

01087
5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN PEDAGOGÍA

**COMPARACIÓN ENTRE LA EVOLUCIÓN DE LOS
CONCEPTOS HISTÓRICOS Y LAS IDEAS DE LOS
ESTUDIANTES:
EL MODELO DE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA**

Tesis
que para obtener el grado de
Doctor en Pedagogía

presenta:

LETICIA GALLEGOS CÁZARES

Director de Tesis:

Dr. Andoni Garritz Ruíz

México, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

23 Mayo 02

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DE
MEXICO

A mi esposo Fernando con quien tengo la fortuna de compartir mi vida

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis queridos hijos Lety, Fer y Rodri

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi padre y a la memoria de mi madre

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Agradezco a mi director de tesis el Dr. Andoni Garritz Ruiz quien con sus amplios conocimientos, profesionalismo y amabilidad me apoyó durante la realización de todo el trabajo.

Agradezco al Centro de Instrumentos por el apoyo institucional que me brindó.

Agradezco a mis compañeros del Centro de Instrumentos por su apoyo y amistad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Índice

Introducción	i
Capítulo 1. El desarrollo del concepto de átomo	1
1.1 El conocimiento griego de la materia	1
1.1.1 Los presocráticos	2
1.1.1.1 La escuela atomista	5
1.1.2 Aristóteles	11
1.2 La edad Media	16
1.2.1 El conocimiento atómico de los árabes	18
1.3 Del renacimiento al siglo XVIII	19
1.3.1 Los atomistas de los siglos XVI-XVIII	20
1.3.2 Los antiatomistas de la época	27
1.3.3 Otras visiones sobre el atomismo	31
1.4 La teoría atómica en el siglo XIX y principios del siglo XX	33
1.4.1 Los avances de la química en el siglo XIX que contribuyeron al desarrollo de la teoría atómica	36
1.4.2 La física atómica del siglo XIX	51
1.4.2.1 La teoría cinética de los gases y los avances en la espectroscopia	51
1.4.2.2 La termodinámica y la física atómica del siglo XX	57
1.4.3 Los antiatomistas del siglo XIX	60
1.4.4 Los modelos atómicos del siglo XX	61
1.4.5 Los principios de la mecánica cuántica	72
1.5 Comentarios generales	81
Capítulo 2 Las concepciones de los estudiantes sobre estructura de la materia	87
2.1 La materia es continua, homogénea y estática	92
2.1.1 La naturaleza de la materia y sus características	92
2.1.2 Estados sólido, líquido y gaseoso	94
2.1.3 Cambios de estado	96
2.1.4 Las disoluciones. La conservación de la materia y el peso	100
2.1.4 Comentarios generales sobre: la materia es continua, homogénea y estática	107
2.2 La materia es discreta	109
2.2.1 La naturaleza de la materia	109
2.2.1.1 La naturaleza y características de las partículas	112
2.2.2 Concepciones de átomos y moléculas	113
2.2.2.1 Características de los modelos de los estudiantes	119
2.2.2.2 Las partículas atómicas en los modelos	



atómicos de los estudiantes	120
2.2.3 Las macropropiedades se transfieren al micromundo	121
2.2.4 Sistemas y conglomerados de partículas	122
2.2.4.1 Estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso	123
2.2.4.2 Cambios de fase	135
2.2.4.3 Disoluciones	137
2.2.5 Comentarios generales sobre la materia es discreta	142
2.3 Comentarios finales	144
 Capítulo 3. Metodología	 147
3.1. Diseño de la investigación	151
3.2 Población	152
3.3 Instrumentos	152
3.3.1 Cuestionarios	152
3.3.2 Entrevistas	155
3.4 Categorías de análisis	155
3.4.1 Categorías para analizar la representación continua	156
3.4.2 Categorías para analizar la representación discreta	156
 Capítulo 4. Resultados de la investigación	 159
4.1 La construcción de los modelos de los estudiantes. Resultados y análisis de datos	159
4.1.1 Representación continua y discreta de la materia	159
4.1.1.1 Identificación por categorías continuas y discretas por nivel escolar	159
4.1.1.2 Identificación de categorías continuas y discretas por contexto de la pregunta y nivel escolar	161
4.1.1.2.1 Estados físicos de la materia y cambios de estado	161
4.1.1.2.2 Disoluciones	169
4.1.1.2.3 Emisión de luz y conductividad Eléctrica	174
4.1.2 Modelos continuos y discretos	179
4.1.3 Representación continua y discreta de materia	210
4.1.4. Identificación de modelos atómicos	224
4.1.5 Comentarios y conclusiones de la primera sección	228
4.2 Relaciones entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes	229
4.2.1 La representación continua de la materia	229
4.2.1.1 El éter como un elemento de unión entre las representaciones continua y discreta	230
4.2.2 Representación discreta	232
4.2.2.1 Sobre la estructura de la materia	232
4.2.2.2 Sobre la representación de mezclas y disoluciones	239

4.2.2.3 Representación atómica para la emisión de luz	240
4.3 Comentarios generales	245
Capítulo 5. Una interpretación del cambio conceptual en estudiantes de química y propuesta de modelo pedagógico	247
5.1. El cambio conceptual como un proceso de aprendizaje Conceptual	247
5.1.1 ¿Qué cambia en el cambio conceptual?	251
5.2 Los perfiles epistemológicos representacionales como una interpretación del cambio de modelos en los estudiantes	252
5.2.1 Los perfiles epistemológicos representacionales de estudiantes de química	254
5.2.2 Perfiles epistemológicos representacionales generales de los estudiantes	256
5.2.3 El perfil epistemológico representacional de las fases y sus cambios	258
5.2.4 El perfil epistemológico representacional de las disoluciones	259
5.2.5 El perfil epistemológico representacional de la conductividad eléctrica y la emisión de luz	261
5.2.6 Modelos utilizados por los estudiantes en sus explicaciones	262
5.3 Análisis de los perfiles de los estudiantes	263
5.4 Hacia la construcción de un modelo pedagógico	265
5.5 Conclusiones	271
Referencias	277
Anexo 1	285
Anexo 2	295
Anexo 3	353

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

La enseñanza de la ciencia está presente en el currículo de todos los niveles escolares y en todos ellos la comprensión de la ciencia escolar resulta ser difícil para los alumnos. En algunos casos los registros sobre los altos niveles de reprobación, principalmente en secundaria y bachillerato, de materias científicas, así como el poco interés, que esta población estudiantil tiene hacia la ciencia muestra tan sólo una pequeña parte del problema.

Durante las últimas décadas, en el mundo, la enseñanza de las ciencias ha conformado un campo de investigación educativa que aborda la problemática de la construcción del conocimiento científico en estudiantes de todos los niveles escolares, a partir de distintos enfoques se han desarrollado diversas líneas de investigación. Las concepciones de los estudiantes, las estrategias de enseñanza, los procesos de adquisición de conocimientos y habilidades científicas, la formación de profesores, el currículo en ciencias, el papel de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza, entre otras, han sido algunas de las líneas de desarrollo de investigaciones que conforman este campo y que intentan dar resultado a las múltiples interrogantes que se tienen sobre cómo los alumnos aprenden ciencia. Los resultados de estas investigaciones han brindado elementos para las nuevas propuestas internacionales sobre la educación científica.

En México, tan sólo algunas investigaciones, sobre esta problemática¹, han sido desarrolladas principalmente a partir de la década de los ochentas. Estas investigaciones muestran la necesidad de realizar más estudios que den elementos para comprender la problemática del proceso de enseñanza aprendizaje de la ciencia en todos los niveles escolares en el país y que contribuyan en la toma de decisiones de futuras reformas educativas del conocimiento científico.

Una de las líneas de investigación en enseñanza de las ciencias es aquella que aborda la relación entre el pensamiento de los sujetos y el desarrollo histórico de las teorías científicas. Desde esta perspectiva el trabajo de paralelismo entre las concepciones históricas y las de los sujetos de Piaget y García² o la aproximación cognoscitiva de Nersessian³ en la forma del pensamiento de los científicos y su relación con los modelos mentales de los estudiantes perfilan a la historia de la

¹ Gallegos C. L., León Trueba A. I., y López M. A. (1997) La investigación en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. En Waldegg G. y Block D. (coord.) Estudios en didáctica. Consejo Mexicano de Investigación Educativa, México, A. C. Grupo Editorial Iberoamérica. México D. F.

² Piaget, J. y García, R. (1982) Psicogénesis e historia de la ciencia. México: Siglo XXI

³ Nersessian, N., (1992) How do scientist think? Capturing the dynamics of conceptual change en R. Giere (ed.) Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science. MN: University of Minnesota Press, 3-44



ciencia como un elemento útil en la interpretación y comprensión de las concepciones científicas en los estudiantes. Estos trabajos también muestran que la interpretación y reconstrucción histórica de las teorías científicas no puede ser simplemente trasladada a la estructura cognoscitiva de los sujetos ya que ontogenética y filogenéticamente corresponden a procesos diferentes. Lo anterior lleva a la necesidad de construir los elementos teóricos de interpretación que medien entre la estructura de la historia de los conceptos científicos y la estructura cognoscitiva de los sujetos.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de los modelos de la estructura de la materia en estudiantes de Química de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México a partir de un enfoque histórico. Los elementos de interpretación histórica se construyen a partir del reconocimiento de las revoluciones conceptuales en la química propuesta por Jensen⁴.

En este trabajo hay dos elementos centrales: la historia, ya que a partir de ella se construyen las categorías de análisis con las que se desarrollan los modelos de los estudiantes desde donde se analizan sus ideas; y las ideas de los estudiantes desde donde se construye una interpretación sobre cambios que se presentan a lo largo de los años de formación de una muestra de estudiantes de la carrera de química. Estos dos elementos se combinan para construir una interpretación de la transformación en los modelos de los estudiantes y generar perspectivas hacia la construcción de un modelo pedagógico, que tiene como base a la historia, para el desarrollo de las concepciones de los alumnos.

La estructura del trabajo es el siguiente: en el capítulo 1 se presenta un panorama histórico que muestra lo compleja que ha sido la construcción del concepto de estructura de la materia, las distintas posiciones que se presentaron de manera simultánea, las controversias en los enfoques etc... Cuatro son los periodos históricos en los que se ubican estas teorías: el primero, muestra la visión integral de los griegos y la dicotomía entre una estructura de la materia continua y discreta; el segundo, resalta la construcción teórica de la física, la forma en que inciden los conceptos de fuerza, peso y densidad dentro de la interpretación de la existencia de los gases y sus características; el tercer periodo presenta los debates, que se dieron al interior de la química, alrededor de la definición de átomos y moléculas, compuestos y elementos, así como el desarrollo de elementos de clasificación de los elementos; por su parte, en el interior de la física, se muestra el desarrollo que se presentó con la teoría cinética de los gases, los avances en la espectroscopia y la aplicación de nuevas herramientas matemáticas de interpretación en la termodinámica. Por último, el cuarto periodo presenta la aceptación de la existencia de partículas atómicas y subatómicas como parte de la

⁴ Jensen, W B, (1998) Logic, history, and the chemistry textbook Part III One chemical revolution or three?, *Journal of Chemical Education*, 75(8). 961-969



constitución de la materia y la construcción de modelos que dieron estructura a estas partículas.

El capítulo 2 tiene como finalidad mostrar la complejidad del pensamiento de los estudiantes sobre el tema de estructura de la materia. Para lograrlo se llevó a cabo un análisis bibliográfico que abarca un amplio rango de edades de los estudiantes, desde niños de primaria hasta estudiantes universitarios, si bien, los estudios muestran un mayor énfasis en alumnos de secundaria y bachillerato. Por otro lado, para contar con la mayor información posible sobre las ideas de los estudiantes, investigadas a lo largo de 20 años, se consideraron estudios sobre estructura de la materia, modelos atómicos, cambios de estado, estados de la materia, disoluciones y conductividad eléctrica. Las ideas de los estudiantes muestran la dicotomía que históricamente se presentó, la materia puede ser continua o discontinua, de tal forma que las ideas de los estudiantes están presentadas en estos dos grandes grupos que muestran la diversidad de enfoques sobre distintos fenómenos.

Los capítulos 3 y 4 muestran el trabajo de campo desarrollado. El capítulo 3 presenta la metodología seguida durante el proceso de la investigación, los instrumentos desarrollados, la selección de la muestra y la forma de aplicación de los instrumentos. El capítulo 4 presenta los resultados de la aplicación de los instrumentos, la construcción de categorías de análisis, y la construcción de modelos de los estudiantes que describen la representación de sus ideas de estudiantes. Los resultados muestran la coexistencia de varios modelos uno continuo y cinco discretos en las interpretaciones de los estudiantes sobre distintos fenómenos relacionados con la estructura de la materia. En este cuarto capítulo se desarrolla, también, una sección donde se muestra la relación entre los aspectos históricos y los resultados de la investigación de campo. De la síntesis surgen elementos que permiten identificar las ideas de los estudiantes son coincidentes con modelos históricos específicos, en particular con científicos y filósofos del siglo XVII

En el capítulo 5 el análisis de los modelos de los estudiantes lleva a la construcción de los *perfiles epistemológicos representacionales* para los cinco niveles escolares estudiados. En este caso se analiza la coexistencia de distintos modelos: un continuo y cinco discretos en la representación de los estudiantes ante diferentes fenomenologías. Esta coexistencia de modelos, que es desarrollada desde el capítulo 4, muestra los cambios conceptuales que ocurren en los perfiles epistemológicos representacionales de la muestra de primero, tercero, quinto, séptimo y noveno semestres. Estos perfiles ayudan en la comprensión del cambio conceptual que se da en los estudiantes de la carrera de química durante su proceso de formación. En este capítulo se introduce el concepto de inconmensurabilidad local de Kuhn para explicar la coexistencia de distintos modelos en un solo sujeto. Finalmente, el capítulo termina con una

propuesta de modelo pedagógico que retoma aspectos históricos, cognitivos y conceptuales de los estudiantes y las conclusiones generales de la tesis.

Capítulo 1

El desarrollo del concepto de átomo

“Si en algún cataclismo fuera destruido todo el conocimiento científico y solamente pasara una frase a la generación siguiente de criaturas ¿cuál enunciado contendría el máximo de información en el mínimo de palabras? Yo creo que es la *hipótesis atómica* (o el *hecho atómico*, o como quieran llamarlo), que *todas las cosas están formadas por átomos -pequeñas partículas que se mueven con movimiento perpetuo, atrayéndose unas a otras cuando están separadas por una pequeña distancia, pero repeliéndose cuando se las trata de apretar una contra otra*. En una sola frase, verán ustedes, hay una cantidad enorme de información referente al mundo, si se aplica sólo un poco de imaginación y pensamiento.”
Richard Feynman¹

Con estas palabras Feynman resalta la importancia de la hipótesis atómica en el desarrollo del pensamiento del científico. Ante esto, es necesario comprender el proceso de desarrollo por el que se constituyó a lo largo de 25 siglos, partiendo de los primeros debates sobre la teoría corpuscular presentes en los atomistas de la antigua escuela griega.

