaciones serán siglos después (no por la razón sino por la experiencia) los focos de drásticas transformaciones en la forma en que se concibe el átomo, su núcleo, su periferia y la luz misma, emitida en forma de partículas desde el interior del primero.

No podemos dejar a un lado este apartado sin resaltar el trabajo de Demócrito de cara al esfuerzo por aplicar su teoría a las explicaciones del mundo macro, y su intento incluso por ir más allá de la realidad, al tratar de explicar lo sobrenatural, tal y como se hace evidente en su idea:

La psyché (alma) del hombre estaría formada por átomos esféricos livianos, y el soma (cuerpo), por átomos más pesados. Las percepciones sensibles, tales como la audición o la visión, son explicables por la interacción entre los átomos de los efluvios que parten de la cosa percibida y los átomos del receptor. Esto último justifica la relatividad de las sensaciones”. [Asimov](1983)

Cabe indicar que, dada la influencia de filósofos tan importantes como Aristóteles, la idea atomista formulada por Leucipo y Demócrito termina por dejarse de lado, culminando así con el primer momento. Fue hasta después de 22 siglos que se dio el segundo momento; en el siglo XIX el naturalista, químico, matemático y meteorólogobritánico, John Dalton (1766 - 1844) retoma esta idea para dar sentido a la química trabajada hasta el momento.

Leyes ponderales de las combinaciones químicas

El estudio de las transformaciones químicas por Lavoisier dio lugar al descubrimiento de las leyes de las combinaciones químicas y al establecimiento de la química como ciencia. Un primer aspecto de este desarrollo del conocimiento en el campo de la química fue conocer la relación entre las cantidades de las sustancias que intervienen en una reacción pasando de lo meramente cualitativo a lo cuantitativo; para ello fue necesario el desarrollo de la balanza como instrumento de medición. Dichas relaciones se convirtieron en leyes provenientes de la experiencia y el establecimiento de estas tres leyes jugó un papel fundamental en el desarrollo de la teoría atómico-molecular de la materia.

Ley de la conservación de la materia o la masa.

El principio de conservación de la masa se atribuye principalmente a Lavoisier, quien realizó abundantes experimentos químicos cuantitativos para fundamentarlo; él fue consciente de la importancia de conseguir un buen aislamiento de los reactivos e introdujo en sus experimentos una balanza sensible para medir cantidades de las sustancias que intervienen. Comprobó el principio de conservación de la masa en las reacciones y lo enunció en 1789 así:

"Debemos considerar un axioma incontestable, que en todas las operaciones del arte y la naturaleza nada se crea; la misma cantidad de materia existe antes y después del experimento... y no ocurre otra cosa que cambios y modificaciones en la combinación de estos elementos. Todo arte de realizar experimentos químicos, depende de este principio."

Ley de las proporciones definidas.

La ley de las proporciones definidas también fue expuesta por Lavoisier; en ésta se señala que los compuestos químicos tienen una composición definida o constante, sin embargo esta ley se le atribuye al químico francés Proust (1754-1826), quien la definió como:

"Cuando dos o más elementos se combinan para formar un compuesto dado, la razón entre las masas de los elementos que intervienen es siempre la misma."

"Debemos reconocer –escribía Proust– que la composición y las propiedades de una combinación verdadera son siempre las mismas en cualquier punto de la Tierra. El cinabrio del Japón tiene la misma composición y las mismas propiedades que el de España; en todo el mundo no hay más que una sal común, un nitrato de potasio, etc. Los óxidos obtenidos por síntesis tienen la misma composición que los naturales..."

Ley de las proporciones múltiples.

Aunque no fue el único investigador que aportó a esta ley, se le atribuye a Dalton su construcción, ya que la enunció a partir de las investigaciones que realizó para

estudiar las proporciones en que se combinan diferentes elementos para formar compuestos:

"Siempre que dos elementos se combinan para formar más de un compuesto, las proporciones en que lo hacen en los diferentes compuestos guardan entre sí una relación de números enteros sencillos."

Ante estas leyes químicas, Dalton buscó explicar los fenómenos que las antecedían partiendo de la idea de que la materia es discontinua y presentó los siguientes postulados o hipótesis

- Los elementos están constituidos por átomos consistentes en partículas materiales separadas e indestructibles.
- Los átomos de un mismo elemento son iguales en masa y en todas las demás cualidades.
- Los átomos de los distintos elementos tienen diferente masa y propiedades.
- Los compuestos se forman por la unión de átomos de los correspondientes elementos en una relación numérica sencilla. Los «átomos» de un determinado compuesto son a su vez idénticos en masa y en todas sus otras propiedades.

Con estos postulados, Dalton retomó la idea discretizadora de la materia y describió a esta otorgándole unas características que permitían diferenciar los elementos, tal como lo hizo Demócrito, solo que esta vez la hipótesis estaba soportada por las tres leyes ponderales de las reacciones, como consecuencia de esta relación, se daría inicio a una nueva ciencia, la química.

Con la visión de Dalton, la interpretación de las leyes presentadas sería una tarea más fácil, pues permitía no solo comprender sino visualizar la explicación, relacionándola con los comportamientos observados en las reacciones.

A continuación se muestran tres imágenes que podrían representar lo expuesto en las leyes; es preciso aclarar que estas imágenes, aunque resulten cercanas a la experiencia del estudiante, pueden inducir a errores; por ejemplo la primera imagen ubica a los átomos en una balanza jugando indiscriminadamente con el tamaño y las proporciones; también se juega con los colores, lo que a la larga podría hacer pensar al estudiante que si por ejemplo estoy hablando de los átomos de oro, estos son de color dorado, lo que no corresponde a la realidad.

<i>Ley de la conservación de la materia o la masa.</i>	<i>Ley de las proporciones definidas.</i>	<i>Ley de las proporciones múltiples.</i>
 <p>a)</p>	 <p>El átomo de oro El átomo de plata El átomo de cobre El átomo de zinc El átomo de nio El átomo de cadmio El átomo de selenio</p>	 <p>oro + plata → oro-plata (en cualquier proporción) oro + plata → oro-plata (en cualquier proporción)</p>

De esta forma, la multitud de experimentos que se han realizado desde que Dalton propuso sus ideas han corroborado plenamente que la materia está compuesta por átomos. Sin embargo, a fines del siglo XIX se encontró que, contrariamente a lo que Dalton pensaba, los átomos no son indivisibles, asunto que abordaremos a continuación.

1.1.2 El pastel de pasas y el modelo atómico planetario: dos representaciones clásicas del átomo

1.1.2.1 La primera representación estructural de átomo.

Para el siglo XIX habían dos consideraciones que juzgamos como fundamentales, las cuales estaban en la base de lo que constituiría el primer modelo estructural del átomo; por un lado, toda la comunidad estaba familiarizada con la representación atómica de Dalton como maciza, y no habían objeciones al respecto; de hecho, la química se encontraba satisfecha con tal representación, de modo que, encontrar una nueva forma de concebir la materia no era un problema de investigación en la química experimental ni teórica; en otras palabras, las experiencias hasta entonces desarrolladas podían ser entendidas a partir de este modelo. Por otro lado, durante el mismo siglo se empezó a desarrollar un interés considerable por el estudio de los rayos catódicos [Navarro, 2006]. Dicho estudio desestabilizó la concordancia que hasta el momento se tenía entre el experimento y la teoría, convirtiéndose así en el motor de un cambio drástico en la forma de concebir al hasta entonces indivisible átomo.

Uno de los científicos en emprender esta labor fue Joseph J. Thomson, un joven Inglés que estaba muy interesado en la conducción eléctrica a través de gases, pero se inclinaba poco por el estudio de los rayos catódicos en los que Hertz trabajaba. *“El estudio de los rayos catódicos apenas había despertado el interés de J. J. Thomson. Su programa de investigación estaba más centrado en el estudio de las descargas en medios materiales, y los rayos catódicos son un fenómeno que se da en el vacío. Pero en 1896, con la aparición de los rayos X, Thomson creyó llegado el momento para estudiar el origen de estos y su relación con los rayos catódicos.”* [Navarro, 2006],... experimento en el que se hacía pasar descargas eléctricas, en un tubo al vacío; para ello se utilizaba un montaje como se ve en la figura 1.1. En el que los rayos viajan en línea recta del cátodo al ánodo, produciéndose una iluminación en la dirección del flujo de partículas de

modo que esto podían ser identificados.

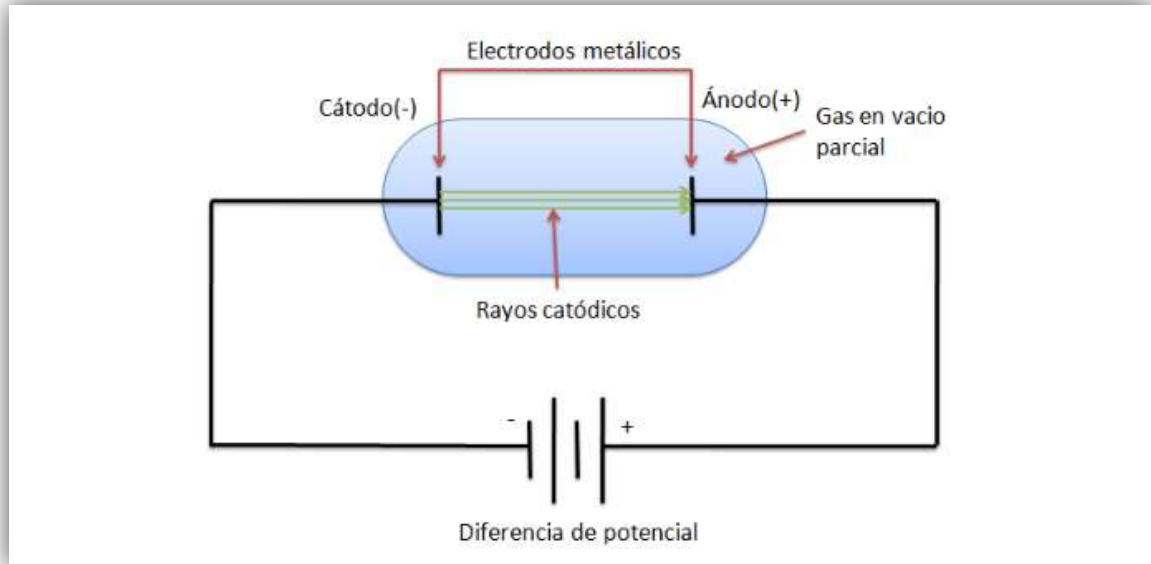


Figura 1.1: Los electrodos de metal se encuentran soldados en los dos extremos del tubo de vidrio, y se les puede aplicar una diferencia de potencial hasta de 10.000 voltios (esto es encender aproximadamente 100 bombillos de 120 voltios cada uno), los rayos catódicos viajaban hacia el ánodo (+) desde el cátodo (-) a través de un gas que se encontraba en vacío parcial.

Arreglos posteriores de este experimento le permitieron a Thomson descubrir una nueva propiedad de la naturaleza de dicho haz; se le adicionó al montaje un campo magnético perpendicular al eléctrico ya existente, además de un condensador ubicado como se muestra en el arreglo experimental de la figura 1.2; en este, se pueden ver varios haces que salen del cátodo y llegan al ánodo; nótese que sólo logran pasar algunos, ya que el ánodo funciona como un colimador de los rayos; así, pues, en su trayectoria siguiente el haz debe ahora atravesar un campo magnético.

“Se sabía que los rayos catódicos podían ser desviados por la acción de un campo magnético. Si se ponían los dos extremos en la trayectoria de los rayos, éstos sufrirían una desviación. Para

distinguir si los rayos catódicos eran ondas o corpúsculos había que intentar desviarlos también con campos eléctricos y no sólo con campos magnéticos” [Navarro, 2006].

Así que se adicionaron dos placas paralelas o un condensador ubicado perpendicularmente al haz; estas placas, se encuentran conectadas a una batería de bajo voltaje; este montaje fue utilizado por Hertz y sus observaciones lo llevaban a pensar que el haz transportado en el cátodo era de naturaleza ondulatoria. Thomson repitió el experimento y lo que observó fue que el rayo se desviaba tanto por la acción del campo magnético como por la acción del eléctrico, tal como se esperaría que lo hicieran partículas cargadas y dedujo el signo negativo de la carga gracias a la dirección en la que el haz desviaba. Otra de las conclusiones que permitieron llegar a esta caracterización de la naturaleza del haz, fue que la velocidad obtenida experimentalmente correspondía a 3×10^7 m/s un orden de magnitud menor a la velocidad de la luz; esto le daba el carácter de partícula, ya que de ser onda debería viajar a la misma velocidad que la luz (3×10^8 m/s). Sin embargo su descubrimiento revolucionario no fue para él nada extraordinario pues *“los modelos que Thomson había ido desarrollando para poder explicar las descargas eléctricas le habían ido llevando hacia la formulación del concepto de carga eléctrica como algo discreto, atómico, y de carga eléctrica como fenómeno asociado, de alguna manera con la masa”* [Navarro,2006]. De una u otra forma esta experiencia confirmaba sus sospechas, por lo que concluyó:

“como los rayos catódicos llevan consigo carga de electricidad negativa, son enviados por una fuerza electrostática como si tuvieran electrificación negativa, y son afectados por una fuerza magnética de la misma manera que lo serían cuerpos electrificados que se movieran en la trayectoria de los rayos, no veo escapatoria a la conclusión que los rayos catódicos son cargas de electricidad negativa transportada por partículas de

materia".

La siguiente pregunta se refiere a qué son estas partículas: "*¿son átomos, o moléculas, o materia en un estado de subdivisión más fina?*" [Thomson, 1897] este sin duda era su mayor desconcierto, así que puso a prueba varias clases de metales en los electrodos y asombrosamente se observaba que la desviación obtenida era la misma y sólo se observarían diferencias en su trayectoria al variar el campo magnético. "*Era como si los corpúsculos fueran una subdivisión de los átomos independiente del tipo de elemento químico*" [Navarro, 2006]. Así, pues, dentro de su estudio, halló la hoy muy conocida relación carga masa, al encontrar la trayectoria total que el haz sigue, (asumiendo la trayectoria del haz desde que entra al condensador hasta que este sale de él, como movimiento parabólico (M.U.A), y su continuación al salir de él como un movimiento uniforme) se obtiene a partir de un simple cálculo una constante equivalente a la relación entre carga/masa, dicha constante del orden de 10^{11} C/kg era portentosamente alta, por lo que se supondría que la carga del electrón sería muy grande, o su masa muy pequeña. La primera de estas posibilidades fue desechada [Navarro, 2006], y su hipótesis se fundamentó en que la masa de estas partículas sería muy pequeña. "*Estos rayos misteriosos son haces de partículas mucho más pequeñas que los átomos, las cuales son, de hecho, piezas minúsculas de átomos*". [Arriaga, 2005] Nótese que desde aquí, Thomson hace referencia a pequeñas piezas, como componente básico del átomo, a las que llamó *corpuscles* o "corpúsculos" atribuyéndole el carácter, divisible, a lo que hasta ahora era indivisible.

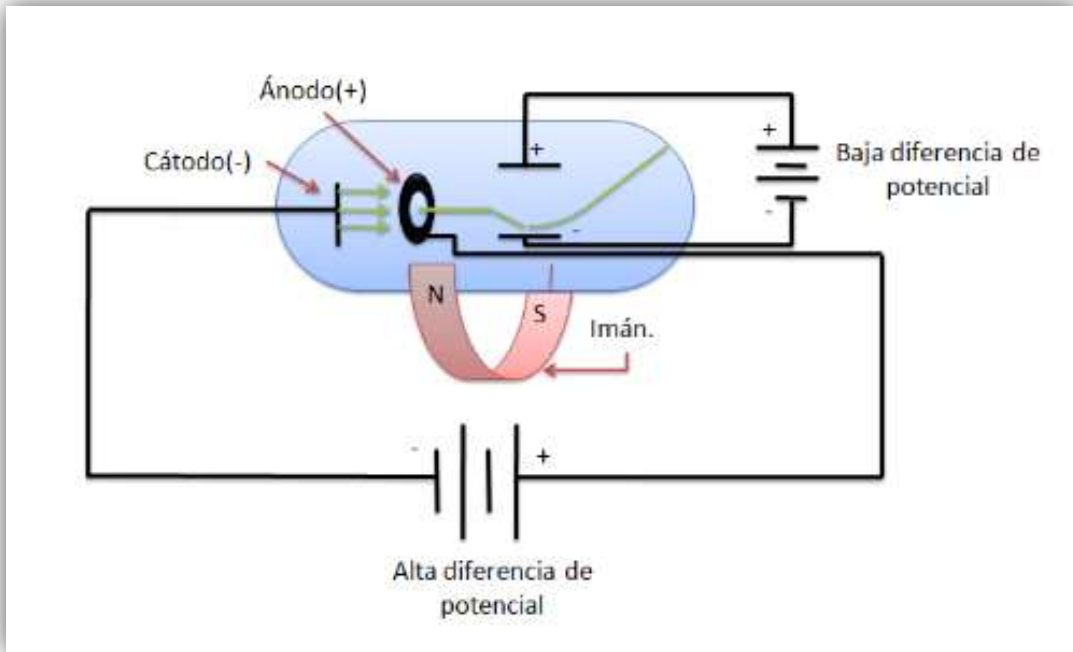


Figura 1.2: Este es una representación del montaje experimental realizado por Thomson en el que se encuentran dos electrodos uno alimentado por una fuente de alta potencia (podría ser de 10000 voltios), y otra de baja potencia (de unos 10 voltios, como una pequeña pila), los rayos que se encuentran en la primera región (entre el cátodo y ánodo a alto voltaje) muestran una trayectoria rectilínea, pero en presencia del campo magnético (imán) se ven desviadas hacia el cátodo a bajo voltaje pero al disminuir la influencia del campo magnético sobre el haz, este cambia su trayectoria abruptamente alejándose del electrodo negativo, por lo que se concluye que el haz tiene carga eléctrica negativa al repeler al cátodo. Cabe resaltar que pese a que la imagen representa con tres líneas el haz, este debe entenderse como un conjunto incontable, y tan solo la tercera parte de dicho haz logra pasar por el colimador.