1.1. El conocimiento griego de la materia

Los griegos surgen indiscutiblemente como los primeros pensadores y científicos de Europa. Ellos buscaron con un espíritu científico, libre y sin prejuicios el conocimiento por sí mismo. El recorrido se inicia con la filosofía desarrollada en la ciudad de Jonia, ciudad que se convirtió en mediadora de la vieja sabiduría de Oriente y la nueva de Occidente. Mileto, su capital, fue la cuna de la escuela de Tales (floreció hacia 580 a. C.) y en donde se inició la investigación racional sobre la naturaleza. Como señala Desiderio Papp: “Tales y sus discípulos intentaron reducir la complejidad del mundo físico a la metamorfosis de una sustancia única”², esta premisa, es el punto de partida del pensamiento griego.

Las diferencias entre los pensadores griegos se encontraban en parte en determinar cuál era la naturaleza de la sustancia única. Por ejemplo, para Tales el agua era la sustancia única, porque se consideraba como el principio de la vida ya que gracias a ella germinan las semillas. El agua fue por ello, el primer elemento a partir del cual todas otras cosas se originan. Mientras que para los jonios,

¹ Feynman, R., (1971) Física Vol 1: *Mecánica, radiación y calor*. Fondo Educativo Interamericano S. A. pp. 1-3.

² Desiderio Papp, (1961). *Historia de la Física Desde la antigüedad hasta los umbrales del siglo XX*. Segunda Edición. Ed. ESPASA CALPE, S. A. Madrid p. 21.

conocidos como parte de la escuela materialista, la sustancia única, debía ser material. La materia era el principio unificador y el elemento primitivo de todas las cosas. Para ellos, el concepto de materia se construye a partir del pensamiento y las formas de razonamiento dejando de lado toda la información que surge de la percepción sensorial. Podría decirse que no se valieron de una aproximación científica experimental y que fue a través de la razón que llegaron a afirmar una unidad material puesta por el pensamiento, y por ende abstracta.

Para ubicar temporalmente a los distintos pensadores griegos se presenta la figura 1.1³

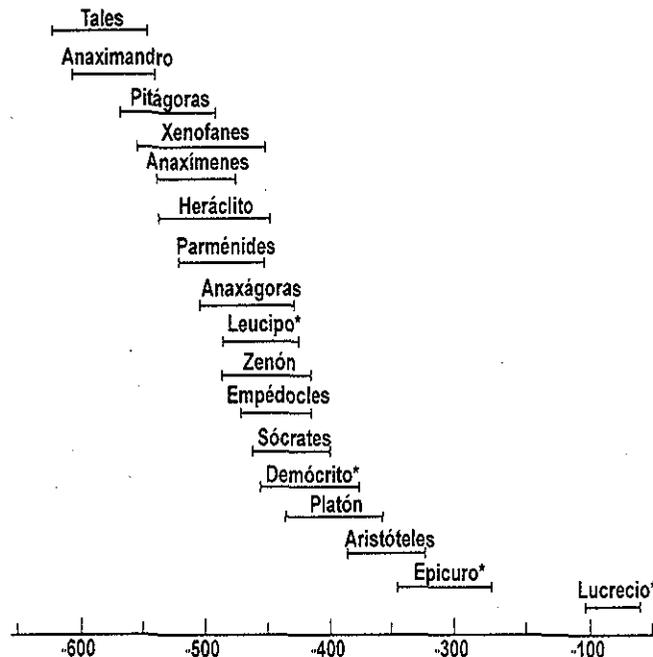


Figura 1.1. Diagrama del periodo en el que vivieron los filósofos griegos. Los señalados con * son los considerados como atomistas.

1.1.1. Los Presocráticos

En el siglo VII a. C. se ubican los dos primeros filósofos que contribuyeron con su pensamiento en el desarrollo del concepto de materia: Tales y su discípulo Anaximandro. Tales, fundador de la escuela de Mileto, propuso que el agua era la sustancia material, que dio origen a todo en el mundo. A partir de la existencia del agua todos los otros elementos surgieron: el aire y el fuego aparecieron de las

³ El diagrama fue tomado de Bernard Pullman (1998) *The atom in the history of human thought* Oxford University Press, p. 12



exhalaciones del agua y la tierra. La noción del agua como sustancia primordial fue también acogida por Hipón de Samos en la mitad del siglo V a. C. para quien el fuego era otro elemento fundamental.

El filósofo griego Anaximandro (610-547 a. C.), provenía de la escuela de Mileto, consideraba que la materia estaba formada por una sustancia infinita e indeterminada a la que llamó "*apeiron*" "Anaximandro declara que no existe aire ni agua ni cualquier otro de los llamados elementos pero sí existe una sustancia distinta de ellas la cual es infinita y a partir de la cual se forman los cielos y el mundo entre ellos"⁴. Para Anaximandro, el *apeiron* es un principio físico, es decir, el comienzo de todas las cosas por lo que es imperecedero y divino. Este concepto fue retomado por Anaxágoras y por Demócrito y es éste uno de los puntos más críticos de Aristóteles en el pensamiento de Demócrito. El *apeiron* fue posteriormente presentado por Aristóteles como un problema físico. "La ciencia natural se ocupa de magnitudes, movimiento y tiempo, de los cuales cada uno necesariamente es limitado o ilimitado. Tocante a lo ilimitado es oportuno, pues, preguntar si existe o no y qué es. Esto se esclarece ya por el hecho de que todos los filósofos de la naturaleza notables se ocuparen de lo ilimitado"⁵. El *apeiron* aparece nuevamente en el pensamiento de Platón: "Platón concibe el *apeiron* como algo existente y dice que hay dos *apeira*, a saber, lo grande y lo pequeño; fuera del Universo no hay nada corpóreo, tampoco las ideas, pues éstas no tienen ningún lugar; el *apeiron* existe tanto en las cosas sensibles como en las ideas"⁶.

Anaxímenes (vivió hacia 576-480 a. C.), sucesor de Anaximandro en Mileto, regresó a la idea original de Tales reemplazando el agua por el aire. Anaxímenes fue el primero en proponer una sustancia material distinta del agua. Los elementos podían transformarse unos en otros a través de dos procesos: la rarefacción y la condensación, cada una de ellos asociados con el aumento o disminución de la temperatura. De esta manera, a través de la rarefacción, el aire se convertía en fuego y por condensación se convertía en viento, agua, tierra y piedra. Todos los otros objetos salían de estas materias ya formadas. Los elementos naturales difieren unos de otros de una forma cuantitativa más que cualitativa dado que todos están formados de la misma sustancia. El carácter mecánico del universo está presente en el pensamiento griego.

Parménides (al parecer nació a finales del siglo VI a. C.) fue fundador de la escuela eléata. Su doctrina es la afirmación de "el Ser es uno" y el cambio no deja de ser una mera ilusión por lo que niega la existencia del movimiento y el vacío. Parménides consideraba que el mundo era la manifestación de una sustancia en donde los cambios se hacen posibles en apariencia gracias al movimiento.

⁴ Amaldi Ginestra (1966) *The nature of matter. Physical theory from Thales to Fermi* The University of Chicago Press Chicago p 18.

⁵ Düring I (1987). *Aristóteles*. Universidad Nacional Autónoma de México p. 484

⁶ Düring I (1987) *Aristóteles*. *Ibid*

Empédocles y Demócrito basaron su doctrina atomista en el pensamiento de Parménides dividiendo "el ser eleático en un número de principios sustanciales eternos e inmutables a partir de los cuales se constituye, por mezcla o combinación, el universo de las criaturas."⁷

Cabe señalar que existen diferencias en cuanto a la adopción de la tesis eleata por Demócrito, que son señaladas por Copleston al decir: "Parménides se sentía obligado a rechazar el cambio y el devenir como ilusorios, ..., Demócrito no pudo negar lo que parece ser un hecho innegable de experiencia, un hecho que más exige explicación que no el mero rechazo. Demócrito, por consiguiente, al aceptar la tesis parmenídea de que el ser no puede ni engendrarse ni perecer -la indestructibilidad de la materia- interpretaba el cambio como algo debido a la agregación o separación de las partículas indestructibles de la materia."⁸

Empédocles negó la existencia del vacío, al afirmar que existen ciertos sólidos indivisibles; ya que en caso contrario, habría tantos espacios continuos que no habría objetos sino vacío. Esta forma de establecer la indivisibilidad en ciertos cuerpos es una forma de defender la indivisibilidad de los átomos en Leucipo y Demócrito.

Empédocles hizo suyo el pensamiento de Parménides según el cual el Ser no puede crearse ni destruirse puesto que no puede surgir del no-ser, como tampoco puede desaparecer el no-ser. El problema de la tesis de Parménides es la explicación del cambio, Empédocles trata de resolverlo proponiendo que los objetos comienzan a ser y dejan de ser, pero están compuestos de partículas materiales que en sí mismas son indestructibles. Los objetos son una mezcla en cambio continuo y la sustancia es solamente la forma de designarla. Para Empédocles existen clases de materia las fundamentales y eternas a las que se llama "elementos" que son: tierra, aire, fuego y agua. Estos constituyen las raíces de todo y no pueden convertirse unas en otras. "La tierra no puede convertirse en agua, ni el agua en tierra: las cuatro especies de materia constan de partículas inmutables y últimas, que, mezclándose unas con otras, forman los objetos concretos del mundo. Así, los objetos se originan de la mezcla de los elementos, y dejan de ser cuando estos elementos se separan; pero los elementos mismos ni comienzan a ser ni perecen, sino que permanecen siempre inmutables"⁹ Esta es la única forma posible de conciliar la posición de Parménides con la evidencia del cambio, esto es, postular la existencia de una multiplicidad de partículas materiales últimas.

⁷ Cordero, N. L., Olivieri, F. J. y Eggers Lan C., (1994) *Los filósofos presocráticos II* Biblioteca clásica Gredos, 24. Editorial Gredos p. 130

⁸ Copleston F., (1980) *Historia de la Filosofía Vol. 1 Grecia y Roma* Ed. Ariel, Barcelona España

⁹ Copleston Frederick, (1980) *Ibid* p. 74

Anaxágoras (500 a. C), al igual que Empédocles y Demócrito, aceptó la teoría de Parménides de que el Ser ni comienza ni se extingue, sino que es inmutable. Aceptó por lo tanto, la indestructibilidad de la materia y lo concilió con el cambio al postular la existencia de partículas materiales indestructibles cuya mezcla forma los objetos y cuya separación explica su destrucción. Anaxágoras, sin embargo, difiere al considerar que las partículas últimas están formadas por los cuatro elementos –tierra, aire, fuego y agua-, para él, algunas cosas tienen partes cualitativamente semejantes y esas cosas son últimas y no derivadas de ninguna otra, esto es, las cosas están compuestas de mezclas de muchas partículas cualitativamente diferentes.

Al principio había partículas de todas clases, estaban mezcladas todas juntas: "Todas las cosas estaban revueltas y juntas, infinitas tanto en número como en pequeñez; pues lo diminuto era también infinito. Y, estando todas las cosas confusas, ninguna de ellas podía distinguirse a causa de su pequeñez. Todo está en todo. Los objetos de la experiencia surgen cuando las partículas últimas se han reunido de tal suerte que en el objeto resultante predominan las de una especie determinada."¹⁰ Según Anaxágoras no existen partículas indivisibles, ninguna partícula puede ser última lo que implica que siempre se les puede dividir.

1.1.1.1 La Escuela Atomista

Se cree que fue Leucipo el fundador de la escuela atomista y su discípulo Demócrito, sin embargo, no se cuenta con información histórica sobre cual fue la contribución de cada uno de ellos. El tercer atomista es Epicuro quien aparece años después, retoma y complementa la teoría atomista.

Al parecer el atomismo surge como una respuesta a dos circunstancias¹¹: por un lado el problema planteado por los eleatas sobre la existencia de un solo Ser para explicar la existencia de una multiplicidad de fenómenos; y por el otro, el adjudicar como principios a elementos cuantitativamente diferentes o de índole distinta.

"Aristóteles establece una clara conexión entre eleatismo y atomismo, al indicar que la teoría de Leucipo intenta responder al dilema eléata ... Es difícil creer que la solución atomista haya sido independiente de la Meliso, quien al atacar el pluralismo de Empédocles y Anáxagoras, mostró también cómo la pluralidad podía hacerse consistente con la lógica eléata: si "lo que es" fuese múltiple y no uno –argumenta Meliso (texto num 209, Vol. II)- debería tener las mismas características del uno eleata. Es ésta la exigencia que el atomismo se propone cumplir: "lo que es" no puede alterarse. Pero, mientras que los eleatas rechazan el

¹⁰ Copleston Frederick (1980) *Ibid.* p 78-79

¹¹ Poratti A, Eggers Lan C, (1997) *Los filósofos presocráticos III Leucipo y Demócrito* Biblioteca Clásica Gredos, 28. Madrid: Editorial Gredos p 144.

vacío porque es no ser y, en consecuencia, hallan que la pluralidad y el movimiento son imposibles (Meliso, en efecto, pone al vacío como condición del movimiento), los atomistas aceptan el vacío y pueden, por lo tanto, explicar la pluralidad y el cambio por la adición y separación de partículas, que en sí mismas son inmutables y que conservan, cada una tomada en sí misma, las mismas propiedades del uno eleata.”¹²

Los principios del atomismo son la existencia de los átomos y el vacío. Leucipo considera que las cosas son infinitas y fue el primero en proponer que los átomos son el principio de toda la materia. “Afirma, como ya se dijo, que el todo es infinito: una parte de él es lo pleno, otra, lo vacío; ambos son elementos”¹³. Tanto Leucipo como Demócrito identifican al vacío con el no ser por lo que tanto el ser como el no ser son causa de las cosas. “Suponía que la realidad de los átomos es sólida y plena y la llamó ser, y que se mueve en el vacío, al que llamó no ser, diciendo que éste existe no menos que el ser”¹⁴.

Para los atomistas, los átomos y el vacío existen como principios de todas las cosas. Los átomos son indivisibles, sin cortes ni fisuras por lo que lo sólido es pleno, esto es, impenetrable que es la característica del ser. El vacío no es cuerpo y puede identificarse con el no ser pero es penetrable. El vacío es un no ser con relación al ser del cuerpo, no es pleno, sin embargo existe. La presencia del vacío resulta ser una condición necesaria para explicar la existencia de los átomos y su movimiento. El intervalo de separación de los átomos es el vacío, por lo que forman una serie infinita de intervalos entre los átomos.

Demócrito afirma que la apariencia de las cosas es producto de la percepción ya que no existen, la verdad de ellas radica en sus átomos y el vacío. “Por convención –así dice- es lo dulce, por convención lo amargo, por convención lo caliente, por convención lo frío, por convención el color, pero en realidad hay sólo átomos y vacío”¹⁵. Los átomos son los cuerpos primeros e indivisibles y son de acuerdo a los atomistas “naturaleza”. Las sustancias son átomos y “los átomos son de idéntica naturaleza todos constituidos por una misma sustancia”¹⁶. Para Demócrito todos los átomos son cualitativamente idénticos y aunque muy pequeños tienen extensión y se distinguen. Los átomos “poseen una misma naturaleza, como si cada uno por separado fuese de oro”¹⁷.

Los átomos son infinitos en número y formas, están siempre en movimiento, son muy pequeños e inmodificables debido a su solidez. Mientras que los átomos son infinitos en número, el vacío lo es en extensión. Los átomos son inalterables por el

¹² Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid.* Nota 60 p 185

¹³ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid* p 185 No 293

¹⁴ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid* p. 186 No 297

¹⁵ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid*, p 189 No 307

¹⁶ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997). *Ibid*, p. 192 No. 315

¹⁷ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid*, p 192 No 316

hecho de ser sólidos y no contener vacío. Los objetos están formados por átomos agregados. Los átomos no tienen cualidades por lo que no pueden calentarse ni enfriarse, ni blanquearse, ni ennegrecerse, esto es, no pueden ser modificados.

Leucipo y Demócrito establecen diferencias entre los átomos como condiciones necesarias para explicar la diferencia entre las cosas y la diversidad de sus cualidades. "Afirman, en efecto, que estas diferencias son tres: figura, orden y posición, pues dicen que el ser se diferencia únicamente por "estructura", "contacto" y "dirección"; de estos la estructura es la figura, el contacto es el orden y la dirección la posición. A difiere de N por la figura, AN de NA por el orden, I de H por la posición."¹⁸

La estructura es la figura que designa la configuración propia y distintiva de cada átomo. La forma mantiene al átomo en sus límites, impidiéndole ser alterado en su movimiento por el vacío. La forma es el carácter constante que exhibe en medio del movimiento local al que está sujeto. El contacto es la propiedad que tiene el átomo sólo en relación con otros átomos al constituir un compuesto y fue introducido por Demócrito o Leucipo para expresar la ubicación del átomo en una ordenación. Este orden no es estático sino resultado de un movimiento. "El "orden" del átomo alude, entonces, a su entrar en contacto con otros átomos, sin cesar por ello su movilidad; y, puesto que este mutuo contacto de los átomos no significa una fusión entre ellos, sino una máxima proximidad, ..., puede suponerse que, al formar parte de un compuesto, se sigue verificando su esencial movilidad: aun unido con otros átomos, dentro de un complejo, no permanece estático"¹⁹. La dirección es también una característica que forma parte de los átomos cuando forma parte de un compuesto. Demócrito y Leucipo fueron los primeros en pensar en lo que posteriormente sería una molécula. Las palabras constituyen una molécula lingüística compuesta de letras del alfabeto entendidas como átomos. El orden y la dirección de estas letras y son las que forman sílabas y palabras con significado.

"Vemos que el mismo cuerpo, que es continuo, se presenta a veces líquido, a veces sólido, sin que se haya producido en él división ni reunión <de partes> y sin que ello se deba a "dirección" ni "contacto", como dice Demócrito: porque el cuerpo, de líquido se vuelve sólido sin transformarse <internamente> y sin modificar su naturaleza"²⁰

La figura es una característica definitoria del átomo en los atomistas, e indica el límite que es la cualidad primaria del átomo. Para ellos, las figuras son infinitas ya que no hay razón para que se tenga preferencia por una figura. "Algunos de ellos

¹⁸ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid.*, p 197-198 No 333

¹⁹ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid.*, p 199. Nota al pie

²⁰ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid.*, p 201 No 337

[los átomos] son irregulares, otros ganchudos, otros cóncavos, otros convexos y otros, finalmente se diferencian de otros múltiples modos."²¹

Otra característica además de la figura que describen los átomos es la magnitud. Demócrito considera que pueden existir átomos tan grandes como el mundo aun cuando en otras partes de sus escritos no aparece que los átomos pueden ser visibles. Para Epicuro, sin embargo, los átomos siempre son pequeñísimos.

Los atomistas demuestran la posibilidad de la existencia de cuerpos indivisibles: "Si la división de una magnitud fuese posible y se efectuase, su producto final tendría que ser, o bien partes con magnitud, o bien partes sin magnitud. En el primer caso, tales partes serían divisibles, por hipótesis; en el segundo, el resultado sería puntos o bien nada, es decir, partes que no podrían formar por agregación un todo con magnitud. Al mismo absurdo de una magnitud compuesta por elementos sin magnitud, se llega si se postula que las unidades resultantes de la división carecen de magnitud, pero que la magnitud desaparece en el proceso de la división, como motas de serrín. Pero si éstas son corpóreas, surge el problema de su divisibilidad, con lo cual nos enfrentamos con el mismo dilema anterior... la conclusión que se alcanza es que la magnitud no puede ser totalmente divisible y, en consecuencia, debe haber magnitudes indivisibles."²² "Leucipo y Demócrito dicen que las magnitudes primeras son infinitas en número, pero indivisibles en cuanto a su propia magnitud."²³ Con esta argumentación justifica la individualidad del átomo

Lo anterior indica que los cuerpos materiales pueden ser divisibles hasta cierto límite de donde se afirma la existencia de cuerpos atómicos, existencia que pone en conflicto las ciencias matemáticas y las opiniones sobre fenómenos sensibles como es el caso del movimiento y el tiempo.

Los átomos para Leucipo y Demócrito, se desplazan en el vacío y al encontrarse con otros entran en colisión. Algunos rebotan, otros se enlazan y se mantienen unidos formando un compuesto. Los átomos forman volúmenes visibles y perceptibles, por agregación que en movimiento en el vacío las hace ponerse en contigüidad sin que por ello constituyan una naturaleza única, esto es, nunca dejan de ser átomos independientes y entre ellos siempre existe un intervalo de separación.

Para los atomistas los átomos se mueven en el universo arremolinándose con lo que generan todos los compuestos, fuego, agua, aire, tierra que también están compuestos de átomos. Conforme a las diferencias de las figuras, de la posición y del orden de los átomos se generan todas las cosas, los cuerpos fríos y los

²¹ Poratti A , y Eggers Lan C , (1997) *Ibid* , p 204 No 349

²² Poratti A , y Eggers Lan C , (1997) *Ibid* , p 214 Nota la pie 88

²³ Poratti A , y Eggers Lan C , (1997) *Ibid* , p 90 No 375

acuosos, los brillantes y los opacos. Todo se forma a partir de la agregación y disgregación de los cuerpos indivisibles. En el caso particular de una mezcla "Demócrito piensa que la denominada mezcla se produce por yuxtaposición de los cuerpos, porque las <sustancias> mezcladas están divididas en pequeñas partes y producen la mezcla por la posición recíproca <de las pequeñas partes>; afirma que, en verdad, en un principio no existen ciertas cosas mezcladas, sino que lo que parece ser una mezcla es una yuxtaposición de cuerpos en pequeñas partes, cada una de las cuales conserva su naturaleza propia que poseía antes de la mezcla; ellas presentan la apariencia de una mezcla debido a que la sensación, dada la pequeñez de las partes adosadas una a otra, no puede percibir ninguna de ellas aislada de las demás"²⁴

Con la postulación de los átomos y el vacío se da salida al problema planteado por el eleatismo. La apariencia cualitativa es resultado del orden y de la posición de los átomos y la generación y corrupción son explicados por la agregación y disgregación de ellos.

Sobre el movimiento, Leucipo y Demócrito, expresan la existencia del movimiento natural y aquel que se produce por una colisión al que consideran como violento, sin embargo, nunca explican la presencia del movimiento natural hecho que Aristóteles les critica. Sin embargo, esta crítica no resulta pertinente, ya que el movimiento es inherente al átomo mismo, esto es, no parte del reposo sino que está siempre con movimiento. El movimiento es necesario, tanto como los átomos y el vacío.

Si para Demócrito los átomos no tenían peso y no habían ni arriba, ni abajo, ni en medio en el seno del vacío ¿cómo concebía el movimiento de los átomos? Aristóteles en el *De Anima* atribuye a Demócrito una comparación entre los movimientos de los átomos del alma y los de las partículas de polvo que se perciben en un rayo de sol, es posible que de esta forma concibiera el movimiento original de los átomos. Sea cual fuere la forma de movimiento llegaría el momento en que los átomos estarían en colisión y los que tenían formas irregulares se trabarían con otros formando agrupaciones. De esta forma se origina el torbellino y para cada mundo empieza el proceso de su formación.

En los textos de Leucipo y Demócrito se menciona la asignación de peso en los átomos y sus consecuencias en el movimiento. Al respecto se encuentra que "decían que [los átomos], movidos por su propio peso, se desplazan por el vacío, que cede a su paso sin ofrecerles resistencia. Decían, en efecto, que ellos se agitan; y éste no es sólo el primero sino el único cambio que atribuían a los elementos, reservando los restantes cambios a los compuestos formados por los elementos: crecer y disminuir, alterarse y generarse y corromperse resultan,

²⁴ Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Ibid*, p 228 No 407

según ellos afirman, de la agregación y disgregación de los cuerpos primarios”²⁵. Para Demócrito los cuerpos son más pesados de acuerdo a su magnitud y tamaño, cuanto más grande es un átomo, más pesado es. Por lo que los átomos poseen peso y éste depende del tamaño. Sin embargo, el peso nada tiene que ver con el movimiento de los átomos. Para Epicuro, sin embargo, el peso es necesario para que los átomos se muevan. Mientras para Demócrito los átomos están dotados de un movimiento impulsivo a lo que llama choque para Epicuro los átomos poseen fuerza de gravedad y peso. Para Epicuro, todos los átomos caen con la misma velocidad, sea cual sea su peso y de forma paralela, esto es, sin encontrarse. Para explicar las colisiones y agregaciones dice que algunos átomos se desvían y caen oblicuamente

Para explicar la existencia de distintas sustancias Demócrito considera que algunos átomos son más livianos que otros, éstos son empujados hacia fuera por los más pesados que se depositan. El peso hace que los átomos se muevan siempre hacia el centro y no hay mayor aclaración sobre a qué se refiere como centro y bien como había mencionado que no existe en el vacío ni arriba ni abajo, esto puede considerarse como una generalización en referencia hacia la caída de los cuerpos, hecho que era parte de la observación cotidiana.

Sobre los elementos Demócrito dice “Los átomos ... se desplazan en el universo arremolinándose y de este modo generan todos los compuestos, fuego, agua, aire, tierra; pues también éstos son compuestos de ciertos y determinados átomos”²⁶. Los átomos de fuego son redondos mientras que los del aire, agua y tierra se les distingue por su grandeza o pequeñez. Para Leucipo las partículas más sutiles se subieron y formaron el fuego y el aire mientras que las más sólidas bajaron y dieron lugar al agua y la tierra. Para los atomistas la referencia a los cuatro elementos tierra, agua, aire y fuego se fundamenta en la importancia que tiene para los pensadores griegos como Empédocles y no por considerarlas como sustancias fundamentales de todos los cuerpos visibles, ya que no es posible que de un infinito de átomos resultaran tan sólo cuatro elementos visibles y fundamentales.

Un opositor de la escuela de Demócrito fue Aristóteles cuya influencia, en el pensamiento de la Edad Media, forma parte del desarrollo de las ideas de la física. Para Aristóteles la estructura de la materia es continua por lo que no hay cabida a la múltiple divisibilidad de la materia presentada por la escuela atomista

²⁵ Poratti A , y Eggers Lan C , (1997) *Ibid* , p 230 No 412

²⁶ Poratti A , y Eggers Lan C , (1997) *Ibid* , p 255 No 471

1.1.2 Aristóteles

Aristóteles encontró sus planteamientos más importantes en sus predecesores, particularmente en la filosofía de Platón. La obra de Aristóteles culmina el desarrollo de la filosofía presocrática y es tan vasta que rebasa los objetivos de esta revisión, que esta sección, se centrará en los aspectos relacionados con la estructura de la materia. La visión de Aristóteles es antiatomista ya que critica y difiere en algunos aspectos con los atomistas. Los aspectos de antagonismo entre las teorías son: la concepción de materia, la continuidad de la materia, la fuente del conocimiento y la aceptación de la existencia del vacío. Todos estos elementos son tratados en la física, la metafísica, el tratado del cielo y la meteorología.

Para Aristóteles la fuente del conocimiento reside en los sentidos, el mundo es lo que percibimos esto es vemos, sentimos, tocamos. Esta posición lleva a una concepción del mundo de cualidades, las cuales constituyen la realidad, que se opone a la presentada por los atomistas que niegan el testimonio de los sentidos y los reemplazan por una realidad exclusivamente cuantitativa.

Las dos obras en las que se menciona a la materia y su conceptualización son la física y la metafísica. La física es la ciencia de los principios más generales para el estudio de la naturaleza. Como todo el pensamiento griego el conocimiento forma parte de un todo que comprende al ser humano integrado en el mundo y la física de Aristóteles no es la excepción, así pues, ésta se encuentra íntimamente ligada a una determinada cosmología, en la que la Tierra y los cuerpos celestes ocupan un lugar central. La inmovilidad de la Tierra y su ubicación en el centro del mundo se articula con las doctrinas fundamentales de su física, tales como la estructura del universo, la teoría de los movimientos naturales, la distinción entre un arriba y un abajo cósmico o la teoría de los elementos.

Para Aristóteles el centro de atención está en el estudio del movimiento, es por ello, que la Física lo tiene como centro temático. "La física es el estudio de lo físico según sus manifestaciones empíricas. Lo físico será entonces el fundamento entitativo de las apariencias, a la vez que su razón explicativa. Este estudio del movimiento así enfocado significa la superación del dualismo parmenídeo Apariencia/Verdad, en cuanto toma los movimientos sensibles en toda su diversidad como manifestaciones de la *phýsis ton onton*"²⁷. Aristóteles hizo suyo el enfoque de que la Naturaleza o Ser no es algo realmente distinto de las cosas, sino lo que las constituye internamente. Admite la existencia de una materia primicia que es lo que hace que las cosas sean, pero se conocen por su forma. Distingue en la naturaleza dos características la materia y la forma. Por ejemplo, una cama está formada de madera que es de lo que está hecha, mientras que la forma es aquello que la hace ser cama, esto último es lo que considera un

²⁷ Aristóteles, (1995) *Física* Biblioteca clásica Gredos, 203 Madrid: Editorial Gredos p 9

accidente de la sustancia, tan sólo la madera es Naturaleza. “Así, en un sentido se llama naturaleza a la materia primera que subyace en cada cosa que tenga en sí misma un principio del movimiento y del cambio. Pero, en otro sentido, es la forma o la especie según la definición.”²⁸ Para Aristóteles la materia es indeterminada y sólo cognoscible a través de la forma.

La oposición con el atomismo en este punto se hace patente, Aristóteles considera como principios de la Naturaleza a la materia y la forma y aun más la forma porque “una cosa es lo que es cuando existe actualmente más que cuando existe en potencia”.²⁹ La teoría de la potencia y el acto permiten explicar el cambio y esclarecer la diferencia que existe entre materia y forma de una cosa. La materia es potencia que le permitirá al objeto llegar a ser, mientras que la forma será el acto.

El movimiento es objeto de estudio de la física ya que “el movimiento es un cambio de la potencia al acto, un cambio que emerge de las *dynámeis* de una sustancia compuesta de materia y forma, lo cual supone siempre una dualidad: lo que se mueve y lo que es movido”.³⁰ Para Aristóteles la Naturaleza es un principio de movimiento y cambio. El movimiento sólo puede persistir si existe contacto con el agente del movimiento.

Con su teoría del movimiento quiso superar la doctrina de Platón sobre el alma como origen de todo movimiento natural. Él es el fundador de la Física como ciencia de las cosas naturales y el que reconoció la importancia del estudio del movimiento, “movimiento y cambio son los fenómenos básicos de la naturaleza; quien no entiende estos fenómenos, no entiende a la naturaleza”.³¹ tiempo después Galileo y Newton mostrarían la importancia del estudio del movimiento como fundamento estructural de la física actual.