Así, pues, la representación de corpúsculo o electrón de Thomson contenía tres ideas fundamentales: “la carga eléctrica se daba en valores discretos, que esa carga era transportada por partículas muy pequeñas en los rayos catódicos, y que esas partículas no eran una propiedad exclusiva de los rayos catódicos sino que constituían el material primordial del que todos los átomos están hechos” [Navarro, 2006], pero las intenciones de Thomson estaban lejos de buscar (al menos intencionalmente) un modelo de átomo, aunque evidentemente sus ideas

contribuirían en gran medida a la a una reestructuración del modelo de Dalton. Es así como desarrolla su primera aproximación a lo que posteriormente sería su modelo atómico, denominado el pastel de pasas; en esta aproximación Thomson imaginó que la masa atómica asociada a cada átomo dependería única y exclusivamente de la masa cargada de sus electrones (masa sumamente pequeña), así que su arreglo expuesto en la figura 1.3 implicaría la presencia de muchos corpúsculos, y estos a su vez se encontrarían agrupados gracias a que el espacio (ausencia de corpúsculos) entre ellos actuaría como la carga positiva (sin masa) de modo que estos serían eléctricamente neutros. Frente a su primera hipótesis del mundo atómico, encontró que al hacerse varios experimentos que darían razón del número de corpúsculos, estos arrojaban que el número de electrones corresponderían a lo que se conoce como número atómico.

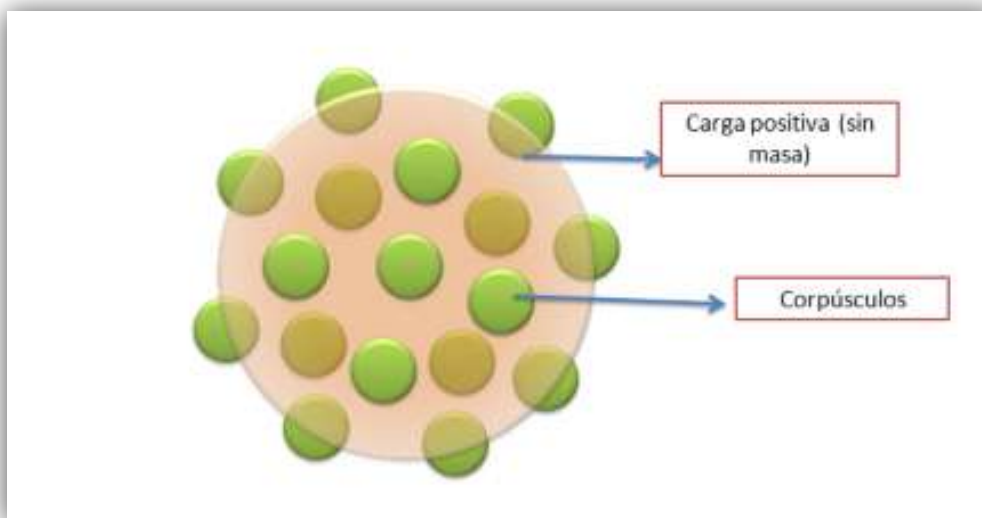


Figura 1.3: Primera aproximación a la representación atómica de Thomson, según la cual la carga positiva era inmaterial, y la masa atómica del elemento químico correspondería únicamente a la de los corpúsculos.

Así, por ejemplo, para el átomo más simple hasta ahora conocido (el átomo de hidrógeno), del cual se sabe que su número atómico es 1, un sólo corpúsculo no sería suficiente para que este diera razón de la masa del átomo, por ello y por

otros aportes hechos por Rutherford, su primer modelo tuvo que ser abandonado; y debió encontrar una nueva solución al problema de la masa atómica. Esta solución estaba ligada a la carga positiva, a la que desde entonces se le atribuiría en gran parte la masa del átomo (que se encuentra distribuida en una esfera de radio $\sim 10^{-10} m$) y que al igual que su anterior representación haría las veces de carga opuesta del electrón (con el mismo valor de carga pero positiva). Estas consideraciones conformaron la primera representación estructural del átomo, que gracias a su gran parecido con un pastel de pasas fue conocida y divulgada por la comunidad científica a través de la historia con este nombre. (Ver imagen 1.4).

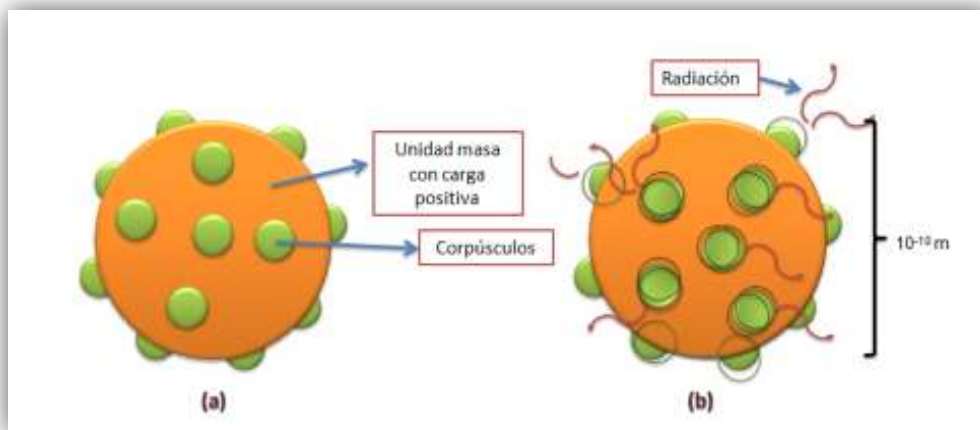

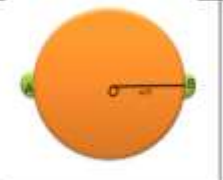



Figura 1.4: Representación gráfica del modelo de J.J. Thomson para un átomo de argón, con número atómico 18. (a) Átomo en equilibrio; (b) átomo a altas temperaturas, en donde se ve la emanación de la radiación y vibración y el tamaño del átomo $\sim 10^{-10} m$

Ya se han mencionado cualitativamente los componentes esenciales del átomo de Thomson, ahora, veremos en la siguiente tabla algunos ejemplos de la distribución de los corpúsculos dentro de la carga positiva.

En síntesis, a Thomson no bastándole con decir que los átomos eran ahora divisibles al poseer corpúsculos, generalizó (correctamente) que sin importar las

propiedades físicas y químicas que se le atribuyen y caracterizan a cada elemento, estos corpúsculos hacían parte de todos los átomos. Este reconocimiento tanto experimental como teórico de la idea de electrón, constituye todo un cambio conceptual, ya que la idea de indivisible y macizo que había estado arraigada durante siglos, tuvo que modificarse, originando dentro de la comunidad científica un interés en aumento por la comprensión de la estructura atómica, a la cual Thomson no sólo aportó, en el sentido de establecer partes dentro del átomo, sino que también le dio a partir de un arreglo geométrico una distribución interna. De modo que, su modelo constituyó un acercamiento fundamental hacia una representación atómica más detallada y precisa para la época.

Número corpúsculo	Elemento químico	Ubicación (e) equilibrio	Representación gráfica
1	H	centro, O	
2	He	$OA = OB = \frac{a}{2}$	
3	Li	Vértices de un triángulo equilátero	

Allí se observa que el criterio de distribución es de carácter geométrico, y ello responde al esfuerzo por mostrar una correspondencia entre la teoría y el experimento, para el cual el átomo es eléctricamente neutro. Este trabajo constituyó el primer bloque para la construcción de modelos y teorías

que develaran la naturaleza del mundo atómico, y Thomson logró llegar a ella apoyándose en el producto de estudiosos en varios campos de la física y la química 1.4, incluso su trabajo fue rápidamente apoyado gracias a los adelantos teóricos de Lorentz y Larmor, quienes independientemente llegaron a la conclusión de la presencia de cargas puntuales llamadas electrones, aunque su idea no contemplaba un carácter masivo, esta se acopló muy bien con los corpúsculos experimentales de Thomson, a tal punto que muchos físicos pensaban que era la misma cosa, pese a esto Thomson siguió con su idea de corpúsculos, y fue quizás el último en aceptar que eran la prueba experimental de la teoría del Lorentz y Larmor. Sin embargo, su hallazgo del electrón no fue tan significativo como la propuesta de que los átomos estaban compuestos por éste [Navarro, 2006].

1.1.2.2 La reforma a la distribución de cargas.

De la sección anterior vale la pena resaltar la idea de estructura una vez determinada la idea de corpúsculo, una pregunta natural es ¿cómo están distribuidos esos corpúsculos? La respuesta provino de Rutherford, y en esta sección resaltaremos momentos conceptuales importantes para su idea de átomo, caracterizada por una redistribución en las cargas.

A pesar de ser el pastel de pasas de Thomson el primer modelo detallado de la estructura de la materia, fracasó ante evidencias experimentales; las mismas evidencias que condujeron a Rutherford a hacer una corrección en la distribución de las cargas dentro del átomo lo cual habría paso a una nueva y enigmática región llamada núcleo.

Rutherford empezó sus estudios en torno a la radioactividad. En ellos hacía incidir haces de partículas (átomos de Helio doblemente ionizados de fácil absorción) contra diferentes materiales radioactivos. Al hacer este experimento sobre láminas delgadas de oro (u otros materiales) el haz chocaba y se devolvía; en palabras del mismo Rutherford, era como “si al disparar una bala con un rifle contra una hoja de papel esta rebotara”. Se había encontrado un fenómeno que

según las predicciones del modelo atómico de Thomson no debería ocurrir de semejante manera; según este, lo que debía observarse es que al pasar el haz de partículas alfa, estas atravesaran el átomo y quizás al final del recorrido se observara pequeñas desviaciones en las trayectorias originales pero jamás se esperaría que estas rebotasen, la explicación de esto se halla en su nombre de pastel de pasas, su masa se encuentra distribuida en la totalidad del tamaño del átomo, por tal razón es poco densa, al igual que la masa de un pastel, así pues si se considera a otro átomo (más pequeño) pero con un considerable momento gracias a que su velocidad es del orden de 10^6 m/s, lo que se espera es que lo atravesase fácilmente (esto se puede ver gráficamente en la figura 1.5) y quizás sufra pequeñas desviaciones a causa de las fuerzas eléctricas interactuantes. En cuanto al fenómeno de colisión y retroceso se encontraba que teóricamente la probabilidad de este suceso (colisión y retroceso) sería casi nula, mientras que experimentalmente utilizando el arreglo que Geiger y Marsden (imagen 1.6) idearon, se encontró que existía una pequeña cantidad, 1 entre 20 000 partículas, que eran desviadas en un ángulo de 90 o mayor [Arons,1970].

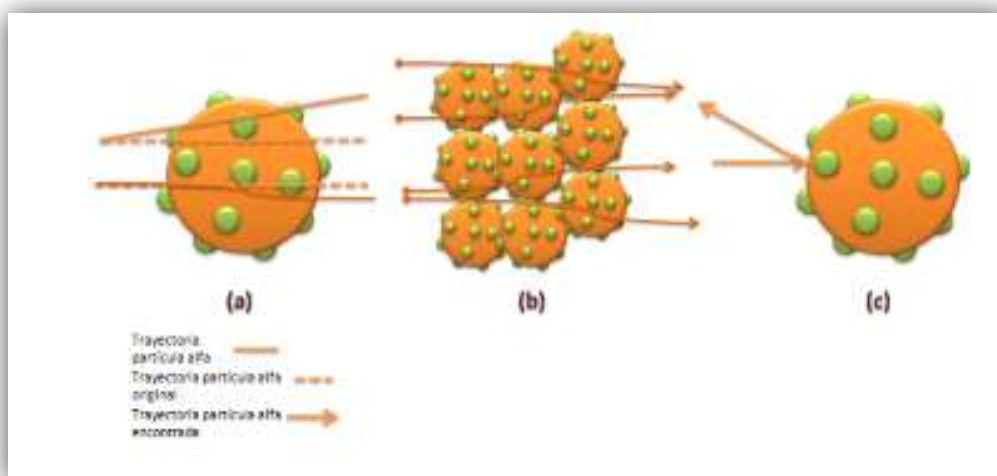


Figura 1.5: Desviación de una partícula alfa sobre un átomo Thomsiano; (a) dispersión esperada (ϕ_{max} entre 1 y 3); (b) haz de partículas α sobre una lámina delgada;(c) la obtenida experimentalmente, pero esto no podía ser posible en un átomo de Thomson ya que habría un pequeño grado de

repulsión entre el trozo dq del átomo y la carga $2q$ de la partícula α .

El fenómeno encontrado experimentalmente fue la clave en la formulación de una nueva hipótesis de la distribución de la estructura de la materia, ya que el choque de una partícula alfa caracterizada por ser masiva y rápida, contra los átomos Thomsianos sólo podía ser explicado si se concentraba la masa de tal forma que esta fuese lo suficientemente densa para desviar la partícula α , así que la distribución de cargas del átomo de Thomson debería ser replanteada; en uno de sus artículos publicados en la Royal Society en 1909 Rutherford afirmó:

“Al considerarlo [el retroceso] me di cuenta de que esta dispersión hacia atrás debía ser el resultado de una sola colisión y cuando hice cálculos vi que era imposible obtener algo de este orden de magnitud a excepción de que se tomara un sistema en el cual la mayor parte de la masa del átomo estuviera concentrada en un pequeño núcleo. Fue entonces que tuve la idea de un átomo con un centro masivo minúsculo portando una carga.”[Arons, 1970].

Este centro masivo según Rutherford sería cuatro órdenes de magnitud menor que el propuesto por Thomson (10^{-10} m) y en él se encuentra concentrada casi el 99 % de la masa atómica en estado estacionario, a este peculiar conjunto de características lo llamó núcleo; así que, en el experimento lo que se observa es que el núcleo al ser golpeado por la partícula α ; apenas si lo sacaría de su estado estable, mientras que para la partícula menos masiva (partícula α) si se vería un efecto considerable al cambiar la trayectoria, consiguiéndose explicar el fenómeno de rebote.

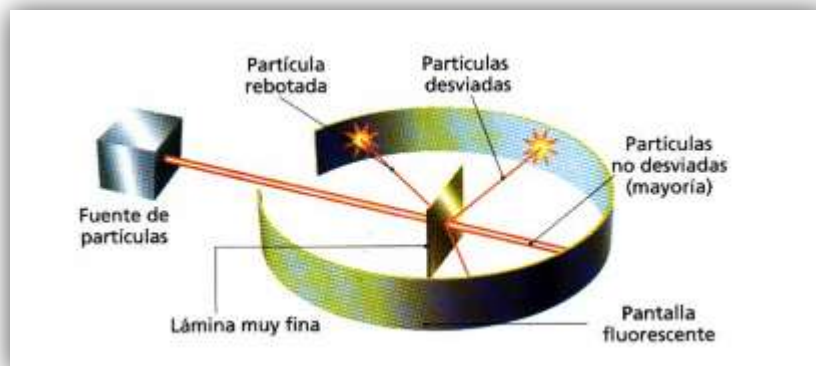


Figura 1.6: Experimento de dispersión de partículas alfa. En él se hacen incidir haces de partículas α empleando a un arreglo experimental diseñado por Geiger y Marsden (este haz pasará por un colimador, y posteriormente, a través de una capa muy delgada de metal usualmente de oro, (también se utiliza aluminio, plata, platino, entre otros metales), en estas condiciones el rayo es dispersado en ángulos pequeños de 1° a 3° .

A partir de éste modelo atómico fue posible continuar con la estructuración de la materia, se incluyó un nuevo término delegado a la carga positiva del átomo, que cambió drásticamente la distribución de la carga no sólo positiva de la representación de Thomson, sino que también caracterizó a la carga negativa, esta, ya no estaría atrapada en la viscosidad de la carga positiva; su modelo exigió una reformulación pues los electrones quedarían a la deriva, así pues, los electrones al rededor deberían estar ligado por una fuerza centrípeta capaz de mantener al electrón en las proximidades del núcleo y tal como lo explicaba la fuerza de Coulomb, deberían estar orbitando en torno al centro, de esta forma la concepción de órbita aparecería por primera vez en la formulación atómica.

Éste modelo tiene sin duda tiene grandes similitudes en la forma en que se encuentran distribuidos los planetas en torno al sol, siendo los electrones el reemplazo de los planetas y el núcleo en sustituto del sol, además las dos fuerzas de ligadura son matemáticamente similares, la fuerza de Coulomb para el caso atómico, y fuerza gravitacional para el planetario.