En el estudio de los conceptos fundamentales de la física de Aristóteles no puede faltar la mención de lo que considera las cuatro causas que son origen de todas las cosas y de todos los cambios, dos de ellas son de carácter interno, identificadas como principios y son la materia y la forma. Las dos causas restantes son causas complementarias: el agente del movimiento y la causa final que implica la razón de las cosas. La noción de causa final refleja la visión del mundo en la que se incluyen los seres vivos como una intención racional que lleva al mundo hacia el bien.

Uno de los axiomas básicos de la física aristotélica es la definición de un continuo es decir, lo que es esencialmente divisible no puede estar formado de indivisibles

²⁸ Aristóteles (1995) *Ibid*, p. 133

²⁹ Aristóteles (1995) *Ibid*, p. 135

³⁰ Aristóteles (1995). *Ibid*, p. 130 Nota 5

³¹ Düring I, (1987) *Op cit*, p. 468

ya que los indivisibles no pueden estar contiguos. Otro aspecto que resulta en oposición con los atomistas es la suposición de la imposibilidad de la discontinuidad de la materia ya que aceptarla suprime el concepto de movimiento, así como en el concepto de unión entre puntos contiguos. La magnitud, el tiempo y el movimiento, o son para Aristóteles todos continuos o ninguno en absoluto.

Aristóteles afirma que "Si el universo no fuese continuo sino que, como afirman Leucipo y Demócrito, estuviera compuesto por elementos separados por el vacío, todos los elementos tendrían, necesariamente, un único movimiento"³², por lo que no pueden existir los átomos

La noción de partículas mínimas es distinta de la propuesta de Demócrito, para Aristóteles estas partículas tienen las mismas cualidades de los cuerpos, después de este límite la materia no podía dividirse más

Aristóteles estableció que en el vacío no hay distinción entre un arriba y un abajo por lo que se pregunta "¿hacia dónde se desplazará un cuerpo que haya sido introducido en él? ¿Cómo puede estar una cosa "en" un lugar o "en" un vacío? Porque eso no sucede cuando un cuerpo está puesto como un todo en un lugar separado y permanente, pues una parte es suya, si no está puesta separadamente, no estará en un lugar, sino en el todo. Además, si no existe un lugar separado, tampoco existirá tal vacío."³³

En alusión directa hacia los atomistas, Aristóteles, niega la necesidad de que el vacío exista, para que haya movimiento: "... ninguna cosa singular podría moverse si existiera el vacío. Porque así como algunos afirman que la tierra está en reposo por su homogeneidad, así también en el vacío sería inevitable que un cuerpo estuviese en reposo, pues no había un más o un menos hacia el cual se moviesen las cosas, ya que en el vacío como tal no hay diferencias."³⁴

Para Aristóteles el movimiento sólo puede ser violento o natural. La pregunta que se hace Aristóteles es "¿cómo podría haber un movimiento natural si no hay ninguna diferencia en el vacío y en el infinito? Porque en el infinito, en tanto infinito, no hay arriba ni abajo ni centro, y en el vacío, en tanto que vacío, el arriba no difiere en nada del abajo ... Pero el desplazamiento natural es diferenciado, de manera que habrá diferencias en las cosas que son por naturaleza. Así pues, o no hay ningún desplazamiento natural en ninguna parte y para ninguna cosa, o si la hay, el vacío no existe."³⁵

³² Poratti A., y Eggers Lan C., (1997) *Op cit* p 223 No 391

³³ Aristóteles (1995) *Op cit*, P 252

³⁴ Aristóteles (1995) *Ibid* p 253

³⁵ Aristóteles (1995) *Ibid*, p 254

Para Aristóteles el movimiento no puede existir en el vacío, ya que la velocidad de un objeto en él sería infinita lo que es imposible e implicaría suponer un movimiento sin tiempo. Lo anterior resulta de considerar que la velocidad de un cuerpo es inversamente proporcional a la resistencia del medio. Por tanto el vacío estaba en contra del estado de movimiento y de reposo.

Los defensores del vacío objetaban que si éste no existiera los objetos no podrían comprimirse ni expandirse y que además su existencia no podía separarse de los cuerpos. Por el contrario, dice Aristóteles, si el vacío existiera en los cuerpos éstos serían siempre más ligeros y subirían, cosa que no sucede para todos ellos, como por ejemplo los de hierro y plomo

Las implicaciones de la inexistencia del vacío llevaron a la negación de la existencia de átomos, y a reafirmar la visión continua de la materia ya que: "Si la continuidad, el contacto y la sucesión son tales como los hemos definido antes. ... entonces es imposible que algo continuo esté hecho de indivisibles, como, por ejemplo, que una línea esté hecha de puntos, si damos por supuesto que la línea es un continuo y el punto un indivisible. Porque ni los extremos de los puntos pueden ser uno, ya que en un indivisible no puede haber un extremo que sea distinto de otra parte, ni tampoco pueden estar juntos, pues lo que no tiene partes no puede tener extremos, ya que un extremo es distinto de aquello de lo cual es extremo."³⁶

La doctrina de Aristóteles sobre la estructura de las cosas, afirma que existe el material primario que es la materia prima de los escolásticos, el sustrato lógico, que nunca existe separadamente sino sólo en unión con una forma o propiedad, un cuerpo perceptible incluso sólo de acuerdo a un principio (*arché*).

Los cuerpos no constan solamente de elementos (materia) sino de forma. Los cuerpos y tejidos homogéneos "se juntan" y forman las cosas sensibles. Generarse y perecer forman un proceso infinito, un ciclo que puede ser comparado con la eterna revolución de las estrellas fijas lo que explicaría porque la materia nunca se consume.

En cuanto a los elementos de los que está compuesta la naturaleza Aristóteles adopta la teoría de Empédocles de los cuatro elementos, que presentaba una predisposición natural a moverse en ciertas direcciones a las que consideraba como lugares naturales. Por ejemplo, para el fuego y el aire lo natural era subir mientras que para la tierra y el agua lo natural era caer. El otro movimiento que existía era el circular y continuo, propio de los cuerpos celestes. Si el vacío existiera no habría movimiento natural en los elementos ya que en él no hay direcciones

³⁶ Aristóteles, (1995) *Ibid*, p. 336

De acuerdo con la importancia de las cualidades para Aristóteles la materia se actualiza en función de sus potencialidades, establece la existencia de cuatro cualidades primordiales íntimamente relacionadas con los cuatro elementos de Empédocles. Estas cualidades primarias son: caliente-frío (cualidades activas) y seco-húmedo (cualidades pasivas) mismas que pueden considerarse en cuatro combinaciones posibles caliente-seco, caliente-húmedo, frío-seco y frío-húmedo "Yo afirmo, por el contrario, que existe una (*hylé*) de los cuerpos físicos; que ésta nunca existe separadamente, sino que siempre está unida a uno de los contrarios, y que de esta unión se originan los cuatro elementos tradicionales"³⁷. Los cuatro elementos se determinan a partir de dos cualidades de la siguiente manera:

frío + seco = Tierra
 frío + húmedo = Agua
 caliente + húmedo = Aire
 caliente + seco = Fuego

Esta visión fue adoptada en la Edad Media por los escolásticos. Una representación de ella se muestra en la figura 1.2.

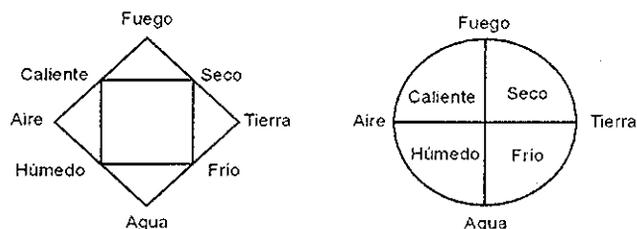


Figura 1.2. Relación entre los elementos y sus cualidades de acuerdo a Aristóteles³⁸

Los elementos se transforman unos en otros; todos pueden convertirse en los otros, pues toda transformación tiene lugar entre contrarios. Los elementos vecinos se convierten con más facilidad, pues para ello sólo se necesita que una propiedad se transforme. "Por ello es manifiesto que la generación, es decir, la conversión de los elementos unos en otros, se realiza con la mayor facilidad en la serie tradicional de los elementos, y constituye un ciclo: fuego se convierte en aire, aire en agua, agua en tierra y tierra nuevamente en fuego"³⁹.

³⁷ Düring, (1987) *Op cit.*, p 587

³⁸ Tomada de Pullman Bernard, (1998) *Op cit.*, p 63

³⁹ Düring, (1987) *Op cit.*, p 588



“Cuando consideramos la génesis de materias nuevas y las transformaciones físicas, vemos que calor y frío obran como fuerzas activas y determinan el resultado. Si están presentes en la proporción adecuada, hacen a las materias líquidas o sólidas, duras o blandas, y producen nuevas materias homogéneas, al establecer la proporción correcta. Vemos sus efectos en animales y plantas, en los que toda transformación natural es obra de esas fuerzas: generarse, crecer y perecer. El perecer natural es como un tránsito a la corrupción, un decaimiento del calor propio y de la humedad que se hallan en la materia; por eso, todo lo que se va pudriendo se hace cada vez más seco y, al final, es tierra y excremento. En el frío la corrupción se realiza con más lentitud, porque el frío de la materia es mayor que el calor del aire. Lo que rige en general, es que aquella fuerza que es más poderosa logra la supremacía”⁴⁰.

De esta manera Aristóteles explica todas las transformaciones que ocurrían en el mundo. En donde la mayoría de estas transformaciones, combinaciones y separación de elementos van más allá de las simples permutaciones propuestas por él. Aristóteles, vio la necesidad de distinguir entre una simple mezcla de elementos a manera de reunión de partículas y una mezcla interna en la que los elementos constituyentes se convirtieran en nuevas entidades. De hecho establece que los procesos físicos o de génesis son la generación (*metabolé*) y la transformación (*meixis*), que nos lleva a una noción de mezcla o composición química.

Aristóteles adoptó los cuatro elementos de Empédocles para explicar lo que ocurre en la Tierra, sin embargo, para los cuerpos celestes postuló la existencia de un quinto elemento llamado éter. El argumento a favor de su existencia está relacionado con el movimiento natural de los cuerpos. Los cuerpos celestes tienen un movimiento circular continuo que no tiene nada en común con el movimiento natural de los cuerpos en la Tierra. Este quinto elemento no podía ser transmutado en ninguno de los cuatro primeros. Consecuentemente los principios estructurales y dinámicos eran diferentes para los cuerpos celestes que para los terrestres.

1.2 La Edad Media

Este periodo de la historia del pensamiento humano duró 15 siglos, en el cual el atomismo permaneció oculto. Tan sólo algunos filósofos retomaron las ideas atómicas de los griegos hacia finales de este periodo. El pensamiento lógico, mecánico y físico predominante en los monasterios (lugar en donde se tenía acceso a los documentos griegos) fue el de Aristóteles, fortalecido por el pensamiento religioso de Santo Tomás de Aquino y San Agustín.

⁴⁰ Düring, (1987) *Ibid.*, p. 593

A principios del siglo XIII con la infiltración de los clásicos griegos y de las obras de los árabes, el pensamiento occidental empezó su transformación. Las universidades de Bolonia, París, Montpellier, Oxford y otras dieron impulso a las primeras investigaciones con las cuales la filosofía y con ella la ciencia iniciaron su separación de la teología. Dentro de este ambiente se encuentra Rogerio Bacon (1214-1294), formado bajo la influencia del matemático Adam Marsh y del físico Roberto Grosseteste. Bacon dedicó sus estudios principalmente a la óptica y fue el primero en concebir, en su Opus Majus, a la gravedad como una atracción hacia el centro de la tierra, es también el primero en explicar el calor como un movimiento que tiene su causa en el interior de los cuerpos.

Pocos filósofos, durante este periodo, se interesaron en las ideas atomistas. Pullman los dividió de acuerdo con su interés en: cronistas, simpatizantes y defensores.

El interés de los cronistas es el de un historiador. Su propósito es catalogar los hechos. Dentro de esta categoría se encuentran Isidoro de Sevilla (560-636), Bede el Venerable (672-735), Rhabanus Maur (784-856) y Vincent de Beauvais (1190-1264) todos ellos ministros de la iglesia.

Entre los simpatizantes se encuentran Abelardo de Bath (1150-?), que tradujo del árabe los textos científicos de los griegos y contribuyó en recuperar el interés en el pensamiento científico antiguo. Defendió la teoría de los cuatro elementos como lo hacían la mayoría de los filósofos de la Edad Media, sin embargo, consideró la posibilidad de la existencia de los átomos. Otro simpatizante fue Thierry of Chartres (1150-?), que también revivió los escritos antiguos tratando de hacer una síntesis entre el contenido científico y la materia de su fe. Defensor de la teoría de los cuatro elementos consideró que la estructura interna de los mismos debía ser de tipo corpuscular.

En el grupo de los defensores se encuentra Constantino de Africa (s. XII) quien tradujo muchos escritos árabes, judíos y griegos y explícitamente definió a los átomos como constituyentes fundamentales de las sustancias. Hacia finales de la Edad Media Thierry de Chartres y Guillermo de Conches (1080-1154) tomaron una posición proatomista, rechazaron la teoría de los cuatro elementos y la sustituyeron por la atomista en la que todo está formado por pequeñas partículas consideradas como primeros principios. Estas partículas son el material que por yuxtaposición forman todas las cosas del mundo y producen las cualidades sensibles. Otro defensor de la teoría atómica fue Gilbert de la Porré (1080-1154) quien consideró que éstas partículas eran formadas por los cuatro elementos.

Guillermo de Ockham (1300-1350) dio nuevo ímpetu a la causa atomista. Fue un gran crítico de la teoría de Aristóteles sobre la materia y la forma. Para Ockham las cualidades que percibimos de la materia son el resultado de la combinación de partículas elementales. De manera similar Nicolás de Autrecourt (1300-1350)

defendió la teoría atómica. Asumió las propuestas de los atomistas griegos al considerar que la materia es eterna y compuesta de átomos invisibles que se encuentran en continuo movimiento y que son la causa de que se asocien o disocien lo que produce la generación y destrucción de las sustancias, también, las cualidades sensibles de los cuerpos son resultado del arreglo y movimiento de sus átomos.

1.2.1 El conocimiento atómico de los árabes

La ciencia griega fue asimilada por los árabes quienes preocupados tanto por una conquista por las armas como por las letras construyeron en Bagdad y en Córdoba dos grandes bibliotecas que dieron acogida a los textos de los griegos y a la contribución de pensadores árabes. La figura más importante de la ciencia árabe es Al-Hazan Ibn Al-Haitam de Basora, el Al-Hazen (965-1038). Su obra principal se encuentra en los estudios sobre problemas ópticos.