Nótese el lenguaje diferente que se usa en este modelo; se incluyen conceptos clásicos como la fuerza de Coulomb, fuerza centrípeta, fuerza gravitacional, que constituyen leyes y teorías clásicas como el electromagnetismo, la mecánica celeste, y en sí misma la concepción atómica, entre otras.

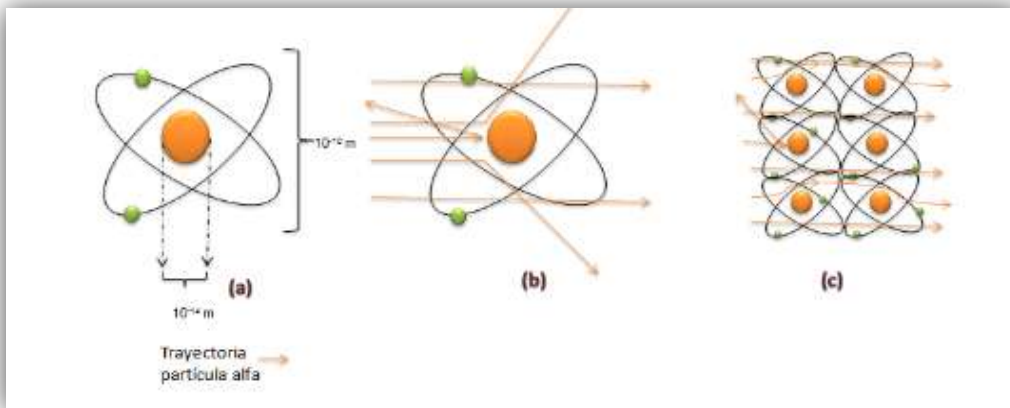


Figura 1.7: Representación de estructura de la materia de Rutherford. (a) modelo atómico planetario, en donde el núcleo tiene un tamaño de 10^{-14} m ; y el tamaño del átomo conserva la dimensión encontrada por J.J de 10^{-10} m ; (b) con la reducción del núcleo, se pudo explicar la dispersión de partículas α y (c), se muestra como ocurre tal dispersión en una delgada lamina.

Parece ser que la mecánica celeste no sólo estuvo presente en la representación atómica de Rutherford sino que años atrás en Japón el físico H. Nagaoka, propuso un modelo mostrado en la Figura 1.8, que consiste en “*considerar matemáticamente las propiedades de un átomo [al que denominó posteriormente] “saturniano” [del] que supuso está formado por una masa atractiva central rodeada de anillos de electrones en rotación. Demostró que tal sistema era estable si la fuerza atractiva era grande.*” [Sánchez, 2001]. Estos dos modelos son curiosamente similares, no obstante, la historia ha mostrado que el físico japonés no influenció los trabajos del neozelandés.

Así ante el increíble hecho experimental en la formulación atómica de Thomson del rebote que surge en la dispersión de partículas alfa, se llega a una nueva representación atómica caracterizada en primer lugar por la redistribución de la carga positiva en el átomo, esta se encuentra ahora concentrada en un pequeño núcleo separado de los electrones por el vacío; en segundo lugar, se caracteriza por hacer referencia a la idea de órbita asociada a los electrones en movimiento. Estos dos aspectos afianzan la analogía con el sistema planetario, y representa el radical cambio conceptual presente en la formulación de Rutherford. Nótese que nuevamente un hecho simple (el fenómeno de rebote) causa todo un cambio en la idea como es concebido el átomo y su estructura ahora a esta se le atribuye una distribución, pese a esto aún esta representación no rompe con los paradigmas clásicos, pues se fundamenta en las leyes de la física clásica conocidas hasta entonces.

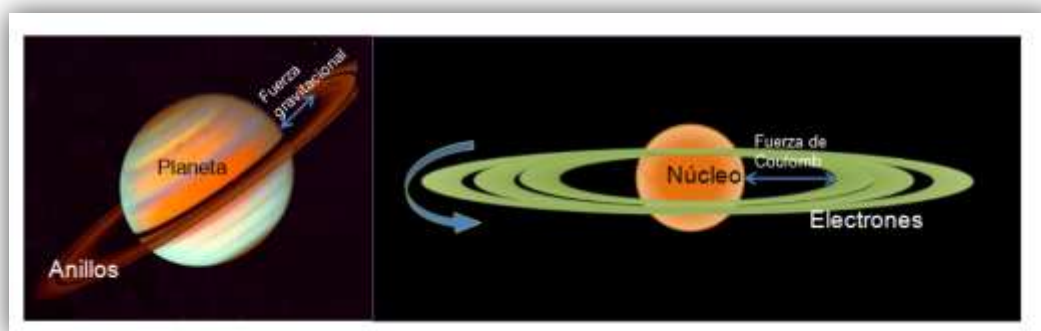
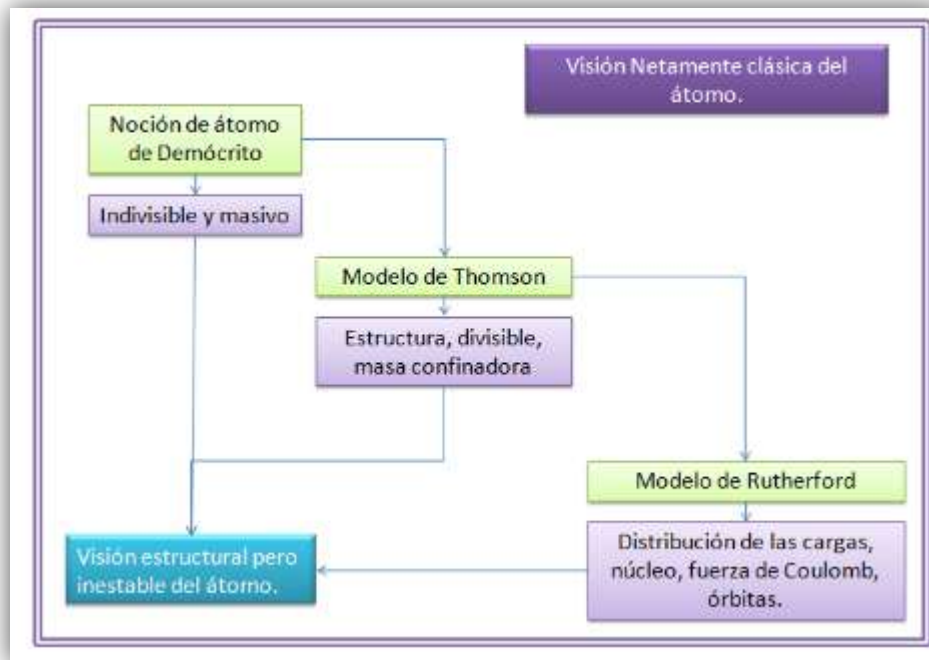


Figura 1.8: (a) Imagen de Saturno; (b) Modelo “saturniano”, En el modelo de Hantaro Nagaoka, Saturno cumple las veces del núcleo al ser muy masivo, mientras que los electrones son análogos a los anillos de Saturno, ya que estos se encuentran girando alrededor del planeta debido a la Fuerza gravitacional, que en su modelo atómico correspondería a una Fuerza electrostática de Coulomb.

A continuación, se muestra un mapa conceptual que contiene las ideas centrales, de este periodo.



Apartado 2

2. Una visión fragmentada de mundo: de lo continuo a lo discreto

Introducción

Hemos resaltado hasta ahora el átomo como una estructura fundamentada en las leyes de la física clásica, en donde se establece la analogía con el sistema planetario, dando paso a pensar que los estudiosos de la época en torno a este tema veían una simetría entre los cuerpos celestes y los atómicos. Sin embargo, con nuevas evidencias tanto teóricas como experimentales se desafiaron tales descripciones clásicas del mundo y fue en el siglo XX en donde estas evidencias desbordaron toda una revolución conceptual, al concebirse no sólo la materia como algo discreto, sino al adoptarse una postura que quizás jamás se pensó: los principios con los que se regía el mundo, eran ahora también de la misma naturaleza, se encontraban atomizados.

Esta visión fragmentada del mundo, modificó los principios y leyes que regían los fenómenos físicos, se pasó de una concepción continuista a una discreta a través de la idea de cuantización, con la que además, por primera vez, se le pudo dar explicación al fenómeno espectroscópico ocasionado por los diversos elementos, encontrando de forma teórica los datos experimentales obtenidos por los espectroscopistas, cuyo estudio jugarían un papel fundamental en el desarrollo de la imagen de átomo.

De esta forma, el concepto de discretización se convirtió en un agente indispensable en la estructuración de los modelos que estarían por desarrollarse, empezando por el modelo atómico de Bohr, para el cual las líneas espectrales se convirtieron en el sustento de su teoría. Luego estas mismas líneas, con instrumentos más precisos, abrirían, con la visión de Sommerfeld, paso a una nueva evidencia de la complejidad en la estructura atómica, presente en las ahora visibles subdivisiones de estas, promoviendo el implemento de nuevos etiquetadores (números cuánticos).

Con Bohr se evidencia por primera vez, la relación entre la radiación y la materia, entre lo ondulatorio y corpuscular, pero como concepciones totalmente separadas e independientes. Además, con la representación de Sommerfeld se logra ampliar las relaciones cuánticas encontradas por Bohr, permitiendo recrear una representación tanto visual como teórica acorde a experimentos cada vez más exigentes.

2.1 Estados estacionarios: una idea revolucionaria en la representación de la estructura de la materia

Pese a que la representación de átomo de Rutherford fue adecuada a la hora de comparar experimento y teoría, se encontraba que era inestable de acuerdo a la electrodinámica clásica (toda carga en movimiento acelerada genera radiación), lo que indica que los electrones al estar girando en órbitas presentarán una aceleración centrípeta generando radiación electromagnética y colapsando al electrón contra el núcleo en un corto intervalo de tiempo al perder su energía mecánica. Además, tal radiación emitida en los instantes de decaimiento hacia el núcleo, produciría un espectro continuo y no discreto como el que se conoce de los átomos, sin embargo los estudios espectroscópicos eran independientes de

las concepciones acerca de la estructura de la materia, hasta que llegó la visión unificadora de Bohr para darle solución a los problemas del modelo planetario. Bohr entendía muy bien el problema del modelo de Rutherford, y ante este **apuesta valientemente a proponer que las leyes clásicas de la física no eran aplicables al átomo**, este fue un gran avance; ya que experimentalmente habían muchos interrogantes que fueron suplidos por su teoría, y que contribuirían a la consolidación de la mecánica cuántica. Niels Bohr, fue quien dio parcialmente una solución a problemas con los modelos atómicos anteriores y su relación con la radiación espectral observada en diferentes elementos químicos. En su representación atómica Bohr introdujo al modelo de Rutherford y a la misma física la idea de cuantización, no sólo la propuesta por Planck, sino también cuantizó otras cantidades como el momentum angular a través de estados estacionarios, logrando establecer vínculos espectroscópicos al encontrar regularidades ligadas a una teoría y no por vía empírica como lo habían hecho ya otros individuos como Paschen y Balmer.

2.1.1 La necesidad de discretizar la energía en la estructuración del modelo atómico de Bohr y las líneas espectrales como su evidencia

Las discrepancias existentes entre el experimento y las predicciones hechas por la teoría, han sido una constante en el desarrollo de la ciencia, y posiblemente ha sido gracias a esta que la humanidad imaginado el mundo de lo pequeño; de no haberse dado tales discrepancias entre el pensamiento clásico y lo que nos muestra el micromundo quizás no nos hubiese llamado tanto la atención hacer un estudio de su comportamiento. Un claro ejemplo de estas discrepancias era el existente *“entre el espectro de la radiación térmica¹ y las predicciones de la teoría*

¹Cualquier cuerpo u objeto que tenga una temperatura mayor al cero absoluto (es decir -

clásica. Planck llegó a la conclusión de que la energía de un sistema que efectúa oscilaciones armónicas simples, sólo puede ser un múltiplo entero de una cierta cantidad finita de energía” [Eisberg, 1988].

Nótese que las abstracciones hechas por Planck en 1900 representan el inicio de una revolución cognitiva en torno al micromundo, ya que tuvo que dejar a un lado uno de los dogmas con mayor peso en la ciencia en el cual la naturaleza y las variables de esta cambian de forma continua (no en saltos), por lo tanto se esperaba que “las leyes generales de la radiación térmica deberían poderse deducir de manera directa [del electromagnetismo clásico]. Sin embargo, y en contra de toda expectativa, ningún cálculo que partiese de los supuestos [clásicos] podría explicar las leyes empíricas” [Lahera, 2004].

Así pues en el supuesto introducido por Planck la energía de radiación electromagnética se encuentra en paquetes a los que denomino cuantos, definidos por el mismo como:

“Cualquier ente físico con un grado de libertad, cuya “coordenada” [o condición instantánea del cuerpo] es una función senoidal del tiempo (es decir realiza oscilaciones armónico-simples) sólo puede poseer energías totales E , que satisfacen la relación

$$E = nh\nu \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots \quad (2.1)$$

Donde ν es la frecuencia de la oscilación [es decir, el número de oscilaciones por segundo de la radiación] y h es una constante universal [de acción]²

Siendo conscientes de la diferencia existente entre la energía asociada a sistemas clásicos (o continuos) y la discretización de la energía en forma de cuantos en los sistemas a escala microscópica, podemos plantear el siguiente ejemplo (que se puede visualizar en la figura 2.1), en el que se tiene un péndulo,

273,15 C), emite una energía térmica, que es evidenciada a través del espectro electromagnético.

²Eisberg, R. Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas. México: Noriega Editores, 1999. pp. 39.

al que se le puede controlar la energía cinética y potencial variándole la altura o la longitud de la cuerda l , la fuerza, la velocidad, u otra variable; lo mismo ocurre en un sistema masa-resorte, también podríamos controlar todas las condiciones iniciales asociadas a este, de modo que, si se varia la posición entonces variará la energía pasando por todo un continuo de energías desde la máxima potencial a la mínima energía cinética y viceversa; mientras que en los sistemas cuánticos como los átomos, esa continuidad energética se ve ahora en pequeños paquetes; en otras palabras la atomicidad no está presente sólo en la materia sino que ahora caracteriza también a la energía, este es un aspecto importante, ya que describe la distribución energética asociada a un sistema micro. Este último aspecto fue claramente identificado por Bohr y se convirtió en uno de los postulados que sustentan su modelo; en el cual las órbitas no sólo representan la trayectoria de los electrones alrededor del núcleo, sino que para cada energía permitida se asocian dichas órbitas, de forma tal que el momento angular L también se encuentra cuantizado y es siempre un múltiplo entero de \hbar .

La idea de cuantización de Planck constituyó un elemento central en la formulación de la representación de la estructura de la materia planteada por Bohr pues *“cualquiera que sea la modificación a las leyes del movimiento de los electrones, parece necesario introducir una cantidad ajena a la electrodinámica clásica; esta cantidad es la constante de Planck”* [Navarro, 2007], De hecho el mismo Planck dio pequeños indicios del comportamiento interno del átomo al afirmar que *“(..) los hechos apuntan a la existencia, dentro de los átomos, de vibraciones independientes de la temperatura y dotadas de energía apreciable, que solamente necesitan de una pequeña excitación adecuada para hacerse evidentes externamente”*³, la explicación de Planck de la radiación puede asociarse con la radiación emitida por los átomos excitados si se concibe al

³ Sanchez, J. Historia de la física cuántica. I. El periodo fundacional (1860- 1926). Barcelona: Critica. 2001. pp. 142.

átomo como un sistema vibrante, nótese lo natural de la propuesta de Planck, puesto que ve que de una entidad “átomo” sale luz, y la luz se concibe como ondas electromagnéticas, entonces la fuente que emana luz debe ser una fuente vibrante, idea que concibe de manera diferente el átomo, de hecho esta concepción fue interpretada también por físicos como Bohr, Sommerfeld y De Broglie al asociarla con una armonía musical atómica que se devela a través del espectro.

Así, pues, la nueva representación atómica estaba alimentada por investigaciones de estudiosos en radioactividad ya que en este campo se había desarrollado la más reciente y aceptada representación de átomo propuesta por Rutherford; además de investigaciones de espectroscopistas como la realizadas Balmer, de quien Bohr había escuchado hablar gracias a Hans M. Hansen, “*un experto en espectroscopia que le sugirió a Bohr intentar explicar en algunos de sus trabajos la fórmula de Balmer. Es posible que Bohr se hubiese encontrado antes con la fórmula de Balmer, pero parece incuestionable que no le había prestado atención (seguramente la había olvidado), más una vez que Hansen le llamó la atención sobre ella, todo cambio: < En cuanto vi la fórmula de Balmer, todo se me hizo <claro>> (...) manifestaría [Bohr] años después.*” [Sánchez, 2001] De esta manera cuando Bohr vio la fórmula de Balmer, casi logró teorizarlas de inmediato de tal representación, lo que daría paso a su tercer postulado al cual nos referiremos más adelante.

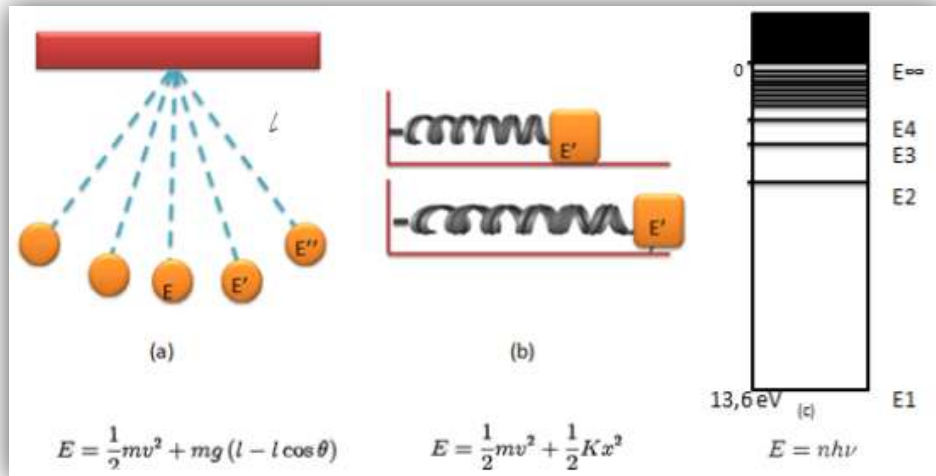


Figura 2.1: (a) Péndulo y (b) sistema masa -resorte, mostrando un continuo de energías asociado. (c) Niveles discretos de energía en un espectro.

El estudio de los espectros se da gracias a dos técnicas que involucran la radiación de los gases, una de ellas se presenta al registrar la radiación emitida por un gas, dicha radiación se evidencia en un espectro de luz, en el que observaremos un conjunto de rayas luminosas de diversas tonalidades, que se encuentran separadas y se establecen sobre un fondo oscuro, y la otra se obtiene al pasar una luz a través del gas, el cual absorbe determinadas longitudes de onda de dicha luz, y plasmando así un conjunto de líneas oscuras discretas, sobre un fondo de colores brillantes; pese a que las dos han contribuido al estudio de los elementos químicos y su estructura. "Se observa que a cada línea del espectro de absorción le corresponde una en el espectro de emisión del mismo elemento. La inversa no es correcta: solo ciertas líneas de emisión se manifiestan en el espectro de absorción." [Eisberg, 1988, vol. 1]

Espectro de emisión del hidrógeno

Espectro de absorción del hidrógeno

Los primeros intentos de Bohr por relacionar los estudios espectroscópicos y el estudio de la estructura de la materia fueron a partir del modelo de Rutherford, lo que le dio una nueva visualización. Esta nueva visualización de átomo recoge ideas fundamentales en el estudio espectroscópico. El modelo atómico de Rutherford, permitía pensar que el espectro emitido por un átomo era continuo, y


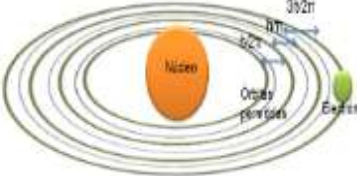
su observación se prolongaba hasta que el electrón llegase al núcleo, mientras que Bohr ve en el espectro el carácter de discreto (discontinuo), que lo lleva a adoptar esta idea para fusionarla con lo que constituiría su representación de átomo, así pues, la discretización que se evidencia en el espectro está presente en la idea de estados estacionarios, ya que al controlar un potencial de excitación sólo hay unas energías permitidas en las que se puede radiar o absorber, cuantos; tales energías de emisión o absorción se dan en pequeños paquetes o cuantos de energía que evidencian cambios energéticos asociados a saltos electrónicos y que son observados en el átomo como cambios de niveles de energía; estos cuantos de energía radiante son tan pequeños que la luz que parece continua ante los sentidos es discreta al igual que ocurría con la materia. Nótese, que ahora la idea de materia no sólo se convertía en discontinua, sino que también la idea de onda adquiriría esta característica.

2.1.2 Órbitas estables como estados estacionarios de energía: las primeras rupturas de las concepciones clásicas.

Con los cuatro postulados de Bohr (resumidos en la tabla que se encuentra en la parte inferior), se da una nueva y mejorada representación de átomo, en la que se soluciona el problema de la inestabilidad del modelo antecesor, al introducir una forma diferente de ver, analizar y comprender la naturaleza y sus fenómenos; fortaleciendo el vínculo inherente entre espectro y átomo en donde, *“la teoría muestra la existencia en el átomo de hidrógeno de niveles de energía discretos; mientras que la espectroscopia – ya desde Balmer- indica que el espectro hidrógeno es discontinuo. Hay por tanto una evidente relación formal”* [Lahera, 2004].

Lo que se debe ver tras cada uno de los postulados no es más que el inicio de *“las más interesantes (..) de las transformaciones [que] ha sufrido el concepto de las leyes naturales o de la regularidad de la naturaleza”* [Heisenberg, 1985]. La

teoría de Bohr tiene la ventaja de ser matemáticamente sencilla y concordar cuantitativamente con los datos espectroscópicos del hidrógeno. Pese a esto, los postulados sobre los cuales se basa parecen un tanto misteriosos, como se describirá en la tabla presentada a continuación:

Postulado	Descripción	Comentario
Primer	<p>En el átomo un electrón se mueve con una órbita circular alrededor del núcleo bajo la influencia de la atracción de Coulomb entre el electrón y el núcleo, y obedece las leyes de la mecánica clásica.[Eisberg, 1988]</p> 	<p>En este postulado se mantiene la idea de Rutherford, basándose en la existencia del núcleo y continuando con el tamaño propuesto por él a partir de la experiencia. Se ratifica la Fuerza de Coulomb, como la que mantiene al electrón ligado al núcleo.</p> $\frac{eE}{r^2} = m \frac{v^2}{r}.$
Segundo	<p>Pero, de la infinidad de órbitas que permite la mecánica clásica, el electrón puede moverse sólo en las que el momento angular orbital L es un múltiplo entero de la constante de Planck, \hbar, dividida entre 2π. [Eisberg, 1988]</p> 	<p>En este postulado Bohr introduce la idea de cuantización ya utilizada por Planck en 1900, pero difiere de este al hacer referencia a la idea de cuantización del momento angular orbital de un electrón que se mueve como ya se ha mencionado bajo la acción de una fuerza coulumbiana.</p> $L = mvr = n\hbar = \frac{n\hbar}{2\pi}.$

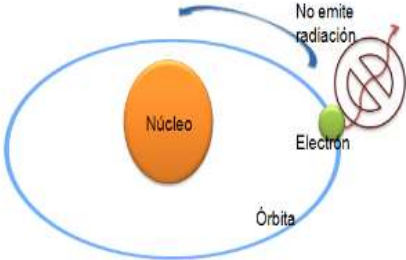
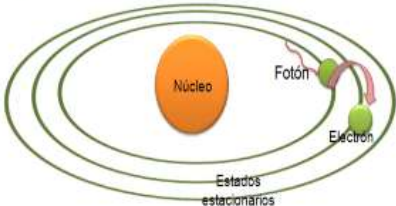
Tercer	<p>A pesar de que el electrón se encuentra constantemente sujeto a una aceleración, se mueve en una órbita permitida sin radiar energía electromagnética. Así, su energía total E permanece constante. [Eisberg,1988]</p> 	<p>Recordemos uno de los problemas del modelo de Rutherford, en su modelo el electrón gira en órbitas circulares alrededor del núcleo, por tal motivo, esta acelerado continuamente, y según la electrodinámica clásica, todo cuerpo cargado emite radiación cuando esta acelerado, ahora bien, el modelo de Bohr apuesta valientemente a una de sus ideas, en las órbitas permitidas del postulado anterior, el electrón mantiene su energía constante, así pues hay unos estados de movimiento en el que no se emite ni se absorbe energía, y son los llamados niveles de energía o estados estacionarios, eliminando así el problema de la estabilidad del átomo.</p>
Cuarto	<p>Un electrón emite radiación electromagnética cuando al moverse inicialmente en una órbita con energía total E_i, cambia discontinuamente su movimiento, y se mueve en una órbita de energía total E_f (en la Figura se encuentra un ejemplo de transiciones entre estados estacionarios). La frecuencia de la radiación emitida es igual a la diferencia de energía $(E_i - E_f)$ dividida entre la constante de Planck h. [Eisberg,1988]</p> 	<p>Con la anterior condición cuántica se pudo por fin encontrar una relación entre las emisiones de energía y el espectro, además, de mostrar una razón física y teórica a las series espectrales encontradas hasta la época.</p> $\nu = \frac{E_f - E_i}{h}$ $\nu = \frac{me^2 E^2}{4\pi h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

Tabla 1: Las representaciones dadas sirven para hacerse una idea gráfica del referente de cada postulado, sin embargo, si quisiésemos ser un poco más rigurosos en cuanto a las dimensiones de átomo que ya desde entonces se manejaban, podríamos imaginarnos a este como un estadio; el núcleo podría ser una caneca de basura ubicada en el centro y los electrones serían pequeñas partículas de polvo que giran por la tribuna.

Así, con el modelo de Bohr se encuentra la fórmula de Rydberg

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

que se puede particularizar a la fórmula para el caso de Balmer, Lyman, Brackett y Pfund. Esto se logra reemplazando el nivel de energía final por el valor de n deseado y así hallar otras fórmulas espectrales. En la figura 2.2 se expone un esquema grafico de las líneas del espectro encontradas por Balmer, Lyman, Brackett y Pfund .

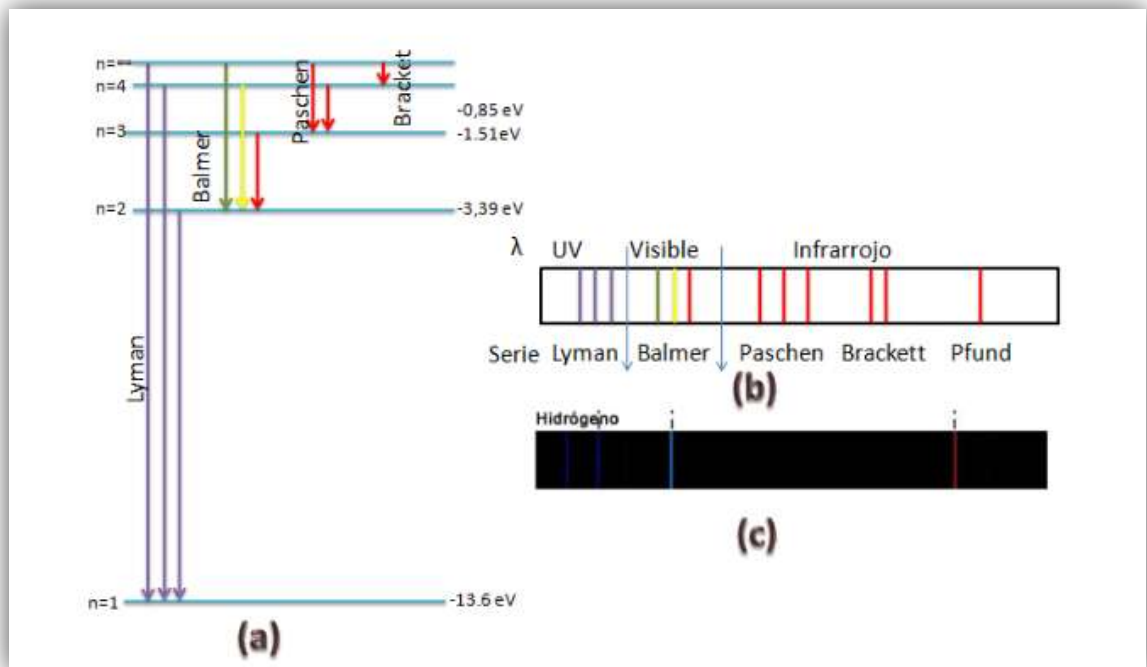


Figura 2.2: (a) esquema ampliado de transiciones energéticas en el que se muestran algunas de la series espectrales que este modelo consiguió predecir y contrastar experimentalmente; (b) y (c), representan el Espectro y la evidencia de tales transiciones, en estos dos diagramas se muestra un esquema comparativo entre lo predicho y el hecho experimental (el espectro de hidrogeno).

Serie	n_i	$\lambda (m)$	Espectro
Lyman $n_f = 1$	4	9.721×10^{-8}	UV
	3	1.0252×10^{-7}	
	2	1.2151×10^{-7}	
Balmer $n_f = 2$	4	4.8605×10^{-7}	Visible
	3	6.5617×10^{-7}	
Paschen $n_f = 3$	4	1.8747×10^{-6}	Infrarojo

En conclusión, la idea de cuantizar cantidades físicas de la naturaleza como la energía y el momentum definitivamente se convierten en un elemento crucial; ya no sólo la materia es discontinua sino que también las principales descripciones conocidas (como la energía, el momentum) y por lo tanto la trayectoria descrita por los electrones. Notamos en esta interpretación una marcada ruptura de la forma de pensarse a la naturaleza.

Estas ideas se ven condensadas en la representación atómica propuesta por Bohr, en la que además se evidencia por primera vez la relación directa entre la radiación y la materia, entre lo ondulatorio y corpuscular, pero como argumentos totalmente separados.

2.2 Subdivisión de líneas espectrales: una nueva evidencia de la complejidad en la estructura atómica.

A pesar de que la idea propuesta por Bohr para dar explicación acerca del átomo de hidrógeno pareció ser eficiente y además mostró una relación directa entre el

modelo atómico y la fenomenología observada (líneas espectrales) se llegó a un punto en el que no era suficiente, ya que no podía explicar el espectro del helio ionizado (a pesar de tener un sólo electrón y pertenecer al grupo de los átomos hidrogenoides), ni tampoco el de otros átomos con más de un electrón, puesto que no concordaban las predicciones numéricas con las halladas experimentalmente; a esto se suma que el modelo no daba cuenta de unos desdoblamientos que fueron evidentes, tan sólo, al aparecer nuevos instrumentos con mayor resolución y técnicas mucho más refinadas.

Éstos desdoblamientos se hacían más evidentes al someter al gas a interacciones con campos magnético, dando paso al fenómeno denominado efecto Zeeman; así se consiguió ver no sólo los términos *singletes* sino los desdoblamientos que se ven en un recuadro rojo de la Figura 2.3, así que estos términos espectrales múltiples hacen referencia a que dentro de los niveles de energía debe existir una especie de subniveles energéticos muy próximos entre sí.

Es impórtate reconocer que debido a las mejoras en los instrumentos fue posible conocer a mayor profundidad el espectro y en consecuencia el comportamiento atómico. Para ilustrar la importancia de la resolución en la representación y posterior comprensión de un ente, mostramos los códigos de barras como análogos a los espectros de líneas, de forma tal que si se hace un acercamiento se puede ver que no es sólo una línea gruesa sino es la composición de otras líneas, pudiéndose diferenciar un producto del mercado de otro, o lo que en el caso de la física atómica sería el poder establecer diferencias entre las propiedades físicas que caracterizan un elemento químico y otro.

En el periodo de 1915 -1916 el físico alemán Arnold Sommerfeld hizo varias correcciones al modelo de Bohr, por lo cual se le otorga a esta representación el nombre de modelo de Bohr – Sommerfeld, pero particularmente en este trabajo se hará referencia a este como la representación o modelo de Sommerfeld, ya

que el hecho de organizar y proponer con argumentos modificaciones a un modelo requiere de grandes idealizaciones al respecto, y dichas modificaciones representan una nueva concepción o visión del mundo.

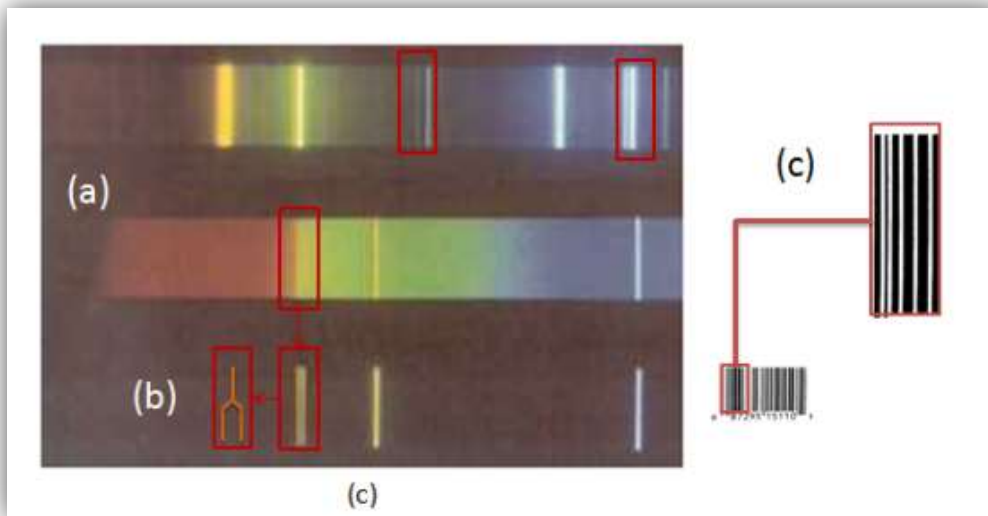


Figura 2.3: (a) Se muestra el espectro de un elemento químico, con recuadros rojos se encuentran resaltados los términos multipletes (b) es un esquema que muestra el desdoblamiento de un término espectral causados por un tipo de efecto Zeeman y (c) es una analogía entre los códigos de barras y el desdoblamiento.