La teoría atómica sin embargo no permaneció excluida del interés de los árabes. "Una de las metas del atomismo griego fue hacer libre al hombre del miedo inspirado por los misterios del cosmos y de poderes invisibles. Su método mostró que los fenómenos podían explicarse en términos de una física mecanicista que involucrara solamente los principios materiales y sus interacciones, sin ninguna interferencia de los caprichos de los dioses. En contraste el atomismo árabe afirma la omnipresencia y absoluta libertad de Dios, quien es soberano de la creación y controla todos los sucesos. Este control es permanente y eterno, pero discontinuo tanto como la materia y el tiempo son discontinuos"⁴¹

El atomismo árabe es decididamente religioso y el concepto de indivisible es utilizado para reforzar la doctrina del Islam. La doctrina atómica árabe está expresada en el Kalam. Maimonides describe el atomismo a través de un conjunto de doce proposiciones

1. El universo está compuesto de átomos, partículas minúsculas e indivisibles. No tienen propiedades cuantitativas como dimensiones o forma, adquieren tales propiedades uniéndose en combinaciones mínimas de dos y formando así el material de los cuerpos y sustancias.
2. El vacío existe.
3. El tiempo es discontinuo y se compone de instantes.
4. Los accidentes son ideas nuevas que se suman a la sustancia. Ningún material existe sin ellas.
5. En cada átomo residen inherentemente los accidentes, ningún átomo puede separarse de ellos. Esta aseveración abarca a los accidentes tanto de los objetos inertes como de los vivientes.

⁴¹ Pullman, (1998) *Op. cit.*, p. 107

6. Un accidente que no permanece por al menos dos instantes desaparece y no permanece. De esta manera Dios puede crear y desaparecer sustancias. Todo el universo y el material de los cuerpos persisten gracias a la acción continua de Dios.
7. La privación de las capacidades son accidentes que tienen existencia real por lo que deben ser perpetuamente creadas o recreadas. En este sentido la muerte, por ejemplo, no es una privación de la vida sino un accidente de ella.
8. Las formas físicas son accidentes también. Todos los cuerpos están formados de átomos idénticos que difieren tan sólo en sus accidentes.
9. Los accidentes no se sustentan unos a otros sino por la sustancia misma. Esto implica que un accidente no requiere de uno previo.
10. Todo aquello que puede ser imaginado puede ser admitido por la razón.
11. La posibilidad de un universo infinito se rechaza en cualquier forma.
12. Los sentidos no siempre dan certeza.

Estas doce proposiciones constituyen la visión del mundo a partir de la cual se derivan todos los argumentos teológicos y cosmológicos del pensamiento árabe.

Averroës (1126-1198) seguidor de las ideas de Aristóteles no se oponía a lo expresado en el Kalam defendía el concepto de partículas mínimas de Aristóteles a las que llamaba *minima naturalia*, mismas que eran específicas, cualitativas y cuantitativas de cada sustancia y constituyentes de ella a manera de bloques. Estas partículas eran las mínimas indispensables para ejercer las acciones específicas. Estos mismos conceptos fueron desarrollados por Siger de Brabant (1240-1284), Agostino Nifo (1473-1546), Francis Toletus (1532-1596) y Giacomo Zarabella (1532-1589). Todos ellos veían a estas partículas mínimas como agentes directamente implicados en las reacciones químicas. Las interacciones entre estas partículas mínimas se presentaban a través de una yuxtaposición de ellas y que unidas dan origen a entidades que podían interactuar con otras partículas mínimas.

1.3 Del Renacimiento al Siglo XVIII

Durante el renacimiento las antiguas doctrinas atomistas volvieron a estar en el centro de la discusión y a ser atacadas por teorías anti-atomistas. Para facilitar una visión del tiempo en que vivieron los físicos y filósofos que intervinieron en la discusión de la teoría atomista en este tiempo se muestra la figura 1.3. La presentación de las teorías está de acuerdo a su adopción o no hacia la teoría atomista.

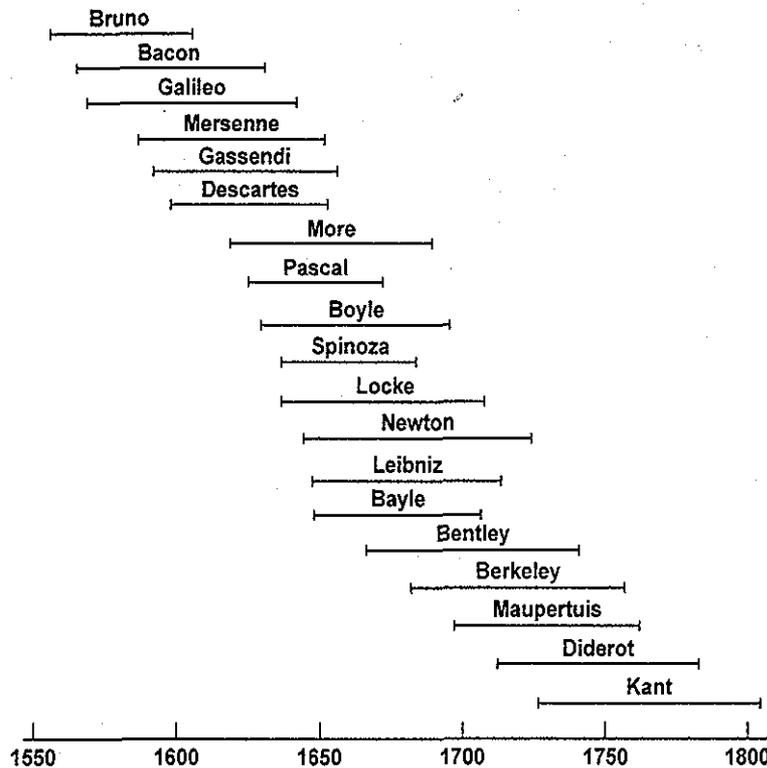


Figura 1 3 Diagrama que muestra el tiempo en que vivieron los pensadores que contribuyeron a favor o en contra de la teoría del átomo como constituyente de la materia ⁴²

1.3.1 Los atomistas de los siglos XVI- XVIII

Pedro Gassendi (1592-1655) revivió la vieja teoría de Epicuro, reconocía que muchas de las propiedades de los gases podían ser fácilmente explicadas por el movimiento de pequeñas partículas por las cuales estaban constituidos. Gassendi contemporáneo de Galileo, Descartes, Mersenne, y Pascal vivió la renovación intelectual del mundo.

Gassendi estaba convencido de la importancia de la doctrina de Epicuro y sostuvo la existencia de los átomos y el vacío como principios básicos en los cuales descansaba la estructura del mundo. La aceptación de la existencia del vacío resultó ser uno de los puntos de mayor controversia ante la posición aristotélica. Muchos filósofos y científicos de su época como Francis Bacon, Sébastien Basso, Jean Magnien, y Claude Blérigard no rechazaban la existencia del átomo pero si eran hostiles a aceptar la del vacío. Gassendi sin embargo, aceptó la existencia del vacío apoyado sin lugar a dudas por los resultados experimentales realizados

⁴² Tomada de Pullman (1998) *Ibid*, p 118



por Torricelli (1608-1647) y Blaise Pascal (1623-1662) acerca de la presión del aire.

Aceptar la existencia del vacío dio un golpe a la teoría de Aristóteles. Gassendi con ello cuestionó los fundamentos filosóficos del sistema aceptado de forma casi universal en este tiempo. Basándose en la teoría atómica de Epicuro consideró que los átomos tenían tres propiedades intrínsecas: dimensión, forma y peso. Los átomos eran impenetrables, indivisibles e indestructibles. Aceptaba las cualidades perceptuales como el color, olor, etc., asociadas con la reunión de átomos. Rechazó el concepto de las cuatro cualidades primarias de Aristóteles que producían las cuatro sustancias primordiales: aire, tierra, fuego y agua. Consideraba a los átomos como corpúsculos reales si bien muy pequeños. La forma de los átomos correspondía a las cualidades de las sustancias, por ejemplo, los átomos puntiagudos formaban sustancias amargas o de especies, mientras que los átomos redondos formaban los fluidos y cuerpos maleables. Gassendi postuló la existencia de átomos específicamente asociados a cualidades sensoriales, así había átomos luminosos, átomos sonoros, átomos de calor y átomos de frío.

Gassendi creía que los cuerpos se formaban por un proceso de asociación entre átomos a las que explícitamente llamó moléculas. "Empezando con los átomos, ciertas moléculas se forman primero, diferentes unas de otras, las cuales son semillas de diferentes cosas; cada una de esas cosas está tejida y constituida de tal forma que no puede ser constituida por otras semillas"⁴³.

Gassendi aceptaba parte de la teoría de los antiguos atomistas principalmente la de Epicuro, sin embargo, consideraba que si bien el peso es directamente responsable del movimiento de los átomos y es una de sus propiedades inherentes e intrínsecas, el movimiento debía darse en todas direcciones lo que estaba de acuerdo con Demócrito y no con la teoría de la inclinación del camino de los átomos de Epicuro. Para los antiguos atomistas el número de átomos debía ser infinito, Gassendi, por el contrario, consideró que el número debía ser finito.

Una de sus principales contribuciones fue la defensa de la teoría atomista ante la visión atomista cristiana sostenida por la iglesia de Roma. Uno de los puntos de mayor controversia entre ambas visiones estaba alrededor del dogma de la creación. Los atomistas postulaban que los átomos eran eternos y no creados lo que contradecía las enseñanzas bíblicas de la creación. Como creyente que era, Gassendi rechazó la eternidad de los átomos y afirmó que todos debían tener un principio. El movimiento de los átomos era establecido por Dios, por lo que no aceptaba la visión mecanicista de los atomistas en el que el mundo se gobierna por colisiones e interacciones de los átomos al azar.

⁴³ Pullman, (1998) *Ibid*, p. 120.

Gassendi atribuía a los corpúsculos elementales propiedades espaciales, de solidez, forma y movimiento, sin embargo, rechazaba que los átomos estuvieran relacionados con cualidades relacionadas con la vida, sentimientos y el pensamiento. Declaró que Dios es el creador de los átomos y de las sustancias inmateriales y responsable de estas cualidades.

Galileo Galilei (1564-1642), reconocido como uno de los primeros científicos del siglo XVI cuestionó las teorías geocéntricas y apoyado en los trabajos de Nicolás Copérnico construyó los principios metodológicos de la nueva ciencia. Galileo adoptó la visión atomista de Demócrito y Epicuro y rechazó como sus predecesores la teoría de Aristóteles.

Contrariamente a la doctrina de Aristóteles en la que las cualidades sensibles son reales y se consideran unidas a las sustancias, Galileo las consideró como el resultado de la asociación y movimiento de los átomos pero negaba su existencia real. Su atomismo es tan sólo una faceta más de su matematización del mundo. Para él, las matemáticas no tan solo es un lenguaje o una herramienta sino una forma de entender la naturaleza. Por ello es que Galileo impone las matemáticas a los átomos.

Giordano Bruno (1548-1600), otro defensor de la teoría atomista explícitamente de Demócrito y Epicuro, aceptaba la existencia de los átomos y del vacío al que pensaba lleno de éter. Bruno al igual que Galileo partía de que la naturaleza tiene una sola esencia y está formada de la misma materia en todas partes.

Bruno adoptó la teoría atomista pero no su concepción materialista y mecánica. Pensaba que los caracteres o letras geométricas (triángulos, cuadrados, etc.) representaban los corpúsculos microscópicos de los diferentes elementos formados por los átomos. Asignaba una espiritualidad a los átomos al atribuirles alma, como una manifestación del alma del universo. Rechazaba también la proposición de un movimiento caótico y de colisiones azarosas: "Los átomos, estimulados desde dentro, no se combinan azarosamente o de forma desordenada, sino de acuerdo a una organización seguirán incrementando la complejidad y perfección de las estructuras"⁴⁴

Existe una analogía entre la cosmología de Bruno y la de los antiguos atomistas en tanto su visión dinámica del universo como una continua reorganización. En el siguiente pasaje hace mención específica a Demócrito y Epicuro: "No existen finales, límites o barreras que impidan o arresten la infinita abundancia de cosas..... La materia nueva abundante es generada por una infinidad eternamente. Demócrito y Epicuro quienes quieren que todo sea renovado y reconstruido por el infinito, entienden esas cosas mejor que aquellos que insisten en decir que la

⁴⁴ Pullman, (1998). *Ibid*, p 133

sustancia del universo es eterna sobre la base de nuevas [partículas], siempre sucede que las viejas partes se convierten en otras partes iguales”⁴⁵

Newton (1642-1727) tomando las ideas de Gassendi escribió en su *Óptica* “...me parece probable que Dios en el principio formó la materia sólida, de partículas sólidas, duras, impenetrables y en movimiento... y estas primitivas partículas son sólidas, son incomparablemente más duras que los cuerpos porosos que los componen; aun si son duros, como nunca pueden usarse o romperse en pedazos; ya que ninguna fuerza ordinaria puede dividir lo que Dios ha creado al principio de la creación. Mientras las partículas permanezcan enteras, ellas constituirán los cuerpos de una y de la misma naturaleza y textura en todas las edades; pero si se consumen o rompen en pedazos, la naturaleza de las cosas dependiente de ellas cambiará. Agua y tierra, compuesta de viejas, gastadas y fragmentadas partículas, no serán de la misma naturaleza y textura ahora, con agua y tierra compuesta de partículas enteras en el principio. Por lo tanto, la naturaleza finalmente, los cambios de las cosas corpóreas serán reemplazadas por varias separaciones y nuevas asociaciones y movimientos de esas partículas permanentes; los cuerpos compuestos podrán romperse, no en partículas sólidas de polvo, sino en aquellas partículas que permanecen juntas y que se tocan en pocos puntos.”⁴⁶

Las propiedades que Newton atribuye a las partículas fundamentales son muy parecidas a las de los antiguos atomistas griegos. Sin embargo, él añade a las partículas una nueva propiedad, la inercia. La inercia de Newton es una fuerza pasiva ya que la materia misma no puede tener movimiento, si no es a través de una agente externo. Newton aceptó la existencia del vacío y piensa que entre las estrellas debe haber una sustancia a la que designa como éter. El éter se encuentra muy rarificado y puede tener una estructura granular con espacios vacíos entre sus finas partículas, de esta manera acepta los dos principios básicos de los atomistas griegos que son la estructura corpuscular de la materia y la existencia del vacío.

La contribución más significativa de Newton hacia la teoría atómica fue la unificación del mundo celestial y terrestre, y del mundo macroscópico y microscópico a través de la ley de gravitación universal. Al establecer que cualquiera dos cuerpos materiales se atraen uno a otro con una fuerza proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación que hay entre ellos, se establece un mecanismo, que se eleva al nivel de una ley, que se aplica de igual manera en cualquier ámbito.

Pullman establece algunas anotaciones en relación con la ley de gravitación:

⁴⁵ Pullman, (1998) *Ibid.*, p 134

⁴⁶ Pullman, (1998) *Ibid.*, p 136

- Newton no consideró a la gravedad como una propiedad inmanente o intrínseca al material de los cuerpos o partículas, esto es, la consideró independiente de su forma o inercia. Esta acción se hace independiente del medio, por lo que se presentará aun en el vacío.
- Si bien la ley de gravitación describe satisfactoriamente el comportamiento de los objetos en el mundo macroscópico, Newton no estaba convencido que fuera igualmente aplicable al nivel de las partículas elementales. Admitía que otro tipo de fuerzas actuaría entre dichas partículas. Esto seguramente surgía al reconocer la existencia de fuerzas de atracción y repulsión magnéticas y eléctricas.
- La introducción de fuerzas atractivas en el dominio micro-corpúscular eliminó ciertas descripciones materialistas sobre el origen de las interacciones interatómicas. Con el establecimiento de las fuerzas la forma de los átomos dejó de ser un factor decisivo como lo había sido para explicar la unión y separación entre partículas en la doctrina atomista de Demócrito y Epicuro.