2.2.1 La velocidad del electrón: un generador de mayor estructura en la representación atómica.

La representación atómica de Sommerfeld, considera que las órbitas del electrón no serían necesariamente circulares, sino que también serían posibles órbitas elípticas; este razonamiento modifica la trayectoria trazada por el electrón al moverse, exigiendo cambiar a dos grados de libertad el sistema atómico, asemejándose más al modelo planetario planteado por Kepler caracterizado por tener un potencial de ligadura tipo Coulomb al igual que en el átomo.

Estos dos grados de libertad asociados a la trayectoria ahora elíptica hacen referencia a los semiejes mayores y menor, de forma tal, que si ambos semiejes

son iguales, se llegara al modelo de órbita circular de Bohr, desde una perspectiva puramente geométrica. Por otro lado si el análisis se encamina hacia la parte mecánica la idea de que los dos grados de libertad sean iguales tendrá que ser reevaluada, puesto que se adopta la idea de integral acción⁴

$$S = \int p_i dq_i = n_i h$$

ya que esta es aplicable a sistemas periódicos como en el caso atómico en donde se ve tal periodicidad asociada al movimiento del electrón en torno al núcleo. Esta integral es peculiar, porque el espacio sobre el que se integra no es el espacio Euclideo sino corresponde al espacio de fase, en donde se consideran como variables a las coordenadas generalizadas ($q = \phi, r$) y sus momentos asociados ($\mathbf{p} = (\mathbf{p}\phi; \mathbf{p}r)$); por este camino se halla con mayor formalidad teórica las condiciones cuánticas⁵, es decir, los números cuánticos que definen la nueva estructura atómica caracterizada por desdoblamientos o subdivisiones, en términos de la constante universal de micromundo es decir h .

Y particularizando la idea de dos grados de libertad, se sustituye i por azimutal ϕ y radial r , respectivamente, en la integral de acción, como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} s &= \int p_\phi d\phi = \int L d\phi = n_\phi h \\ &= 2\pi L = n_\phi h \end{aligned}$$

⁴Cabe resaltar que esta integral debe cumplir la condición de ser cuantizada, recordemos que tiene unidades de acción, y en el congreso de Solevay, se concluyó que de acuerdo a la cuantización hecha por Planck las cantidades elementales de acción debían poderse descomponerse en términos del cuanto de acción. $n_i h$

⁵ Esta constituye una de las ideas más importantes de la representación de Sommerfeld, pues a partir de la idea de condiciones cuánticas se encuentran teóricamente los desdoblamientos presentes en los espectros.

$$L = n_{\phi} \hbar$$

$$s = \int p_r dr = \int p dr = n_r h$$

$$n_{\phi} = 1, 2, \dots, n,$$

$$n = 1, 2, \dots, n,$$

$$n_r = n - n_{\phi}$$

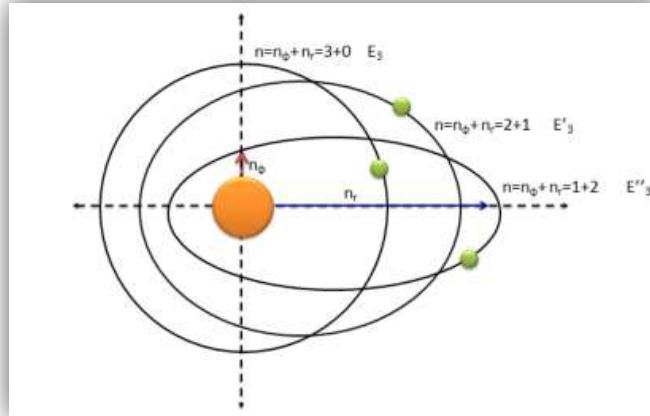


Figura 2.4: Representación gráfica de para $n = 3$: Cabe hacer la siguiente aclaración, a pesar que en este esquema dibujamos al electrón como una «pepa» verde se debe recordar que este viaja a velocidades cercanas a la luz por lo cual su masa varía y la visión de pepa debe cambiar, siendo estos los primeros pasos hacia la idea de dualidad.

Nótese que por esta metodología se obtiene la cuantización del momentum angular, si se considera a ϕ como 2π , postulada por Bohr. Recordemos que n (el número cuántico principal) define el tamaño de la órbita (se halló en Bohr a través del momento angular) y asigna una cantidad de energía al estado estacionario; análogamente se halló un número cuántico asociado al momento angular orbital n_{ϕ} y otro al momento lineal n_r , cabe resaltar que éstos números cuánticos subordinados no tienen un significado profundo individualmente, su suma es el aspecto al que se le atribuye sentido físico de modo que:

$$n = n_{\phi} + n_r$$

Desde esta perspectiva, por ejemplo, tiene sentido que, para $n = 3$, las posibilidades de órbitas que sean las que se ven en la Figura 2.5) y en la tabla:

n	n_{ϕ}	n_r	Trayectoria	Energía
3	3	0	Círculo	$E = (n_{\phi} + n_r) \nu = (3 + 0) = 3\nu$
3	2	1	Elipse	$E = (2 + 1) \nu = 3\nu$
3	1	2	Elipse	$E = (1 + 2) \nu = 3\nu$

En el ejemplo dado, geoméricamente se esperaría que para obtener un círculo n_{ϕ} y n_r deberían ser iguales; en el ejemplo que se expuso $n_{\phi} = 1,5$ y $n_r = 1,5$; esto no sería posible ya que se ha dicho que éstos números deben ser enteros, por lo que la explicación que sea $n_{\phi} = 3$ y $n_r = 0$; es que si se adopta la misma metodología de utilizar la integral en el caso de órbitas circulares, en donde hay un sólo grado de libertad se cuantizaría el momento angular (en términos de ϕ) y la coordenada radial al ser constante generará un momentum $pr = 0$ tal como se ve en la representación atómica propuesta por Bohr. El ejemplo dado anteriormente, sirve para ilustrar la idea de grados de libertad y como éstos definen nuevas condiciones cuánticas.

Retomando la idea de los números cuánticos subordinados como un conjunto que sólo tiene sentido físico al ser sumados entre sí, cabe resaltar que esta subdivisión en el número cuántico principal, origina a su vez una subdivisión en los niveles de energía por así llamarlo, por lo que las órbitas tendrán una energía equivalente, a este hecho de que varias combinaciones de números cuánticos subordinados (que varias órbitas) tengan asociada una misma energía se le

denomina estado degenerado (ver Figura 2.4 y tabla).

Para evitar éstos estados degenerados que no eran reales (ya que no se evidenciaban experimentalmente) y simplemente eran el producto de los números cuánticos subordinados, (todas esas órbitas tienen el mismo valor de la energía, pues E depende sólo del número cuántico principal n), entonces se planteó que la degeneración de los niveles de energía correspondientes a las órbitas con el mismo n y diferente n_ϕ es consecuencia de que la fuerza de Coulomb, ya que, esta depende de la inversa del cuadrado de la distancia, esto no se debe confundirse con la idea de que la energía se fraccione, pues esto no ocurre; lo que hizo Sommerfeld para solucionar tales estados degenerados, fue continuar con la analogía con el sistema planetario (no relativista) y las leyes asociadas a este de acuerdo con Kepler, en particular si se recuerda la segunda ley de Kepler, se encuentra que en ella se establece que el planeta tendrá una velocidad diferente de acuerdo a la posición en la que se encuentre a lo largo de la trayectoria elíptica, asimismo, el electrón también tendrá una velocidad pero en este caso cercana a la de la luz, dependiente de su posición, por lo cual su masa variará

$$m_e = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Con este argumento introduce concepciones relativistas, además de introducir la idea de reglas de selección, a su representación atómica, eliminándose el problema de los estados degenerados y los niveles de energía del mismo n pero diferentes n_ϕ se separan, dando lugar a lo que se llama la estructura fina del espectro del hidrógeno (como se ve en la Figura 2.5), que no es más que desdoblamientos espectrales o subdivisiones de las líneas que se hacen más evidentes al tener una mejor resolución.

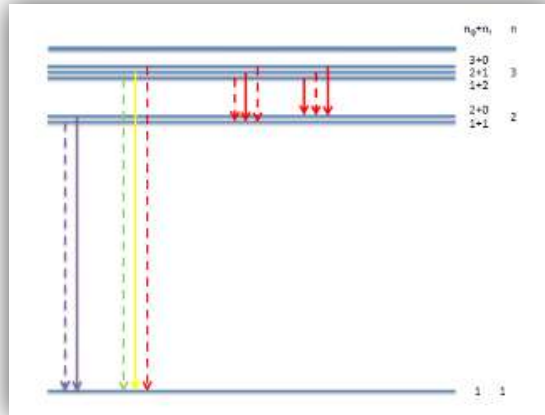


Figura 2.5: Indican transiciones que no se observan. De forma análoga como se mostró en Bohr, los colores indican la longitud de onda en que se emitiría si ocurriera la transición.

Como se ve en la figura anterior las líneas punteadas indican transiciones que no se observan es decir transiciones no permitidas, para ello se introdujo por primera vez en el ámbito atómico una regla de selección, esto revela regularidades en las subdivisiones de las líneas espectrales causadas al considerar la velocidad del electrón cercana a la de la luz, esta regla es [Sánchez, 2001].

$$\Delta n_{\phi} = n_{\phi f} - n_{\phi i} = \pm 1$$

Cuando $n = 1$, entonces se emite radiación, mientras que si $n = -1$; absorbe, esta regla de selección se vuelve adecuada ya que concuerda muy bien con los observados.

2.2.2 Etiquetadores en la estructura atómica

Hasta ahora se ha mostrado que con las nuevas consideraciones hechas por Sommerfeld se introducen dos números cuánticos subordinados adicionalmente al número cuántico principal y que éstos a su vez sirven como etiquetadores de las líneas que se develan en el espectro electromagnético de cada elemento

químico.

El tamaño de las órbitas: el número cuántico principal n .

Este número cuántico no sólo define el tamaño de la órbita o estado estacionario sino también la energía asociada a este, y relaciona la frecuencia y/o la longitud de onda emitida o absorbida en los espectros; n fue introducido por Bohr 1913.

La forma del átomo: el número cuántico subordinado n_ϕ y n_r .

Como ya se ha mencionado, estos números cuánticos tienen un significado físico a través de su suma, caracterizando así la excentricidad de la elipse y en general su forma, pero fue muchos años después que uno de éstos números cuánticos independientemente adquirió significado físico, este es el número cuántico azimutal o n_ϕ ; que en la actualidad es conocido con la letra l y que como se mostrará más adelante es llamado número cuántico magnético orbital.

Cabe resaltar que este proceso de etiquetar es propio de la misma actividad humana; en el etiquetamiento se recogen las características más generales de un fenómeno, se clasifican y adquieren un rol esencial en la comprensión, teorización y divulgación de dicha fenomenología; así pues, evidentemente en el átomo el etiquetar es una herramienta de conocimiento que conforme avancemos mostrará las nuevas nociones que se tienen de la estructura atómica, apareciendo más números cuánticos que caracterizan las nuevas evidencias comportamentales de los átomos.

2.2.3 El número cuántico principal versus sus subdivisiones.

En la tabla presentada a continuación se muestra una comparación entre los modelos atómicos de Bohr y Sommerfeld; en la que se exponen las correcciones

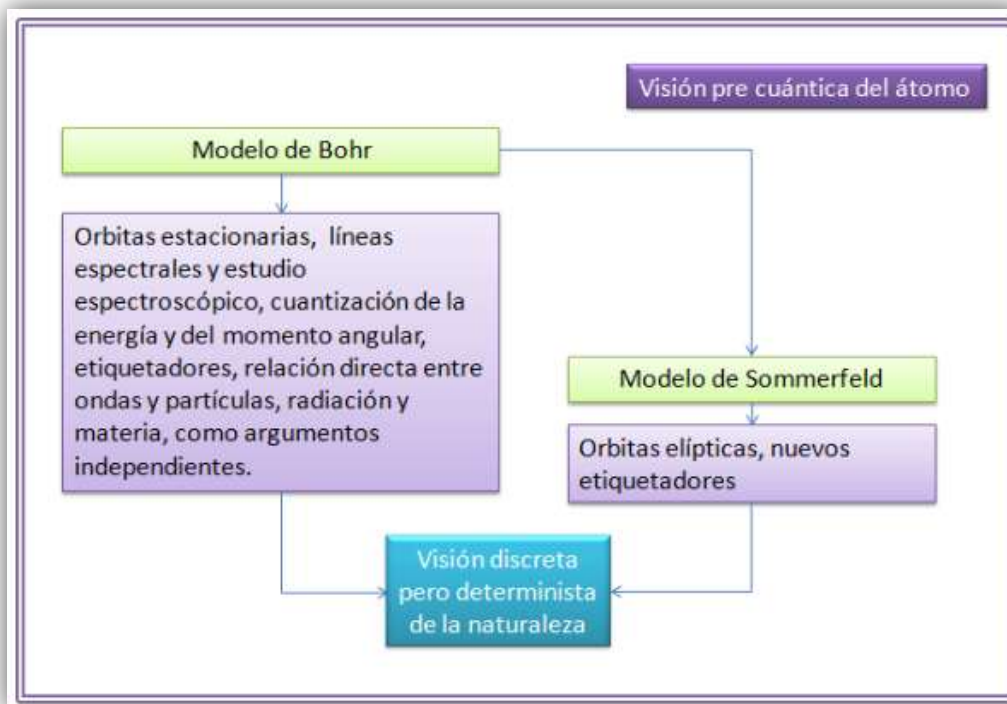
hechas por Sommerfeld.

Debemos señalar las siguientes limitaciones: por un lado la teoría es sólo aplicable a sistemas periódicos en el tiempo, lo que excluye muchos sistemas físicos; por otro lado, sólo permite calcular las energías de los estados estacionarios y las frecuencias de la radiación emitida o absorbida en tales transiciones entre estados, pero no predice el tiempo involucrado en una transición; por último y más conocido, sólo se aplica a los átomos con un electrón, y a aquellos que tienen aspectos en común con los átomos de un electrón (como los metales alcalinos o hidrogenoides), pero falla si se la intenta aplicar a átomos con muchos electrones.

Cantidad	Bohr	Sommerfeld
Órbita	Circular	Elíptica
Grados de libertad	$L = n\hbar$	$L = n_\phi \hbar$ $\int p dr = n_r h$
Número cuántico principal	n	$n = n_\phi + n_r$ $n_\phi = 1, 2, \dots, n$ $n_r = 1, 3, \dots$ $\implies n_r = n - n_\phi$
Masa electrón	m	$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ m_0 : masa en reposo c : velocidad de la luz v : velocidad del electrón
Velocidad del electrón	$v = \frac{e^2}{nh}$	$v = \frac{e^2}{(n_\phi + n_r)h}$
Radio asociado al estado estacionario	$r = \frac{n^2 h^2}{eEm}$	$r = \frac{(n_\phi + n_r)^2 h^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{m_0 e^2}$
Energía permitida	$E = -\frac{me^4}{2n^2 \hbar^2}$	$E = -\frac{e^4}{2(n_\phi + n_r)^2 \hbar^2} \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
Frecuencia de emisión u absorción	$\nu = \frac{me^4}{4\pi h^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	$\nu = \frac{e^4}{4\pi h^3} \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(\frac{1}{(n_\phi + n_r)_f^2} - \frac{1}{(n_\phi + n_r)_i^2} \right)$
Número de onda	$\frac{1}{\lambda} = \frac{me^4}{4\pi ch^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$	$\frac{1}{\lambda} = \frac{me^4}{4\pi ch^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$
Reglas de selección ante transiciones	Ninguna, todas las transiciones son posibles	$\Delta n_\phi = n_{\phi_f} - n_{\phi_i} = \pm 1$

En síntesis, esta representación atómica de órbitas elípticas permite evidenciar con mayor precisión teórica la idea de cuantización y discretización al describir un sistema periódico con varios grados de libertad, por lo que se hace plausible establecer relaciones entre grados de libertad, forma de las órbitas, etiquetadores, líneas espectrales, en pro de recrear una representación tanto visual como teórica acorde a experimentos cada vez más exigentes.

Este mapa conceptual contiene las ideas principales, caracterizadas por ser radicales dentro del ámbito de la física atómica.



Apartado 3

3. Surgimiento del Comportamiento cuántico, en el modelo atómico: de una concepción mecanicista a una probabilística.

Introducción

El surgimiento y establecimiento de las ideas cuánticas del átomo y del comportamiento cuántico en sí mismo, es un proceso caracterizado por grandes revoluciones conceptuales demarcadas por rupturas en la forma como se concibe al mundo microfísico y en general como se concibe la realidad y sus descripciones.

Demócrito traspasó las barreras de la continuidad hasta llegar a la formulación discontinua de la materia, esto permitió establecer una marcada diferencia entre la continuidad de las ondas y la discretización de la materia, encasillada en el paradigma clásico; allí Thomson y Rutherford harían contribuciones en la caracterización del atomismo de la materia; demarcándose cada vez más dos aspectos de la naturaleza (la materia y los campos). Posteriormente, Planck logró cuantizar no a la naturaleza sino a la descripción de la misma, al hallar los cuantos de energía, una magnitud hasta entonces caracterizada como continua, la misma que utilizaría Bohr y Sommerfeld en la estructuración de sus formulaciones, apoyando las descripciones atomistas en las evidencias

espectrales. No obstante aunque dichas concepciones se encontraban presentes en la descripción de la materia, se veían como entes separados, sin aparente vínculo; idea que debió ser modificada, pues ahora no sería posible hablar de ondas o de partículas sin hablar de su contraparte; esto se daría gracias a Heisenberg y Schrödinger, quienes emprenderían el camino hacia comprensiones más profundas de tal fenómeno, desde perspectivas totalmente disímiles, pero equivalentes, que no sólo introducían revoluciones conceptuales en torno a la idea de átomo sino que provocarían un cambio en la forma de representar, visualizar e interpretar los hechos macroscópicos como una realidad complementaria, a través de la observación como generador de incertidumbre y de la función de onda como la mejor descripción del mundo atómico.

3.1 La observación como generador de incertidumbre en la naturaleza

La ciencia del átomo exige transformaciones profundas y controvertidas en nuestra comprensión de la naturaleza; un fiel ejemplo está en desligarnos de la noción de trayectoria como la conocemos. Heisenberg creyó en 1927 haber llegado a esta conclusión gracias al principio de incertidumbre, el cual obtuvo a través de experimentos mentales y artificios matemáticos; este a grandes rasgos establece una correspondencia entre una incertidumbre producto de medir, determinar u observar al sistema y dos cantidades complementarias observables (A y B) de una partícula cuántica,

$$\Delta A \Delta B \geq \frac{\hbar}{2}$$

Algunas de las cantidades físicas de acción que cumplen este principio de incertidumbre son el momentum y la posición; la energía y el tiempo. Así por ejemplo, el valor exacto de la energía no podrá medirse, ya que siempre existirá

un delta de incertidumbre asociado al tiempo, o a una de las cantidades físicas de las cuales se desea tener información. En contraste, debe aclararse que a escala macroscópica este principio no es evidente, ya que la observación no interfiere “al menos considerablemente” con la medición; por lo que estas variables no muestran el carácter probabilístico sino que sus principios se rigen por el determinismo; esto se debe a que por ser los cuantos de Planck, tan pequeños (del orden de 10^{-34} Js), en nuestra escala sus efectos son despreciables.

Volviendo al mundo atómico, los principios que los rigen son muy diferentes; ya hemos mencionados uno de ellos, el principio de incertidumbre propuesto por Heisenberg, el cual cambia drásticamente la visión de trayectoria de los modelos antecesores (Rutherford, Bohr y Sommerfeld) según los cuales, si quedan determinadas las condiciones de un sistema a partir de la medición, el futuro de dicho sistema estará también determinado; el principio de incertidumbre de Heisenberg no niega esta posición determinista, sino que se opone a que se pueda determinar el presente de dicho sistema, por tal razón, obviamente tampoco se podrá llegar a conocer las condiciones posteriores del mismo. Por tanto la noción de trayectoria manejada en las órbitas, concebidas por los modelos anteriores, deben ser modificadas; recordemos, pues, que los electrones tiene asociadas unas trayectorias y transiciones bien defiendas por órbitas estacionarias en torno al núcleo, lo cual permite conocer simultáneamente la posición y el momentum. Ello implica que los modelos de Bohr y Sommerfeld, a pesar de considerar algunas condiciones cuánticas en sus modelos, no pueden ser incluidos dentro de lo que hoy se denomina mecánica cuántica.

Como ya se ha mencionado, Heisenberg no fue el único en llegar a esta conclusión no determinista; él y Schrödinger formularon por diferentes caminos la teoría, en la que se modifica la noción de órbita por la idea de orbital atómico; este es en principio un artificio matemático que no hace parte de la realidad observable, pero es a su vez un instrumento que obedece a las exigencias experimentales y ayuda a interpretar teóricamente el fenómeno (como por

ejemplo los espectros); sin duda esta nueva abstracción del mundo complejiza el entendimiento de la naturaleza, no en el sentido de dificultad, sino en el hecho de que incorpora nuevas ideas que dan cuenta de manera más precisa de la hipótesis atómica, generando nuevas relaciones interconceptuales; esto se ve claramente reflejado en el incremento de etiquetadores n, l, m_l que serán descritos más adelante. Cabe resaltar que el principio de incertidumbre no sólo modificó la visión de trayectoria, sino que caracterizó también el comportamiento interno del átomo.

“En esta teoría las partículas ya no poseen posiciones y velocidades definidas por separado, pues estas no podrían ser observadas. En vez de ello, las partículas tienen un estado cuántico, que es una combinación de posición y velocidad. Igualmente, el principio de incertidumbre de Heisenberg implica que las partículas se comportan en algunos aspectos como ondas: no tienen una posición bien definida, sino que están «esparcidas» con una cierta distribución de probabilidad. La teoría de la mecánica cuántica está basada en una descripción matemática completamente nueva, que ya no describe al mundo real en términos de partículas y ondas; sólo las observaciones del mundo pueden ser descritas en esos términos.”[Hawking, 1988].

De esta forma las dos interpretaciones del mundo expuestas de forma separadas como ondas y partículas se encuentran fusionadas en la explicación de la realidad atómica, constituyéndose como complementos necesarios para dar cuenta de las observaciones y las evidencias que nos devela tan pequeño mundo. No fue precisamente Heisenberg el primero que llegó a esta conclusión; su principio es tan sólo un caso particular de un principio mucho más general formulado por Bohr y conocido como el principio de Complementariedad. Tal

principio fue descrito por este al escribir:

"La evidencia obtenida bajo diferentes condiciones experimentales no puede ser abarcada por un sólo esquema, sino que debe considerarse complementaria en el sentido de que sólo la totalidad de los fenómenos agota la información posible sobre el otro objeto."[Strathern, 2006]

Esto indica que la idea de utilizar dos esquemas conceptuales diferentes para la descripción del mundo microfísico no genera contradicciones dentro de la nueva lógica, ya que sus ámbitos de validez no se superponen, como se mostrará; por el contrario con esta metodología lo que se consigue es tener una imagen o representación más completa que se ve mejor argumentada por dichos esquemas de análisis.

Tal es la importancia de este principio, que Pauli propuso que la teoría cuántica debería llamarse teoría de la complementariedad en correspondencia a la existente teoría de la relatividad.

En conclusión, se rescatan tres aspectos fundamentales que salen de este principio: el primero revela la naturaleza probabilística del microcosmos adoptando la idea de incertidumbre no como algo inherente al Universo sino que se convierte en un agente presente y necesario en la representación y descripción de las diversas fenomenologías que el universo nos pone a la mano para indagar y pensar sobre sus escalas más pequeñas. Por otro lado, está la caracterización del comportamiento dual interno del átomo, en el que muestra sus dos caras: la ondulatoria y la corpuscular, que aunque opuestas resultan ser el complemento la una de la otra, y el último y no menos importante, hace nuevamente evidente la importancia de la constante introducida por Planck en torno a la idea atómica, ratificándola como una constante universal del microcosmos.

3.2 La función de onda como la mejor descripción del mundo atómico.

Así como la naturaleza atómica muestra dos caras, el desarrollo de la teoría cuántica puede decirse que tuvo también dos caras, caracterizada cada una por autores que se disputaban cual sería la mejor descripción del fenómeno cuántico. Schrödinger, por un lado, defendía su postura que aunque poco aferrada a la experiencia (en cuanto a su desarrollo) gozaba de una matemática un tanto más sencilla, y más pura conceptualmente hablando, que la propuesta por Heisenberg, quien se apoyaba en una base experimental, y cuya matemática (matricial) era un poco más engorrosa de abordar, carecía también según el propio Schrödinger de herramientas visuales. Su rivalidad era bien conocida, sobre todo porque incluso en sus publicaciones atacaban bilateralmente sus propuestas. En la “famosa nota al pie [que hizo Schrödinger en una de sus publicaciones] llegó a escribir:

“No veo ninguna conexión genética de ningún tipo [entre el trabajo de Heisenberg y el mío propio]. Por supuesto que conocía su teoría, pero me sentía desanimado, por no decir repelido, por los métodos de álgebra trascendental, que a mí me parecieron difíciles, y por la falta de visualizabilidad [Anschaulichkeit].”[Cassidy, 1992]

A lo que Heisenberg respondió en “el mismo tono:

“cuánto más pienso en el aspecto físico de la teoría de Schrödinger, más repulsiva la encuentro... lo que escribe Schrödinger sobre la visualizabilidad de su teoría probablemente no es del todo correcto [eco de una expresión

típica de Bohr], en otras palabras, es basura” [Mist]” [Cassidy, 1992].

Cada una de estas formulaciones tuvo físicos de alta trascendencia apoyándolas, pero la más aceptada término siendo la formulada por Schrödinger [Cassidy, 1992], quizás por su sencillez matemática, y su riqueza conceptual, no se fundamentó en bases empíricas, sino que su trabajo se basó en los desarrollos teóricos de Planck, Einstein y De Broglie. Desde esta perspectiva la idea de cuantización de Planck, la concepción de fotón (de Einstein)⁶ [De La Peña, 1998; Jiménez, 2005], y la dualidad onda-partícula (De Broglie), encaminaron a Schrödinger hacia la búsqueda de una función de onda que condujera al igual que las demás funciones de onda conocidas a mostrar o describir su evolución temporal y espacial, pero esta vez con el fin de describir el comportamiento de los electrones en el átomo.

3.2.1 Los paquetes de onda: una nueva interpretación del comportamiento atómico

Dentro de las nuevas ideas introducidas por la mecánica cuántica y que fueron parte esencial de la misma, la idea de dualidad onda-partícula dada por De Broglie, no sólo en sí misma es toda una revolución conceptual, sino que alberga en sus entrañas una segunda revolución dada por el cambio de la noción de onda, pues esta no hace referencia a las ondas electromagnéticas que comúnmente conocemos, dicha nueva noción se conoce como ondas de fase, ondas piloto o paquetes de onda, [De La Peña, 1998 y 1999; Jiménez,1995], estas dependen de la masa, (características de los corpúsculo) y de la frecuencia

⁶ La cual permitió darle sentido físico a los cuantos de Planck y además se convirtió en el primerejemplo de la dualidad

(peculiaridad de las ondas electromagnéticas),

$$\nu_0 = \frac{mc^2}{h^2}$$

las cuales podrían también ser interpretadas como ondas de materia, demarcándose la gran ruptura conceptual originada por la fusión entre dos ideas tan disimiles como lo ondulatorio y lo corpuscular; en todo ésto se evidencia que *“la esencia de la teoría cuántica consiste en asociar cierto movimiento periódico interno de frecuencia ν_0 a todo tipo de energía de una partícula”* [De La Peña, 1999], allí se reconocen las propiedades ondulatorias de las partículas [Kagánov, 1985] pudiéndose complementar la imagen de naturaleza y de realidad.

De manera análoga como Planck analizó el comportamiento atómico como un sistema vibrante utilizando sus cuantos, De Broglie interpreta al átomo utilizando sus paquetes de onda para plantear al que él llama átomo de luz; en el siguiente fragmento encontrado en su tesis doctoral se halla plasmada tal idea:

“El átomo de luz equivalente en razón de su energía total a una radiación de frecuencia es el seno de un fenómeno periódico interno [fenómeno ondulatorio interno] que, visto por un observador fijo, tiene en cada punto del espacio igual fase que una onda de frecuencia que se propaga en la misma dirección con una velocidad muy parecida (aunque ligeramente inferior) a la constante llamada velocidad de la luz”⁷

Es decir, que tanto el movimiento del átomo como movimiento interno de este, están en fase o dicho en otras palabras, tanto el « átomo de luz» como la luz

⁷ Fragmento extraído de Sánchez Ron

que sale de él tienen la misma frecuencia por ende podemos decir que *la frecuencia que se obtiene en el espectro es una fiel evidencia del comportamiento interno de los átomos*, idea similar a la de Planck.

Con esta idea de átomo y de paquetes de onda, De Broglie logró reproducir las condiciones cuánticas expuestas por Bohr hallando las órbitas estacionarias establecidas en su modelo atómico, pero ahora dotándolas del sentido físico, ya que Bohr lo había dejado estipulado tan sólo como un postulado. Fue De Broglie quien evidenció que estas órbitas permitidas tenía un trasfondo que explico como:

“cada electrón, (...) va acompañado por un tren de ondas y circula sólo en órbitas de tamaño tal que el tren de ondas pueda caber en ellas, es decir, pueda cerrarse” [Papp, 1996]

Si no se cierran entonces no se originaría la órbita, por lo cual, las únicas órbitas que se generan son las mismas halladas por Bohr, allí se ve claramente la relación de dualidad en un campo un tanto diferente del que lo planteo Heisenberg puesto que éste está asociado más al movimiento del electrón (discreto) al que se le asocia una onda (continua), o en otras palabras existe una relación indisoluble entre lo continuo y lo discreto, convergiendo nuevamente en el principio de complementariedad de Bohr.

Es precisamente esta relación la que genera la imposibilidad de predecir simultáneamente las dos cantidades físicas, ya que si los electrones poseen propiedades ondulatorias resulta imposible localizarlos en un lugar determinado dentro de la órbita predicha, nótese que es la misma conclusión a la que se llega a través de la formulación de Heisenberg, pero partiendo de diferentes interpretaciones de la naturaleza (ver figura 3.1)

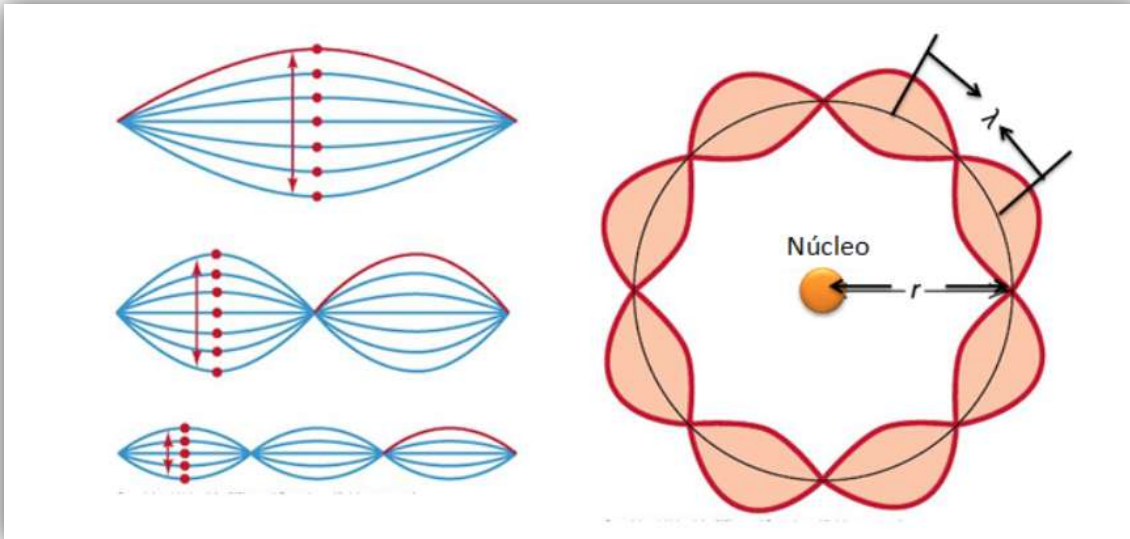


Figura 3.1: En el lado izquierdo se ve la onda estacionaria para $n = 1$; $n = 2$ y $n = 3$, esto es análogo a los modos normales en una cuerda; y en lado derecho se encuentra un esquema de un átomo de acuerdo a De Broglie, la parte sombreada roja indica todas las posibles ubicaciones que el electrón puede tener

3.2.2 Representación de la función de onda: de órbita a orbital.

Se ha mostrado que cada modelo atómico se presenta por la necesidad de dar explicación a nuevos hechos experimentales, y a pesar de que Schrödinger no se basó en dichos hechos, con su representación solucionó los problemas dejados en el camino por los modelos antecesores de Sommerfeld (órbitas elípticas) y Bohr (órbitas estacionarias) que en su momento se adecuaron muy bien a las observaciones hechas en el espectro del hidrógeno y de átomos hidrogenoides, pero a la hora de intentar explicar a través de tales representaciones atómicas a átomos multielectrónicos y por lo tanto más complejos, resultaba ineficiente. Las abstracciones del mundo hechas por Schrödinger parecen salir espontáneamente, como si la naturaleza se estuviese manifestando y sus descripciones estuviesen presentes en la matemática.

El cambio de la idea de órbita por la de orbital que es descrita en términos de funciones de onda, a pesar de estar expresado a través de ideas meramente estadísticas, concuerdan eficazmente con los fenómenos naturales y las observaciones que se le hacen a éstos, así pues el experimento de la doble rendija, la dispersión de la luz y la materia: sólo pueden tener sentido para el observador cuando se les ve con los ojos de la de la complementariedad.

La función de onda cambia la idea de órbita por la de orbital, caracterizada ahora por tres números cuánticos n ; l ; m_l , sustituyendo también el determinismo por la noción de posibilidad; dos cambios tan drásticos en la forma como se imagina e interpreta al mundo debían consolidar una gran revolución; la mecánica cuántica.