La ley de gravitación dio una solución global y definitiva al problema de atracción de los corpúsculos. Sin embargo, no explicaba aun las características esenciales de las interacciones responsables de la formación de la gran variedad de cuerpos materiales que constituyen el mundo. Newton, no abordó el problema de los volúmenes diferentes, la forma de las partículas y las sustancias que podían formarse de una variedad de asociaciones. Al respecto Laplace (1749-1827) dice: "Las afinidades dependen de la forma y la asociación de las moléculas y de sus posiciones relativas, y a través de la variedad de formas, se puede explicar toda la variedad de fuerzas atractivas y por tanto reducir a una sola ley general todos los fenómenos de la física y la astronomía. Pero la imposibilidad de conocer las formas de las moléculas y de su distancia de separación hacen vagas e inútiles esas explicaciones para el progreso de las ciencias."⁴⁷

Para Newton los elementos químicos tienen características propias en el cual los átomos se forman por un arreglo de partículas que son características de cada elemento y estas partículas se forman por agregación. Todos los elementos químicos son estructuras de compuestos diferenciados de los últimos átomos. Los átomos se mantienen unidos por fuerzas entre partículas que presentan ciertas afinidades.

En su *Principia*, Newton establece el paradigma de la ciencia matemática de la mecánica racional y en ella expresa su esperanza de que todos los fenómenos físicos puedan ser entendidos bajo métodos matemáticos, mismos que constituyen la revolución en las matemáticas del siglo XVI y XVII; sin embargo, el tratamiento que se observa en la Óptica tiene una visión diferente, llegando a ser especulativo sobre los problemas de la óptica y la química, basados en una

⁴⁷ Pullman, (1998) *Ibid*, p 140

metodología experimental y en una estructura teórica especulativa que es la física atómica que llegará a incluir una variedad de agentes, fuerzas, principios y al éter

Roberto Boyle (1627-1691) fue también defensor de la teoría atomista en Inglaterra, empezó sus estudios sistemáticos sobre el aire en 1658, después de revisar los trabajos de Von Guericke, físico alemán que había logrado inventar una bomba de aire cuatro años antes. En los inicios Boyle deseaba analizar la cantidad de la elasticidad del aire no de manera cualitativa sino de acuerdo a las nociones filosóficas que rodeaban el resorte del aire. Utilizando tubos en J y comprimiendo el aire bajo la presión de cierta cantidad de mercurio específica, Boyle dedujo su ley que establece que la presión y el volumen son inversamente proporcionales en relación con cierta cantidad de gas. Esta ley es una idealización del comportamiento de los gases y tuvo un papel importante en el desarrollo de la teoría atómica.

Poco después de sus experimentos sobre la presión del aire, Boyle escribía que la materia está compuesta de partículas sólidas arregladas como moléculas de un cierto material con diferentes propiedades. Explicaba que todas las cosas estaban formadas de materia común y que diferían en la forma, tamaño, movimiento o reposo y textura. La materia está constituida por dos ingredientes que son las partículas sólidas elásticas y el vacío. Por la imposibilidad de comprobar su existencia esta hipótesis tuvo que esperar muchos años antes de que pudiera ser considerada como posible.

Boyle rechazó el concepto de elemento como las cuatro sustancias primarias de Empédocles argumentando que ninguna de ellas podía ser considerada como elementos fundamentales constituyentes de los cuerpos, sin embargo no tenía certeza de cuáles eran esas sustancias fundamentales. Boyle llamó filosofía corpuscular a su concepción de estructura de la materia. En su visión las partículas fundamentales, creadas por Dios, como materia primaria, tenían innumerables formas y se agregaban unas a otras y adquiriendo propiedades específicas a las que llamó "concreciones primarias". Estas partículas eran los elementos químicos y eran cuerpos simples y materiales cuya asociación daba lugar a los cuerpos compuestos. Estas concreciones primarias construían bloques que tomaban parte en la formación de las combinaciones químicas.

Las cualidades sensibles de los cuerpos materiales eran cualidades secundarias, y se relacionaban con los efectos de las propiedades primarias. Inherente a las partículas estaban la dimensión, forma, posición y movimiento. Rechazaba el concepto de movimiento innato, desordenado y de colisiones azarosas. Consideraba que el movimiento de los átomos no podía ser espontáneo y caótico sino dirigido por Dios cuyo plan debía ser el desarrollo de un universo armonioso.

Para Boyle las afinidades de los átomos en los cuerpos físicos era resultado de sus configuraciones espaciales lo que les permitía adherirse unas a otras. Esto

implicó aceptar que la forma influía como un elemento de unión y no las fuerzas atractivas propuestas por Newton.

Richar Bentley (1661-1742) ayudante del obispo de Worcester y maestro del Colegio de la Trinidad en Cambridge fue un ferviente atomista. Aceptaba que la materia está compuesta de átomos y vacío y apoyaba la teoría de Newton considerando que sólo los elementos materiales no eran suficientes para dar orden en el mundo.

Consideraba que el vacío era mucho mayor que la materia que existía, por ello, la teoría de Demócrito de carácter únicamente mecanicista y estadística le era insatisfactoria ya que la probabilidad de que se presentase una interacción era muy reducida para producir una evolución armoniosa y organizada como la que se percibe. Partía del supuesto de que los átomos se encontraban en el espacio sin ser totalmente independientes unos de otros al estar relacionados a través de la ley de gravitación de Newton.

John Locke (1632-1704) presentó en Ensayos de la Comprensión Humana (publicada en 1690) su teoría corpuscular de la materia que es una variante de la teoría atómica. Para Locke la raíz de nuestra comprensión se basa en dos tipos de ideas: las simples y las complejas. Dentro de las simples están las ideas de las sensaciones que son resultado de la impresión que producen los objetos externos en nuestros sentidos, tales como el calor, color, olor, etc.; y las ideas de reflexión derivadas de los procesos mentales tales como razonamiento, dudas, etc., lo que describe como sentido interno. Las ideas complejas, como la idea de sustancia, son resultado de la combinación de ideas simples.

Clasifica a los objetos físicos en cuerpos con cualidades primarias y secundarias. La forma en el que se incluye la forma, tamaño y movimiento constituye lo real que es inseparable de las características del material de los cuerpos; mientras que el olor, color, etc., dependen de los sentidos. Esta separación de categorías coincide con la planteada por los atomistas con los nombres de esencias nominales y esencias reales.

Locke adoptó la posición de Boyle y Gassendi en relación con las partículas de la estructura de la materia, considerándolas como impenetrables y con propiedades esenciales de dimensión, forma, movimiento o reposo que constituyen sus propiedades inseparables. Locke expresó que no podía saber cómo las partículas constituían la estructura de la materia y producían las propiedades de los cuerpos. De esta forma expresaba su profunda duda sobre su habilidad para demostrar experimentalmente la existencia de partículas elementales. Por lo que establece que no es posible conocerlas

Paul Henri Dietrich barón de Holbach (1723-1789) filósofo materialista profundamente anticlerical. Inspirado por los atomistas griegos consideraba que la

materia era eterna, no creada y destinada a existir por siempre. La materia estaba compuesta por los cuatro elementos primarios, esto es, fuego, aire, agua y tierra pero su constitución implicaba la existencia de entidades fundamentales a las que llamó moléculas o átomos de manera indistinta. El universo era el resultado de la interacción entre estas partículas. Rechazaba la idea del movimiento azaroso de las partículas y creía que se debía a un proceso mecánico. Rechazó que los átomos tuviesen atributos sensitivos y creyó que las cualidades eran la combinación específica de los átomos. Esta interacción o combinación entre átomos o moléculas es un rasgo esencial en la generación y organización de estructuras.

En el siguiente párrafo expone su visión del orden y organización que deben existir para que los mecanismos de la naturaleza den siempre los mismos resultados. “¿Podríamos maravillarnos si de una caja de dados que contiene 100000 dados, podemos obtener 100000 seises en una sola tirada? Ciertamente lo haríamos; a menos que los dados estuviesen cargados ¡desde luego! Bien, las moléculas de la materia pueden compararse con los dados cargados que invariablemente producen los mismos efectos: Dado que esas moléculas son fundamentalmente diferentes individualmente y en combinaciones, están arregladas en un número infinito de formas. ... ¿De qué está hecho el hombre, al final, si no existen dados cargados o mecanismos de la naturaleza predestinados a producir resultados particulares?”⁴⁸

1.3.2 Los antiatomistas de la época

Las premisas fundamentales a partir de las cuales René Descartes (1560-1650) construye su filosofía natural es el rechazo a la teoría atómica y la existencia del vacío. Para Descartes la materia está relacionada con su extensión y su movimiento, la despoja tanto de formas como de propiedades cualitativas. Le atribuye a la materia propiedades cuantificables como tamaño, figura, velocidad, etc., las cuales se derivan de su idea general de la materia como extensión. La extensión y el movimiento son los dos pilares en los que la arquitectura del mundo descansa.

La materia de un cuerpo tridimensional no puede distinguirse del espacio que ocupa. Esto es, la materia es espacio y el espacio es materia, con ello Descartes rompe con la idea del espacio como receptáculo por lo que el espacio no puede existir separado de la materia. Esta identificación entre materia y espacio le llevan a negar la existencia del vacío. “Sobre el problema del vacío, en el sentido que los filósofos atacan esta palabra, llamándola, espacio enteramente agotado de sustancia, es evidente que no hay tal lugar en el universo, porque la extensión del espacio de cualquier locación no es diferente de la extensión de un cuerpo

⁴⁸ Pullman, (1998). *Ibid*, p 153

material. Y dado que por virtud de que el cuerpo material tiene extensión en longitud, ancho y profundidad, estamos justificados en concluir que eso es sustancia, porque consideramos imposible que la nada tenga extensión, se debe llegar a la misma conclusión acerca del espacio considerado como vacío: esto es, si tiene extensión necesariamente tiene sustancia”⁴⁹

A partir de la negación del vacío es que no acepta la posibilidad de la existencia de los átomos. “Es sencillo mostrar que no puede haber átomos, o partes de objetos que sean indivisibles, contrariamente a lo que algunos filósofos imaginan. No hay materia de la que estas partes puedan ser, porque ellas no tienen extensión, nosotros sostenemos que no existe una de ellas que no pueda ser dividida en dos o más pequeñas partes, de lo que se sigue que son divisibles. . . . Aún si consideramos que Dios redujo una parte de materia a tal grado de pequeñez que no puede ser dividida en otras partes pequeñas... él mismo no se ha privado de la posibilidad de dividirla ya que no es posible que él limite su omnipotencia. Es por ello que sostenemos que la más pequeña parte en extensión que pueda ser encontrada en el mundo siempre puede ser dividida porque es su naturaleza.”⁵⁰

A pesar de negar la existencia del vacío, Descartes desarrolló una teoría corpuscular sobre la estructura de la materia. De acuerdo con ella la materia está compuesta de pequeñas partes infinitamente divisibles en teoría pero con dimensión finita. “... la primera diferencia que deseo que consideren y que piensen para este efecto, es que cada cuerpo puede dividirse en partes sumamente pequeñas. No deseo determinar si su número es infinito o no, pero al menos es cierto que desde la perspectiva de nuestro conocimiento, es indefinido que podemos suponer que hay muchos millones en el más pequeño grano de arena que puedan percibir nuestros ojos.”⁵¹ Para Descartes la materia es como un cuerpo sólido que llena todos los espacios en largo, ancho y profundidad. Afirma que la materia puede dividirse en partes muy pequeñas que son imperceptibles. El número de partes es indefinido. En principio, la materia es susceptible de división en todas las partes y todas las figuras.

Para explicar la diversidad de cuerpos desde una perspectiva física Descartes propone que sólo hay tres elementos: fuego, aire y tierra. Los elementos cartesianos comparten la misma naturaleza extensa y se definen por comparación del tamaño, figura y velocidad de sus partes componentes. Su diferencia está en las leyes del movimiento. Puede hablarse de una diferencia de comportamiento

⁴⁹ Pullman, (1998). *Ibid.*, p. 159.

⁵⁰ Pullman, (1998) *Ibid.*, p. 160.

⁵¹ Benítez Laura, (1992). La materia en René Descartes. En Beuchot M., Benítez L., Yolton J., Winkler K., Silva C., McMullin E., Lara Zavala N., Herrera A., Robles J. A. Y Tomasini Bassols A. *El concepto de materia*. Colofón S. A., México

que se aprecia en la velocidad, cohesión y capacidad de penetración de las distintas partículas materiales.

Los tres elementos dan cuenta de la variedad de los cuerpos materiales e indican que en el mundo sólo existen tres tipos de partes básicas. Los elementos son: materiales semejantes en su modo esencial; compuestos de partes extensas de acuerdo a las leyes del movimiento; están formados por partes elementales que no difieren esencialmente pero que pueden distinguirse por su figura, tamaño y velocidad.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) fue uno de los más fuertes oponentes de la teoría atómica. En relación con el concepto de masa, Leibniz pasa por tres etapas diferentes la juvenil, en su etapa madura y al final de su vida. Leibniz resulta sumamente influenciado por las ideas de Descartes y Newton y basa sus meditaciones sobre la materia en el problema del movimiento.

En su primera etapa Leibniz afirma que la materia prima aristotélica es lo que se conoce como masa que tiene dos propiedades la extensión y la antitipia o impenetrabilidad siendo ésta última la que constituye la esencia de la materia. Otra propiedad que considera esencial en la materia es la continuidad, esto es la materia no está dividida ni tiene límites. La ruptura de la continuidad puede presentarse en los cuerpos pero no en la masa.

Los cuerpos físicos tienen las siguientes propiedades: resistencia, impenetrabilidad, solidez y llenar el espacio. El estudio del espacio es objeto de la geometría pero no de la física ya que ésta tan sólo se ocupa de materia y movimiento. El espacio y la materia son extensos.

Leibniz acepta la tesis aristotélica de la inexistencia del vacío, sin embargo, esto implica el aceptar un pleno físico formado solamente por sólidos, lo que haría imposible el movimiento. Establece por ello, que deben existir fluidos. Pero la materia tanto sólida como fluida está constituida por puntos lo que la hace un ser discreto mientras que el espacio es continuo. Esta es la segunda posición que toma con relación a la materia.

Leibniz defendía la idea de un infinito número de sustancias, que estaban en su mente y constituían la realidad del mundo, a ellas se les llamaba "monadas" eran simples, no materiales, sin extensión o partes y por tanto indivisibles, infinitas en número, sin un principio y fin natural.