La función planteada por el austriaco permite hacer un tratamiento adecuado de tales paquetes de onda, en ella se describen todas posibilidades que tiene una partícula en un conjunto de ondas (es decir, que esta ecuación es válida para cualquier partícula, no para una en particular) que avanza, su descripción, está puesta a la mano gracias a tal planteamiento desde el momento en que es emitida hasta que choca con un instrumento que registra tal suceso. Cabe resaltar que esta función de onda lo que obtiene del mundo atómico y subatómico es una probabilidad y una densidad de esta para todas las partículas; de esta forma todo suceso que afecte a las partículas, afecta a la onda y por tanto a la función de onda que la describe.

El trabajo que condensaba la ecuación de onda, se titula La cuantización como un «problema de auto valores», en ella presentó como punto de anclaje la ecuación mecánica del movimiento de Hamilton –Jacobi [Sánchez, 2001]

$$H \left(q_k, \frac{\partial S}{\partial q_k} \right) = E$$

donde H resulta ser el Hamiltoniano, S es la acción y q_k corresponde a las coordenadas generalizadas. Después un desarrollo matemático se obtiene la conocida ecuación que lleva su nombre

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\vec{r}, t) + V(\vec{r}) \Psi(\vec{r}, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t}, \quad (3.2)$$

en la ecuación el potencial de confinamiento o de ligadura entre el núcleo y los electrones sigue siendo de tipo Coulombiano, para el caso atómico, por lo que la ecuación (3.2) se puede expresar como:

$$-\left[\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - \frac{e^2}{r} \right] \Psi(\vec{r}, t) = i\hbar \frac{\partial \Psi(\vec{r}, t)}{\partial t},$$

y se puede hacer una separación de variables, de modo que:

$$\Psi(x, y, z; t),$$

$$\psi(x, y, z) \rightarrow \psi(r, \theta, \phi) = R(r) \cdot \Theta(\theta) \cdot \Phi(\phi), \quad (3.3)$$

de allí se puede encontrar de manera natural nuevos etiquetadores que reflejan la complejidad de la naturaleza atómica, en donde se pasa de tener 2 etiquetadores en Sommerfeld a 3 en Schrödinger, aparecen muchos más al considerar los efectos relativistas, y al tener en cuenta otras tantas condiciones,

que no se presentaran; tan sólo se quiere evidenciar que tras cada modelo aparece nuevos elementos teóricos que etiquetan al sistema que a su vez completan una imagen o representación del fenómeno atómico. En la siguiente tabla se muestra el nombre del número cuántico, su representación simbólica, las reglas de selección para cada etiquetador, que representa gráficamente y por último señalamos de que variables son las que dependen tales números.

Nombre del etiquetador	Símbolo	Reglas de selección	Representa	Variables de las que surgen los números cuánticos
Número cuántico principal	n	1, 2, 3, ..	Volumen efectivo Niveles energéticos	$R(r)$
Número cuántico azimutal	l	0, 1, 2, ..., $n - 1$	Forma del orbital	$R(r), \Theta(\theta)$
Número cuántico magnético	m_l	0, $\pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$	Restringe la dirección del orbital	$\Theta(\theta), \Phi(\phi)$

Con base en la anterior tabla, se presentan las siguientes representaciones gráficas que indican que la idea de orbital encierra todo el poder del modelo atómico de Schrödinger, así por ejemplo en las Figuras 3.2 y 3.3, las representaciones gráficas en torno al modelo cuántico del átomo difieren notablemente de la visión puntual de sus anteriores representaciones.

Esta representación además contrasta claramente con nuestra experiencia sensorial. Los objetos materiales de nuestro mundo podemos caracterizarlos fácilmente, e incluso los objetos con lo que hemos tenido alguna experiencia visual permanecen en nuestra mente como fotos que perduran en un mismo estado en el tiempo. Pero a nivel atómico eliminamos la visión puntualizada de la naturaleza material, la cual está presente en los modelos clásicos y pre cuántico del átomo, en los cuales el núcleo y los electrones están personificados

por “pepitas” y las órbitas como circunferencias o elipses en torno al núcleo por las que circulan electrones. La naturaleza cuántica no se comporta igual y por ello no la podemos representar de la misma manera en que se hace a nuestra escala. En la representación cuántica no vemos ni pepitas ni trayectorias definidas, allí vemos diferentes colores que representan no sólo los orbitales por donde transita el electrón, sino que además ubican probabilísticamente a éste en el átomo. De esta manera gráficamente se encuentran ideas que describen el comportamiento dual, donde la materia ya no está ubicada en una coordenada, sino se encuentra “esparcida” en región del espacio tal como lo hacen las ondas.

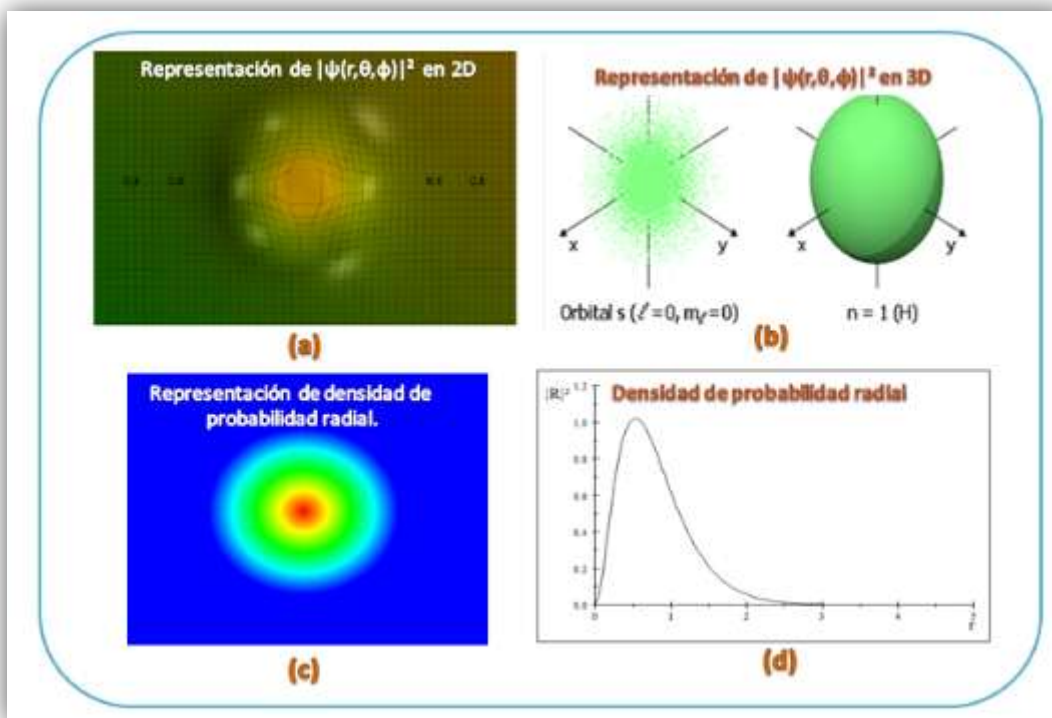


Figura 3.2: Múltiples representaciones visuales para el estado $n = 1$; $l = 0$; $m_l = 0$; (a), es una representación de la densidad de probabilidad en 2D pero se podría asumir en 3D al ser $m_l = 0$; completando el sólido, la parte naranja indica mayor densidad de probabilidad; (b), esta corresponde a una representación en forma de nube electrónica, en el cual hay una región con mayor concentración y en 3D; (c)[Herrmann, 2005], en esta representación a intensidad de los colores indica la mayor o menor densidad de probabilidad, siendo el rojo la primera opción y azul claro la menor, mientras que el azul intenso indica una probabilidad nula; y en (d), se nota más claramente la mayor

densidad de probabilidad radial en $r = 0, 5$ o $0, 7$

Esta nueva descripción del mundo atómico, tiene grandes ventajas, por un lado permite hacer múltiples representaciones en torno a una misma idea general (la idea de átomo) y por el otro permite particularizar, como se mostró en las dos gráficas anteriores en (d) en la cual es posible hacer una gráfica de la densidad de probabilidad radial, de manera análoga es posible hacer esta misma gráfica para θ o para ϕ , también permite tener representaciones en 2D, en 3D y dinámica en donde interviene el tiempo, y muchas otras que simulan el comportamiento atómico por medio de imágenes topográficas como en (c) donde se muestra por medio de un código de colores donde hay una mayor o menor probabilidad de encontrar al electrón.

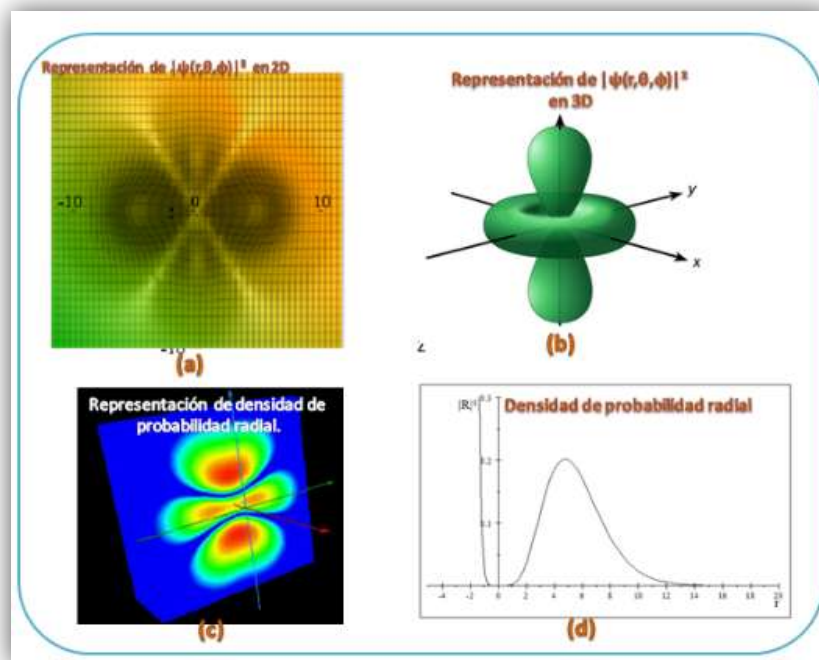


Figura 3.3: Representaciones para el átomo de hidrogeno, en el estado $n = 3; l = 2; m_l = 0$: (a), diagrama representacional, en donde se gráfica $m_l = 0$, de modo tal que se pueda rotar a asumirse como un sólido de revolución; (b) Representación en 3D ; (c), [Herrmann, 2005], imagen topográfica indica donde hay mayor concentración de probabilidad con el color rojo; y (d) densidad de probabilidad de una de las variables de la función de onda

En síntesis, el fenómeno cuántico se puede ver como lo que Schwinger denomina el fenómeno de atómicidad, en el que no sólo se hace referencia a la existencia de discretización en la materia, sino también al hecho mismo de una modificación en las leyes del movimiento que predicen del mundo microfísico, fundamentadas en el hecho de la naturaleza como esencialmente estadística y en el que incluyen concepciones revolucionarias, tales como cuantización, y complementariedad.

Sin embargo las evidencias experimentales como la interferencia entre dos partículas ratifican que estas dos concepciones aparentemente contradictorias son como lo dice Bohr con su teoría de complementariedad “La complementariedad: [son] proposiciones que son falsas por separado, [pero] que contempladas conjuntamente son correctas” [Lahera, 2004], es decir que los opuestos no son contradictorios sino complementarios como se vio a lo largo del capítulo.

En el siguiente mapa conceptual, se encuentra sintetizadas las principales ideas que caracterizan la visión cuántica de átomo.



Apartado 4

4. Fotones: « adhesivo» necesario en la estructura atómica.

Introducción

Como se mostró en los capítulos anteriores, las evidencias experimentales fueron de vital importancia en el desarrollo de los modelos atómicos: el hallazgo del electrón en los rayos catódicos, el tamaño del núcleo en la incidencia a láminas de metal con partículas alfa, y las órbitas estacionaria en los espectros atómicos. Así mismo, fueron discrepancias entre los resultados de la reciente teoría de la mecánica cuántica y los arrojados por experimentos, en donde la teoría lanzaba resultados con valores infinitos, para describir fenómenos que en el experimento se mostraba como contables [Navarro, 2007], lo que abrió paso a todo un nuevo campo de investigación, llamado electrodinámica cuántica, ella sería a su vez el hogar de una nueva representación de la estructura del componente básico de la materia, en la que regia una visión aun mas integral de los componentes del átomo, no sólo limitándose a las sub partículas atómicas, sino incluyendo en su estudio un muy conocido agente radiactivo llamado fotón.

La evidente relación entre la radiación y la materia está presente en muchos fenómenos de la vida, y es gracias a esta interacción, a nivel micro, entre otras cosas, que a escalas macroscópicas podemos ver los objetos, su importancia es pues evidente, así como su complicidad en diversos fenómenos físicos. La ciencia era consciente de esto, se describían los fenómenos físicos como por

ejemplo el efecto fotoeléctrico en función de la estructura del átomo y los fotones, pero el fotón no hacía parte del constructor físico del átomo. La interacción entre la radiación y la materia contaba como muchas evidencias experimentales, a tal grado de tener su propio campo de estudio y aun así no se destacaba una proyección del desarrollo conceptual en la representación natural del componente básico de la materia, sólo fue hasta que la peculiar forma en la física Feynman interpretaba los fenómenos de la naturaleza, que se vinculó en una representación atómica a la radiación como parte de su estructura.

4.1 El papel de los fotones virtuales en la estructura atómica

Antes de meternos con el modelo atómico propuesto Feynman, empecemos por describir uno de los conceptos fundamentales en su hipótesis atómica, la noción de fotón virtual. Muchos de los estudiantes de física han tenido alguna experiencia conceptual con la idea de fotones, sabemos que es la parte corpuscular de la luz, por ende podemos fácilmente asociarla con la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, que van desde los rayos gama hasta las ondas de radio, por otro lado, conocemos gracias a evidencias experimentales que estos, naturalmente interactúan con los electrones, dichas experiencias, bien sabemos que no hacen parte de nuestra experiencia sensorial, en otras palabras no los hemos visto ni tocado, mucho menos saboreando u olido; así pues los fotones son simplemente la mejor interpretación a muchos fenómenos tal como el efecto fotoeléctrico, es decir lo que evidenciamos son determinados fenómenos y en nuestra búsqueda de explicaciones planteamos soluciones que son corroboradas por diferentes experiencias, por ello podemos en la actualidad predicar con propiedad sobre estos.

Para ilustrar lo anterior podemos recurrir a un sencillo ejemplo del mundo macro, supongamos que estamos en el último piso de un edificio que se encuentra a

una distancia considerable de una cancha de tenis, en la que están jugando un par de personas. Desde la distancia en la que nos encontramos seguramente no lograremos ver la pelota, lo único que quizás veríamos serían dos jugadores que mueven sus raquetas uno después del otro, y en una dirección determinada que depende del movimiento anterior, así que, si no estuviésemos familiarizados con dicho deporte, y nos pidieran describir lo que está sucediendo en la cancha, seguramente atribuiríamos a “algo” en medio de los jugadores que origine el movimiento consecutivo de los mismos. Lo anterior sería análogo al papel que juegan los fotones virtuales en el átomo, ciertamente el término de fotón virtual tan sólo hace parte de nuestra apreciación del mundo, pero se acopla muy bien a los fenómenos que con ellos queremos describir, lo cual puede ser un indicio de que vamos por buen camino. El relacionarnos con este concepto será crucial en la representación atómica que presentaremos a continuación.

4.2 Una interpretación diferente para la fuerza de ligadura en el átomo.

Como ya vimos en las anteriores representaciones de átomo, los electrones se mantiene ligados al núcleo, gracias al potencial de Coulomb, esta idea se mantuvo como única explicación desde el primer modelo estructural, incluso estaba presente en la concepción cuántica de átomo, y seguirá presente en muchas más explicaciones, pues como se mencionó las evidencias experimentales avalan esta interpretación del mundo micro; sin embargo con la electrodinámica cuántica, se hicieron reformulaciones en la forma de concebir el átomo, una de ellas incluía una nueva interpretación en la fuerza de ligadura, al considerar los fotones virtuales de los que hablamos anteriormente.

Empecemos por familiarizarnos un tanto con las interacciones de las que venimos hablando, para ello Feynman describe tres acciones fundamentales, a

partir de las cuales se obtienen todos los fenómenos de la luz y los electrones.

ACCION N 1: Un fotón va de un sitio a otro.

Esta primera acción puede parecer sencilla sin embargo agrupa toda una compleja descripción de su movimiento, ya que el fotón se desplaza no sólo en el espacio, sino en el espacio y el tiempo, y como si fuera poco, su movimiento en el tiempo no solo es una acción progresiva sino que tal partícula puede viajar hacia adelante y hacia atrás en el tiempo⁸. Esta propiedad no solo hace parte de los fotones sino que hace parte de la naturaleza de las partículas en general, de allí que todas tengan su antipartícula.

ACCION N 2: Un electrón va de un sitio a otro.

Al igual que en la acción anterior esta acción es todo un cúmulo de complejidad, de la misma forma el electrón se desplaza en el espacio y en el tiempo, hacia delante y hacia atrás, lo que en el tiempo implica hablar de su antipartícula, el positrón.

ACCION N 3: Un electrón absorbe o emite un fotón.

Esta acción es esencial, de ella tenemos evidencia desde el modelo de Bohr y sabemos que la consecuencia de está es un cambio en la energía que dentro del átomo se manifiesta por el paso de una órbita (en el caso del modelo de

⁸ En su libro Feynman se refiere al viaje hacia atrás en el tiempo como la evidencia a la acción de la partícula opuesta a la original, las cuales son conocidas como antipartículas y para el caso de los fotones otro igual. Esta propiedad no solo hace parte de los fotones sino que hace parte de la naturaleza de las partículas en general, de allí que todas tengan su antipartícula.

Bohr) o un orbital (en el caso de Schrödinger) a otro.

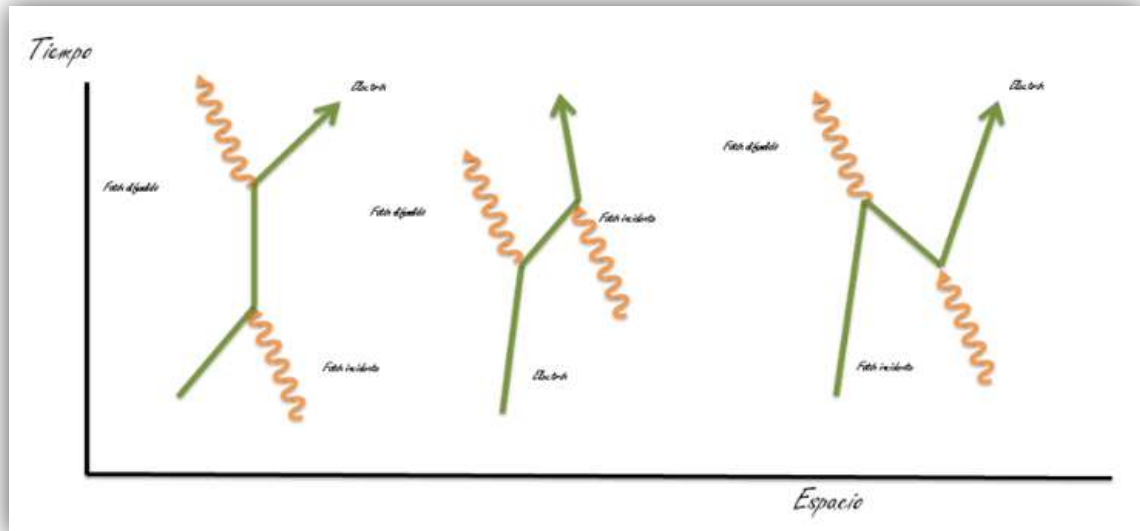


Figura 4.1: La difusión de la luz implica un fotón incidiendo sobre un electrón y emitiendo un fotón –no necesariamente en este orden-, como vemos en el ejemplo b. El ejemplo c muestra una rara posibilidad aunque posible (valga la redundancia): el electrón emite un fotón, retrocede con rapidez en el tiempo para absorber un fotón, y luego continúa hacia adelante en el tiempo [Feynman, 1985b]

En la figura 4.1 se puede ver un ejemplo que involucra estas tres acciones, y que Feynman expone y explica en su libro QED.

Así pues, con lo anterior podemos llegar a la representación estructural del átomo propuesta por Feynman la cual es por cierto uno de los diagramas que lleva su nombre, y que podemos ver en la figura 4.2. Allí se observa, una representación del átomo de hidrógeno ubicada en el espacio y en el tiempo, lo cual es de resaltar, ya que, en los anteriores modelos este aspecto no se tenía en cuenta, perdiéndose la información de su evolución en el tiempo.

En esta imagen podemos ver la línea de mundo del protón, la cual se mantiene invariante en el espacio, esto se debe a que se asume al núcleo en reposo, por ende las partículas en él (neutrones y protones) se mantienen también en reposo, en cambio la línea de mundo que corresponde al electrón evolucionan

en el tiempo variando su posición, aquí se rompe una de las reglas, observe que la posición de la partícula pasó de los términos probabilísticos que como ya se mencionó en el capítulo anterior, exige el principio de incertidumbre de Heisenberg, al determinismo trabajado hasta los modelos pre cuánticos, esta es sin duda una de las falencias del modelo, pero es entendible, ya que al ganar amplitud al involucrar al tiempo, se hace más complejo plasmar en una imagen (plana) la estructura atómica de forma que coincida con las exigencias tanto experimentales como teóricas; por ello se pasará por alto esta dificultad, ahora bien la figura 4.2 contiene también unas líneas onduladas de color naranja que como vimos en la imagen anterior corresponden a los fotones, en las cuales también se omitirá el problema del determinismo, dichas líneas pasan del protón al electrón y viceversa, y hacen parte de los llamados fotones virtuales, es a ellos y en si a su interacción con los electrones y los protones que se atribuye que el electrón este ligado al núcleo, en palabras del propio Feynman “intercambiando fotones el protón mantiene al electrón en sus proximidades, bailando a su alrededor” [Feynman, 1985b]. En esta frase Feynman presenta una nueva postura en la forma de interpretar la naturaleza de la unión intra atómica, la cual a su vez se puede extrapolar al acoplamiento entre moléculas, ya que los fotones hacen las veces de « adhesivo », tanto intra como inter atómico; esta interpretación puede fácilmente asociarse con diminutos resortes intermediarios en los acoples ya mencionados; así pues, es evidente la diferencia entre la interpretación de la fuerza radial originada por el potencial de Coulomb que se venía trabajado y la propia de la electrodinámica cuántica, en la que la interacción electromagnética es el agente confinador.

Volviendo al análisis del diagrama, nótese, que hay dos fotones fuera del átomo, uno corresponde un fotón incidente, y el otro a uno difundo, o como se muestra en la figura 4.2 puede darse el caso de que un fotón difundido en un instante de tiempo, pueda en un instante después ser absorbido por el mismo electrón; como ya lo mencionamos, esto representa en el átomo un cambio en la

energía del mismo, fenómeno que a su vez origina los cambios de orbitales de los electrones, y produce los bien conocidos espectros atómicos. Observe que la idea de unificadora de Bohr no se pierde con este modelo, al contrario, se ratifica ante la especialización de esta teoría.

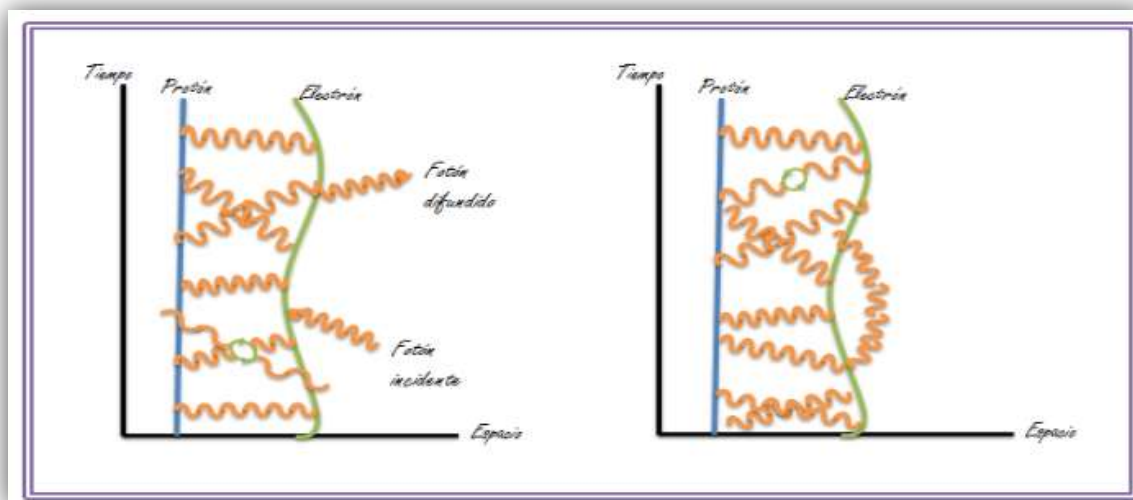
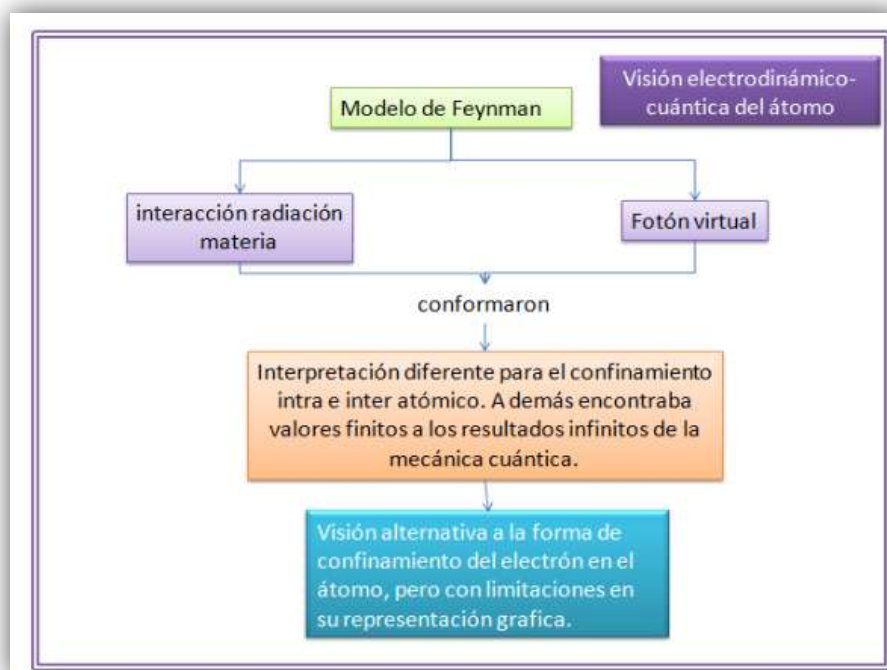


Figura 4.2: Diagrama de Feynman para el átomo de hidrógeno, en el que están presentes las líneas de mundo del electrón y del protón.

La representación estructural atómica propuesta por Feynman, es una buena aproximación a las evidencias de la radiación y su interacción con la materia, sin embargo tiene serios limitantes, tal como el ya mencionado determinismo que maneja su modelo al ubicarlo en el espacio y en el tiempo; del cual se deduce, la asignación de una trayectoria para el movimiento del átomo, en adición, para representar átomos con más de un protón y sus respectivos electrones se presenta otro gran limitante, problema que el mismo Feynman reconoció al afirmar: “¡pero los diagramas para éstos átomos supondrían tal cantidad de líneas rectas y onduladas que serían un completo lío!” [Feynman, 1985b], por ende su modelo sólo puede aplicarse al átomo de hidrógeno, lo cual evidentemente es una gran acotamiento de su utilización.

En fin, el modelo atómico inmerso en la teórica de la QED constituye el único,

hasta ahora, modelo que introduce en su estructura las evidencias experimentales que relacionan a la radiación con la materia; éste hace al fotón una parte fundamental, a partir del cual se propone una forma alternativa de concebir las fuerzas que confinan al electrón en el átomo, en otras palabras su modelo ve al fotón como un «adhesivo» necesario en la estructura atómica, en el que se recurre a las interacciones, a agentes confinadores, a la descripción en términos de acciones, a los diagramas de Feynman y a las líneas de mundo para su consolidación. En el siguiente esquema conceptual, se presenta elementos que consideramos fundamentales en la concepción atómica de Feynman.



Bibliografía

- Arons, A. Evolución de los conceptos de la física. : Editorial Trillas. 1970
- Arriaga,L;BONALES,Lyotros.ExperimentodeThomson[en línea]. [citado 28 julio 2009] Disponible en World Wide Web:http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/feria/publicaciones/Feria6/2/Real_Sociedad_Quimica.pdf. 2005
- Asimov, I. Grandes ideas de las ciencia: Alianza editorial S.A. Primera edición 1983
- Caamaño,A; De Pro, A; Jimenez, M. Enseñar Ciencias. España: Graó. 2003
- Capra, F. El Tao de la física: una exploración de los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental. Málaga: sirio. 2006. 1998
- Capra, F. El Tao de la física: una exploración de los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental. Málaga: sirio. 2006. 1998
- Cardenas, Marta (1997) Análisis de una experiencia didáctica realizada para construir conceptos fundamentales de termodinámica Cad.Cat.Ens.Fis., v.14,n2: p.170-178, ago.1997 Argentina
- Cassidy, D. Heisenberg, imprecisión y revolución cuántica. Investigación y Ciencia, julio, 1992
- De La Peña, L. Ciencias de la materia: génesis y evolución de sus conceptos fundamentales. México: unam. 1998.
- De La Peña, L. Los conceptos de la física del presente siglo. México: unam. 1999
- Díaz Jiménez Héctor J. y otros (2010) Propuesta de texto para la enseñanza de la termodinámica a nivel medio superior basado en Cuatro enfoques. En la revista *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 4, Suppl. 1, Nov. 2010*.México.
- Eisberg, R. Física: biblioteca científica y tecnológica, vol. 1 y 4. México: ediciones ciencias y técnico. 1988.

- Feynman, R y Leighton, R. Física Vol I y Vol III. México: Addison Wesley iberoamericana S. A.1998.
- Feynman, R. QED: the strange theory of light and matter . New Jersey: Princeton University Press. 1985b.
- Feynman, R. Seis piezas fáciles. Barcelona: Critica. 1995.
- Giraldo Gallo, J., González , E., & Gómez-Baquero, F. (2007). *Nanotecnociencia, Nociones preliminares sobre el univeso nanoscopico*. Bogotá Colombia: Ediciones Buinaima.
- Giraldo, J. 2009.*Unos Cuantos para todo. Física Cuantica*. Bogota Colombia: Ediciones Buinaima.
- Giraldo, J. 2014. *¿NANO...-qué?*. Ediciones Desde Abajo, Colección Primeros Pasos. En imprenta.
- Greca, Ileana M., y Herscovitz, Victoria, E. Construyendo significados en mecánica cuántica: Fundamentación y resultados de una propuesta innovadora para su introducción en el nivel universitario. Revista Enseñanza de las ciencias, 2002, Vol. 20, No. 2. Página 330.
- Hansch, T; Schawlow, A y Series, G. El espectro del hidrógeno atómico. Investigación y ciencia. Mayo 1979.
- Hawking, S. Historia del Tiempo. Barcelona: Crítica. 1988.
- Heisenberg, W. La imagen de la naturaleza en la física actual. Hamburgo: ediciones Orbis, S.A. 1985.
- Heisenberg, Werner. La imagen de la naturaleza en la física actual. Ediciones Orbis S.A. Barcelona, 1985.
- Herrmann, F; Bronner, P ;Hauptmann y Roth, D. CD Imágenes del átomo de hidrógeno. Alemania: Universität Karlsruhe. 2005
- Jiménez, R y otros. Schrödinger: creador de la mecánica ondulatoria. México: La ciencia para todos. 1995.
- Kagánov, M y Tsukérnik, V. La naturaleza del magnetismo. Moscú: MIR. 1985

- Lahera, J. De la teoría atómica a la física cuántica. España : Nivola libros y ediciones, S.L. 2004
- López,R; Saldarriaga,J y Tamayo, O. Análisis de representaciones gráficas en libros de texto de química. Manizales: latinoam,estud.educ.3(2), 61-86. 2007
- Marquez, J. Química 1. Cegange. 2006
- McKagan, B ; Perkins, K y Wieman, C. Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively.arXiv:0707.1541v2 [physics.ed-ph] 1 Mar 2008
- Morcillo R. J y Orza S. J. Espectroscopia;Estructura y espectros atómicos. Alhambra, S.A.1972
- Moreira, M y Greca, I. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. Revista Brasileira de Investigaçao em Educaçao em Ciências, 2(3)84-96, 2002.
- Navarro, Jaume. El padre del electrón: J.J. Thomson. España: Nivola libros y ediciones, S.L. 2006
- Navarro, Jesús. Los caminos cuánticos. España: nivola. 2007
- Otero, Maria Rita y otros (2002). El uso de imágenes en textos de física para la enseñanza secundaria y universitaria. En la revistaem Ensino de Ciências – V7 (2), pág. 127-154
- Otero, Maria Rita y otros (2004). Las imágenes en los textos de física: entre el optimismo y la prudencia. Cad. Brás. Ens. Fís., v. 21, n. 1: p. 35-64, abr. 2004
- Perales, F. Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. Enseñanza de las ciencias. 24(1), 13-30. 2006
- Rodríguez, Pozas, Sánchez y Otros .Química. 2o Bachillerato. McGraw-Hill, 2007
- Sánchez, J. Historia de la física cuántica. I. El periodo fundacional (1860-1926). Barcelona: Critica. 2001.

- Solbes, J y Traver, M. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. Enseñanza de las ciencias. 14(1), 103-112. 1996.
- Strathern, P. Bohr y la teoría cuántica. Madrid: Siglo XXI. 2006
- Tomonaga, S. Quantum Mechanics. Interscience Publishers 1962.
- Tomonaga, S. The story of spin. Chicago: The University of Chicago press Chicago and London. 1997
- Uribe, M. Un modelo mental sobre el átomo: la enseñanza de los modelos atómicos en programas de ingeniería. Didáctica de las ciencias. Aportes para una discusión. Universidad Pedagógica Nacional. 2002