Leibniz en su última etapa fue un opositor de la teoría atomista de Leucipo, Demócrito y Epicuro, sin embargo, no era adversario de la presencia de una estructura atomista del mundo. Sus mónadas son los verdaderos átomos de la naturaleza o elementos de las cosas a los que consideraba como puntos de energía o átomos metafísicos. La diferencia con los átomos de los atomistas es

que éstos "solamente son puntos metafísicos (como son los puntos matemáticos que son indivisibles y no reales) son exactos y reales."⁵²

La materia es más importante y perfecta que el vacío. "No hay razón posible, que pueda limitar la cantidad de materia; y por tanto esa limitación no tiene lugar. Supongamos una limitación arbitraria de la cantidad de materia, algo debe siempre añadirse sin que deroguen la perfección de las cosas que existen alrededor; consecuentemente algo debe ser siempre añadido, de acuerdo con el principio de perfección de las operaciones divinas... De esta forma, admitir el vacío en la naturaleza, es atribuir a Dios un trabajo imperfecto: ... Omitiendo muchos otros argumentos en contra del vacío y de los átomos, quisiera mencionar aquellos que son causales sobre la necesidad de una razón suficiente. Yo establezco como un principio, que toda perfección, que Dios impone sobre las cosas sin derogarle de otras perfecciones, ha sido actualmente impartida a ellas. Ahora dejemos por gusto un espacio totalmente vacío. Dios pudo colocar materia en él sin afectar otras cosas: por tanto él colocó alguna materia en ese espacio. Por tanto todo está lleno. El mismo argumento prueba que no hay corpúsculos, pero que está subdividido."⁵³

Con relación a los átomos se opone a la existencia de un límite para Dios en su poder para dividir infinitamente los átomos. Leibniz lo expresa de la siguiente manera: "El último corpúsculo puede ser subdividido hasta el infinito, y contiene un mundo de otras criaturas, . . . , aun si ese corpúsculo fuera un átomo, esto es un cuerpo de una sola pieza sin subdivisiones."⁵⁴ El segundo argumento en contra de la existencia de los átomos se basa en el principio de la razón suficiente como lo expresa en el siguiente párrafo: "Debo confesar, que si bien este principio ha sido conocido, no tiene todavía un uso suficiente. Lo cual es en gran medida, la razón del por qué la *prima philosophia* no ha sido hasta ahora tan fructífera y demostrativa, como debería de ser. Yo infiero de tal principio, entre otras consecuencias, que no hay en la naturaleza dos realidades, absolutamente suyas e indiscernibles una de otra; porque si hay, Dios y naturaleza que actuarían sin razón, ordenando uno diferente que el otro; por lo tanto Dios no produce dos piezas de la misma materia perfectamente iguales y similares... Una fantasía vulgar de tales cosas, porque ellos se contentan con nociones incompletas. Y esta es una falta de los atomistas... Los cuerpos simples, aun los perfectamente similares a otros, son una consecuencia de las falsas hipótesis de un vacío y de los átomos, o por una filosofía perezosa que no desea llevar suficientemente al análisis sus cosas, y fantasías que pueden alcanzar los primeros elementos materiales de la naturaleza, porque nuestra imaginación con esto satisfecha."⁵⁵ La

⁵² Pullman, (1998) *Op. cit*, p. 168

⁵³ Pullman, (1998) *Ibid*, p. 169.

⁵⁴ Pullman, (1998) *Ibid*, p. 169

⁵⁵ Pullman, (1998) *Ibid*, p. 170.

imposibilidad de que existan corpúsculos idénticos e indistinguibles es la causa del rechazo de Leibniz hacia la existencia de los átomos.

1.3.3 Otras visiones sobre el atomismo

Uno de los principales puntos de discusión sobre la forma de integración de las partículas para constituir la materia fue la existencia de fuerzas de atracción y repulsión entre ellas. Para los Cartesianos la acción a distancia de fuerzas como la gravedad no resultaba convincente ya que requerían de un medio para poderse *transmitir*. Newton explicaba muchos fenómenos en función de la presencia de fuerzas atractivas y repulsivas actuando entre los átomos. Roger Joseph Boscovitch (1711-1787) un estudiante de Newton en su libro *Teoría de la Filosofía Natural* publicada en 1758 hizo un intento de integrar las posturas de Leibniz y Newton. Boscovitch describía el mundo como un conjunto de partículas elementales vistas como puntos de fuerza sin extensión. Su comportamiento era gobernado por las leyes de Newton de atracción y repulsión. Para Boscovitch introducir las fuerzas de atracción y repulsión resultaban necesarias para explicar la interacción de partículas elementales.

Las fuerzas atractivas dominaban cuando la distancia entre los objetos era grande, para distancias pequeñas actuaban las fuerzas de repulsión. Por esta razón Boscovitch concluyó que era imposible que los átomos se tocaran unos a otros en el espacio y los consideró simples sin partes y sin extensión, esto es, reducidos a puntos. Las fuerzas repulsivas no permitían que la materia fuese continua y hacían a los átomos impenetrables. Esta teoría se conoció posteriormente como el atomismo puntual.

Las superficies rígidas de los átomos de Demócrito fueron sustituidas por una región de equilibrio entre fuerzas de atracción y repulsión asociadas con el campo dinámico alrededor del átomo colapsado en un punto material. En las regiones cercanas al átomo las fuerzas repulsivas dominaban y eran las responsables de la impenetrabilidad del átomo, en las regiones lejanas las fuerzas atractivas dominaban lo que producía el efecto de cohesión. Todos los átomos eran idénticos, la diversidad de las cosas, aun las orgánicas, eran producto de diferencias en el número, posición y distancia relativa de sus átomos constituyentes. El concepto de un átomo como centro de las fuerzas atractivas y repulsivas sobrevivió hasta el siglo XX.

La obra de Emanuel Kant (1724-1804) se divide en dos grandes periodos: la precrítica y la crítica. En estos dos periodos Kant muestra dos posturas radicalmente distintas en relación con el atomismo. Durante su periodo precrítico publicó en su libro *Historia Universal Natural y la Teoría de los Cielos* (1755) una comparación entre su visión cosmológica y las de los filósofos griegos. En este periodo Kant se declara creyente de la estructura corpuscular de la materia.

Kant aceptó la teoría atómica incluyendo el vacío. Parte de la teoría de Epicuro que explica que el movimiento de los átomos se debe a la gravedad lo que no la hace muy distinta de la teoría de la existencia de una fuerza de atracción de Newton, la deflexión en el movimiento de los átomos se explica por la presencia de las fuerzas de repulsión. Kant aceptó, también, la existencia de los átomos y del vacío pero hace una tajante distinción con los griegos en cuanto a su materialismo. "Yo encuentro que la materia está sujeta a ciertas leyes necesarias. En su composición y descomposición, veo un orden total emergiendo naturalmente de esas leyes. Este todo no es producido por azar o contingencia, sino es claramente una propiedad natural engendrada por su necesidad. Podría uno no estar inspirado a preguntar ¿Por qué la materia, está sujeta a tales leyes que apuntan un orden y medida? Esto fue posible para muchas cosas, cada una con su propia naturaleza independiente, ¿Tienen un arreglo espontáneo que produce el gran orden del todo? ...No podemos mirar el universo sin reconocer una orden altamente superior de su organización y la segura señal de la mano de Dios en la perfección de sus relaciones. ... No es fortuito encontrar en los átomos de Lucrecio que forman el mundo; fuerzas presentes y leyes utilizadas del mayor intelecto en donde la fuente inmutable de este orden, que emana de ellos, no es accidental pero si necesaria."⁵⁶

La transición de Kant hacia su periodo crítico fue señalada por un cambio radical hacia los postulados de la teoría atómica. Defendió la estructura continua de la materia y fue un oponente de la existencia del vacío. Presentó sus ideas en su libro *Fundamentos Metafísicos de las Ciencias Naturales* publicada en 1786

Kant en esta segunda etapa repudia la concepción corpuscular de la materia, en el teorema 4 de sus *Primeros Principios* en los que afirma: "La materia es infinitamente divisible en partes, cada una de las cuales es, materia" para demostrarlo define materia como "La materia se mueve tanto como el espacio se llena", esto es, la materia está asociada con dos fuerzas fundamentales de movimiento: "una fuerza de atracción que sea causa de que otra caiga en ella y una fuerza de repulsión a través de la cual la materia hace que otra se mueva."⁵⁷ Dado que estas fuerzas son sus únicos atributos si una de ellas está ausente, el espacio no podría contener materia. Si carece de fuerza atractiva la materia se dispersa hasta el infinito, mientras que si carece de fuerza repulsiva se colapsará en un punto. La cantidad de materia que llena el espacio se determina por un balance entre las dos fuerzas.

"La materia es impenetrable, debido a las fuerzas de expansión originales, estas fuerzas son solamente consecuencia de las fuerzas repulsivas de cada punto en un espacio lleno de materia. Pero el espacio de fuerzas repulsivas está lleno de

⁵⁶ Pullman, (1998). *Ibid*, p. 185

⁵⁷ Pullman, (1998). *Ibid*, p. 185

materia. Este espacio de materia es matemáticamente divisible hasta el infinito, esto es, pueden distinguirse sus partes hasta el infinito (de acuerdo con pruebas geométricas), aun si ellas no pueden moverse, y de ahí no separarse. Por el otro lado, en un espacio lleno de materia, cada parte del espacio contiene una fuerza repulsiva que actúa en contra de las otras partes en todas direcciones, y así las repele y es repelida por ellas, esto es, es empujada fuera de ellas. Se sigue de aquí que cada parte del espacio lleno de materia sea movable por sí mismo, y consecuentemente, por virtud de su sustancia material y es separable de otras por medio de una división física. De aquí, que la posible división física de una sustancia que llena el espacio extenso es justamente como la división matemática del espacio que se llena con materia. Pero justamente al igual que una divisibilidad matemática se extiende hasta infinito, así también lo hace la división física; en otras palabras, toda materia es infinitamente divisible, y de tal forma que cada parte es en sí misma una sustancia material⁵⁸ Con la definición de materia el vacío queda descartado.

La hipótesis atómica sobrevivió por siglos hasta principios del siglo XIX tiempo en que se impuso la necesidad de adoptarla en la interpretación de hechos experimentales. Por un lado, la teoría atómica se formuló al considerar las leyes físicas que gobiernan los fenómenos, y por otro lado, basados en la hipótesis atómica de la constitución de la materia la interpretación mecánica de los fenómenos térmicos llevaron a la formulación de la teoría cinética de los gases.

Es importante señalar diferencias entre el pensamiento griego y el pensamiento moderno sobre la hipótesis atómica. El objeto de los griegos, fue sintetizar como un todo el conocimiento en un fórmula simple, esto es, encontrar una doctrina que explicara todos los fenómenos, una verdad que respondiera todas las preguntas. La teoría atómica propuesta a inicios del s. XIX no tenía estas pretensiones universales, fue aceptada como una hipótesis que respondía a un número limitado de hechos experimentales. Para explicar algunas propiedades de la materia se continuó interpretando fenómenos como la electricidad, el calor y la fuerza de gravedad como entidades que se mantienen en un continuo con hipótesis no corpusculares. Cuando posteriormente se encontró que la electricidad no podía ser interpretada de acuerdo a una hipótesis continua como la de un fluido, se formuló una teoría corpuscular de la electricidad en la cual los viejos y nuevos fenómenos se integraron.

1.4 La teoría atómica en el siglo XIX y principios del siglo XX

Hasta el siglo XVIII ningún elemento experimental había mostrado la existencia de la estructura corpuscular de la materia, todo había partido de la discusión de los filósofos griegos. El primer dato experimental obtenido a favor de los postulados

⁵⁸ Pullman, (1998) *Ibid.*, p. 186

de la física atómica fue la demostración de la existencia del vacío en el siglo XVII. Sin embargo, esto no mostraba la existencia de los átomos. El desarrollo propiamente de la teoría corpuscular, a partir de factores experimentales, se llevó a cabo en el siglo XIX. Una atmósfera de batalla entre los atomistas y los anti-atomistas se presentó durante todo este siglo y se continuó hasta principios del siglo XX. El triunfo de la teoría atomista, sin embargo, no fue tal y como la formularon los griegos. Una transformación de los conceptos griegos se llevó a cabo gracias a la valiosa información que brindaron algunos experimentos, por ejemplo, a principios del siglo XX el átomo perdió su propiedad de indivisibilidad, se mostró que el átomo era una compleja estructura y que no era la partícula más pequeña de la materia. Se asignó una nueva naturaleza dual a los átomos, es decir, podía mostrarse su doble naturaleza ondulatoria o corpuscular.

La discusión filosófica que vino después del establecimiento de esta nueva estructura corpuscular se presentó alrededor de la naturaleza del universo y su significado. Las consideraciones teológicas que regularon las explicaciones durante los siglos anteriores desaparecieron en el siglo XIX. Los primeros debates se centraron en la distinción entre átomos y moléculas, la determinación de una escala de pesos atómicos, el significado de los equivalentes químicos, el desarrollo de una notación química y la clasificación de los elementos (que terminó con la construcción de la tabla periódica). La figura 14⁵⁹ muestra los participantes en las controversias sobre la formulación de la teoría atómica en este periodo.

Durante el siglo XVIII los químicos empezaron a tener una idea precisa de la constitución de una sustancia pura, identificaron cuerpos simples que no podían ser descompuestos por métodos químicos (elementos) en otras sustancias; y propusieron que el número de cuerpos simples era muy pequeño comparado con la enorme multitud de cuerpos compuestos.

El siglo XVIII fue un periodo de intenso desarrollo en las matemáticas. Se habían construido las teorías matemáticas de ciertas propiedades de la materia tales como adhesión, cohesión y capilaridad. La nueva teoría del movimiento de los planetas de Newton sirvió como modelo para las nuevas teorías; en la teoría corpuscular de la materia de Newton, los corpúsculos eran considerados como puntos masivos que obedecen las leyes de la mecánica: la nueva teoría era corpuscular y mecánica. Laplace (1749-1827) elaboró una teoría sobre el fenómeno de la capilaridad; y en 1738 Bernoulli (1700-81) propuso una teoría cinética de los gases en la que se apoyaría posteriormente la teoría atómica; con base en ella fueron redescubiertas las leyes de los gases que se habían construido experimentalmente.

⁵⁹ Tomada de Pullman (1998) *Ibid.*, p 195

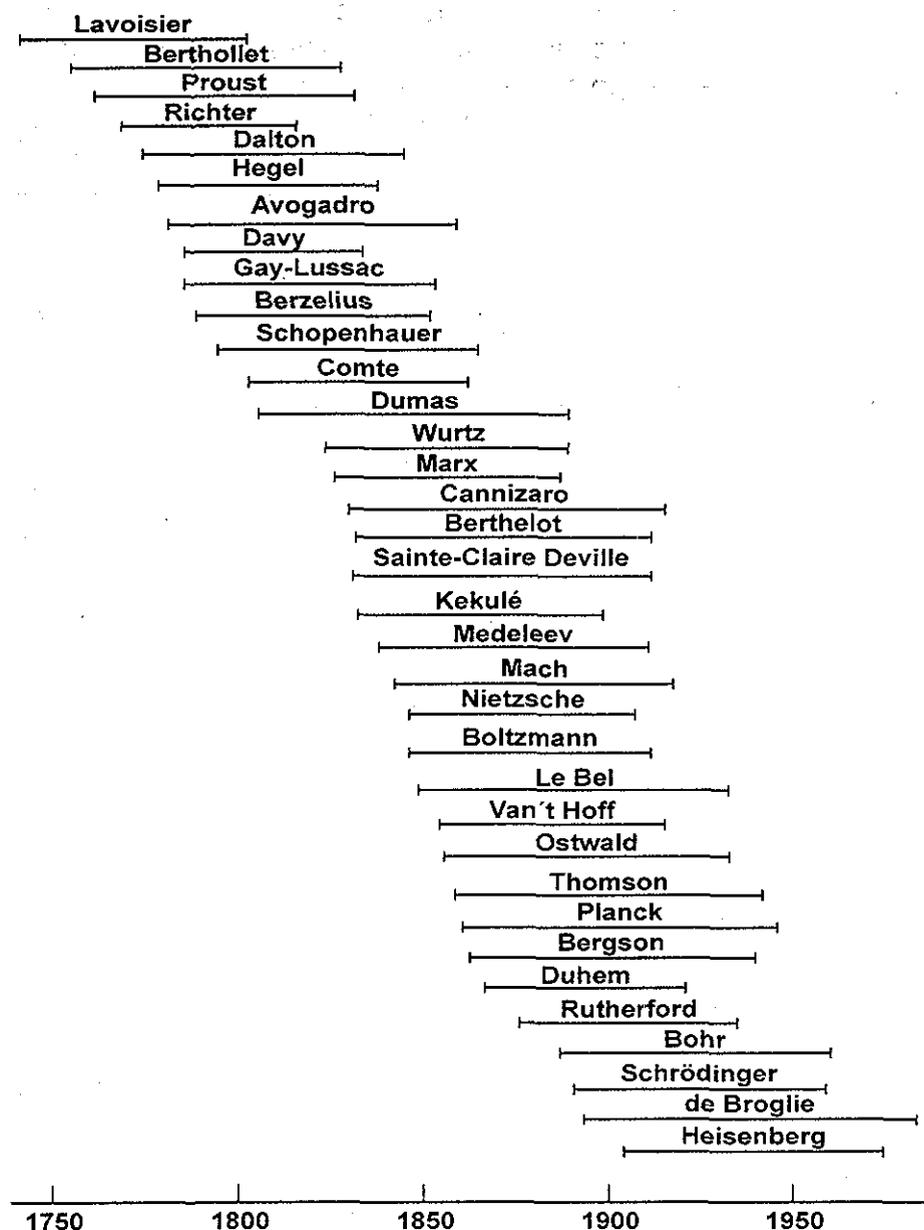


Figura 1 4 Diagrama que muestra la época en la que vivieron los protagonistas de la formulación de la teoría atómica.

Estas ideas mecánicas y atomistas fueron modificadas profundamente en el siglo XVIII y recreadas en una forma nueva alrededor de la constitución de la materia y en sus transformaciones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4.1 Los avances de la química en el siglo XIX que contribuyeron al desarrollo de la teoría atómica

Hacia finales del siglo XVIII dos razonamientos fueron los causantes del primer rompimiento con la visión de la materia hasta ese momento, ambos fueron formulados por Antoine-Laurent Lavoisier (1740-1794). El primero de ellos fue la terminación de la teoría de los cuatro elementos, que había sobrevivido por 2000 años. Henry Cavendish (1731-1810) completó el trabajo de Lavoisier y Joseph Priestley (1733-1804), contribuyó con sus trabajos sobre la composición del aire. Lavoisier basado en estas investigaciones y en los trabajos de Boyle dio una nueva definición de elemento "Con la palabra 'elemento' o 'principios de los cuerpos', asociamos la noción de la última entidad a la que se llega por análisis; todas las sustancias que no pueden ser descompuestas son consideradas como elementos"⁶⁰. El segundo razonamiento fue el establecimiento de la ley de la conservación de la materia y la demostración de la importancia de los estudios gravimétricos en los análisis químicos.

Lavoisier enunció la ley de conservación de la materia durante una reacción química en 1787: "Nada es creado en la operación tanto del arte o de la naturaleza y uno puede proponer como un principio que en cada operación hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación; que la cualidad y la cantidad de sustancia inicial es la misma y hay solamente cambios y modificaciones"⁶¹.

Esta ley brindó los elementos necesarios para que en el siglo XIX se desarrollaran nuevas leyes gravimétricas sobre la combinación de los elementos como fueron: la ley de las proporciones constantes desarrollada en 1806 por Joseph-Louis Proust (1754-1826) y la ley de las proporciones múltiples de John Dalton (1766-1844). La primera establecía que dos elementos siempre se combinan en razón invariante de sus pesos para formar un compuesto dado. La segunda especifica que dos elementos pueden combinarse de diferentes formas, su relación de pesos es el resultado de combinaciones en forma de razones simples, esto es, de números racionales.

Proust definió un compuesto de la siguiente forma: "un compuesto es una sustancia cuya naturaleza asigna razones fijas; esto es un ser cuya naturaleza nueva fue creada sin la balanza en la mano"⁶².

Una tercera ley conocida como la ley de los números proporcionales de las razones recíprocas fue presentada en 1791 por el químico alemán Jeremías Benjamin Richter (1762-1807) quien también tuvo un importante papel en el

⁶⁰ Pullman, (1998) *Ibid.*, p 197

⁶¹ Amaldi Ginestra, (1966). *Op cit.*, p 27

⁶² Amaldi Ginestra, (1966) *Ibid.*, p 27

desarrollo de la noción química de los pesos equivalentes. Esta ley establece que los pesos de dos elementos se combinan con el peso de un tercer elemento mediante una razón simple.

Estas leyes dieron un importante impulso a la formulación de nuevas teorías corpusculares cuantitativas sobre la estructura de la materia, sin embargo, el paso más importante lo dio John Dalton (1766-1844).

El trabajo de Dalton proporcionó una base teórica para la química acorde con la definición de elemento químico. En su libro *Nuevo Sistema de Filosofía Química* (1808) identificó la diversidad de elementos químicos, como átomos químicos heterogéneos, con lo que rechazó la distinción de Newton. Dalton también abandonó la investigación de los mecanismos de fuerzas de Newton en favor de un sistema que cuantificaba los pesos relativos de los átomos químicos. Los orígenes de los trabajos de Dalton se basaron en sus estudios sobre la mezcla de gases en la atmósfera y la absorción de gases en el agua, en la cual rechaza el papel causal de las fuerzas de afinidad química. En su teoría sobre la absorción de los gases enfatiza la importancia de los pesos relativos de las últimas partículas de las sustancias en la determinación de la solubilidad relativa de gases diferentes en agua.

Dalton publicó en 1808 la base de la teoría atómica en la que mostraba que la hipótesis atómica permitía tomar en consideración la ley de Lavoisier y la ley de Proust como un instrumento incomparable para la sistematización de los fenómenos químicos. Estableció que los átomos eran indivisibles, indestructibles y constituían la materia.

Expuso una serie de proposiciones fundamentales sobre la relación entre los átomos de los elementos y de los compuestos:

- 1 Todos los átomos de un elemento son similares y tienen el mismo peso;
- 2 Todos los átomos, de elementos diferentes, tienen propiedades diferentes, específicamente el peso;
- 3 Las partículas elementales de los cuerpos compuestos están formadas por la unión de un número definido de átomos constituyentes;
- 4 El peso de esas partículas compuestas es la suma de los pesos de los átomos que las forman.
5. No hay creación ni destrucción de materia durante las transformaciones químicas.

Dalton escribió en su *Nuevo sistema para la filosofía de la química*: "El análisis y síntesis químicos no va más allá que la separación de las partículas unas de otras, y de su reunión. Ninguna creación o destrucción de materia se presenta dentro de una reacción química... Todos los cambios que se pueden producir consisten en la separación de partículas que están en un estado de cohesión o

combinación y unidos todos dada cierta distancia.⁶³ Con lo que se ponía como ley fundamental la ley de la conservación de la materia. El avance conceptual que tuvo lugar con el establecimiento de estas proposiciones fue la caracterización de los átomos constituyentes de todos los elementos, a partir de su peso. Esta fue una nueva forma de ver la discontinuidad.

En su libro Dalton incorpora la ley de proporciones equivalentes químicos formulada por Jeremías Benjamin Richter (1762-1807). Siguiendo a Richter, Dalton propuso que los elementos químicos se combinan en una razón entera simple, y que los átomos químicos lo hacen en una proporción fija y definió al átomo como una pequeña partícula de elementos químicos que dada su naturaleza química puede ser combinado con otras partículas elementales en números enteros. Los átomos son partículas indivisibles y en cierto sentido sólidos, con lo que no hace una distinción entre elementos químicos y átomos físicos.

El conjunto de proposiciones de Dalton permitió mediante razones entre enteros construir una evidencia macroscópica de las interacciones que se llevan a cabo en el nivel microscópico, puestas en unidades básicas de peso. Estableció una escala de pesos relativos para un número de elementos y generó un sistema de símbolos para designar a los elementos y a los compuestos de acuerdo a sus características e identidad. Los símbolos que escogió eran círculos con marcas que identificaban a cada elemento para los compuestos se utilizaba un número escrito en la parte inferior que indicaba las unidades de peso de cada elemento que los formaba (ver figura 1.5) Este sistema fue inventado por el sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848).

Los diagramas de su libro muestran átomos indivisibles rodeados de atmósferas de calorífico, enfatizando la creencia de átomos esféricos y sólidos, como la última partícula física y química de la materia.

La cuantificación química de Dalton no tuvo como fundamento la descripción matemática de la afinidad de las fuerzas químicas sino el establecimiento de reglas de combinación química y la clasificación de los átomos químicos de acuerdo a sus pesos relativos. Dalton en su primer volumen del Nuevo Sistema, señaló la utilidad de los pesos relativos de las partículas y de las reglas de combinación, para el análisis químico también dio un lugar particular a los átomos químicos como las últimas partículas en la naturaleza. En el segundo volumen (1810) afirmó la realidad física de diferentes átomos químicos como partículas fundamentales, rechazando la doctrina Newtoniana de una compleja estructura interna de los elementos químicos

⁶³ Amaldi Ginestra, (1966) *Ibid*, p 28

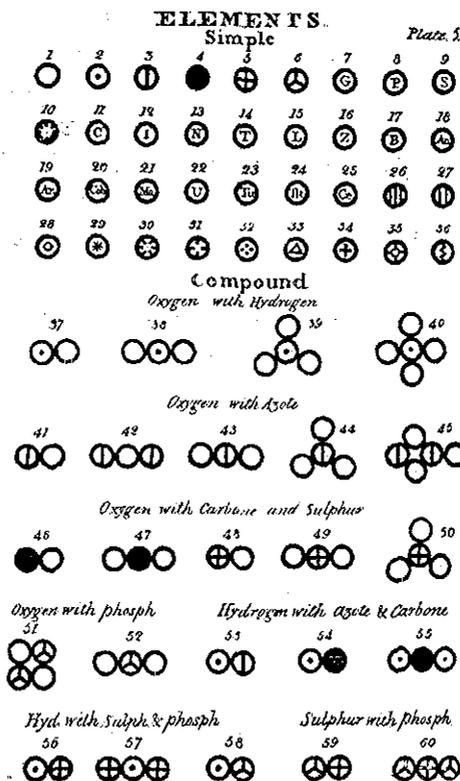


Figura 1.5. Tabla de elementos de Dalton⁶⁴

Para establecer la relación entre los pesos de los átomos de un compuesto, Dalton estableció una serie de convenciones y reglas:

Primera convención: Si dos cuerpos A y B se combinan, estas combinaciones tienen lugar de la manera más simple de acuerdo con las siguientes reglas:

Regla 1: Cuando se obtiene una sola combinación de dos cuerpos, a menos que se indique, ésta es un binario

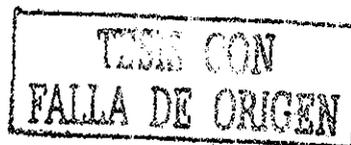


Regla 2: Cuando se obtienen dos diferentes combinaciones se debe considerar que uno es binario y uno es ternario



Regla 3: Cuando se obtienen tres combinaciones se debe esperar que uno es binario y los otros dos son ternarios

⁶⁴ Harman, P. M., (1995). *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. Cambridge History of Science Series. New York: Cambridge University Press p 122



2 átomos de A + 1 átomo de B = 1 átomo ternario de E

Regla 4: Cuando se observan cuatro combinaciones, se debe esperar que sean una binario, dos ternarias, y una cuaternaria.

1 átomo de A + 3 átomos de B = 1 átomo cuaternario de F

Dalton intentó calcular la masa de compuestos bien conocidos para ello partió de un error comprensible, esto es, aceptar la hipótesis de combinaciones simples. Mantuvo siempre que las moléculas de un elemento eran siempre átomos simples, así si dos elementos formaban solamente un compuesto, creía que un átomo de un elemento se combinaba con un átomo del otro. Por ejemplo, en el caso del agua, consideraba que se combinaban como HO y no como H₂O. Este error partió de la consideración de que tanto el hidrógeno como el oxígeno eran monoatómicos en estado libre, error que fue corregido posteriormente por Avogadro.

La aplicación de las reglas de Dalton presentaba obstáculos alrededor de la estructura atómica y el desarrollo de la escala de pesos atómicos. Siguiendo el ejemplo del oxígeno, puede observarse que al analizar gravimétricamente el agua muestra su composición es de 8 gramos de oxígeno para 1 gramo de hidrógeno. Si el peso del átomo de hidrógeno se toma como referencia el peso atómico del oxígeno se fijaría en 8.

Dalton demostró que la hipótesis atómica justificaba la ley de Lavoisier de la conservación de la masa, la ley de Proust de las proporciones constantes y también su propia ley de las proporciones múltiples.

Los físicos y los químicos reconocían la importancia de una teoría atómica química que mostrara un marco conceptual racional en función de un sistema de pesos "atómicos" relativos, la asignación de fórmulas moleculares de las sustancias y la consideración de la existencia de átomos como una realidad física. Los modelos y diagramas empleados por los químicos mostraban estructuras moleculares que eran interpretadas como representaciones simbólicas de la estructura geométrica de las moléculas. Para atenuar las implicaciones físicas de la teoría de Dalton, los químicos conservaron el sistema de pesos de partículas relativas. Davy consideró que la estequiometría más que una especulación sobre las últimas partículas de la materia, constituía el núcleo de la teoría de Dalton y propuso un sistema de proporciones o pesos relativos como base para el cálculo de proporciones definidas en las combinaciones químicas. Wollaston formuló una tabla similar, basado en un sistema de pesos, para los equivalentes químicos, el cálculo estequiométrico de cantidades, se propuso como una herramienta práctica para el cálculo de las proporciones químicas.

Las leyes cuantitativas de combinaciones permitieron interpretar los resultados desde dos puntos de vista: y sea que se consideraban literalmente como los pesos actuales involucrados en las combinaciones o bien indicaban razones equivalentes que describían la forma en que los elementos de las sustancias se unían o reemplazaban a otras. Esta noción de equivalencia propuesta por primera vez por Richter con el término de entidades equivalentes fue formalmente introducida en 1814 por William Wollaston (1766-1828) en su trabajo Escala Sinóptica de los Elementos Químicos.

Desde una perspectiva más teórica las leyes gravimétricas de combinaciones dieron evidencia de la organización estructural de la materia, en el nivel macroscópico, que podía describirse a través de un sistema de pesos atómicos.

Dalton estableció una misma nomenclatura para los elementos y los compuestos y habló de átomos sencillos, dobles, triples, etc., a los cuales correspondían elementos binarios, ternarios, cuaternarios, etc., También utilizó el término átomo de manera muy amplia, en su terminología un átomo es una partícula constituyente de cualquier sustancia que puede ser simple o compuesta. Lo que nos dice que un átomo es la partícula más pequeña de una sustancia que preserva las características de esa sustancia.

Una forma similar de utilizar el término átomo se encuentra en los trabajos de J. J. Berzelius que utiliza una nomenclatura distinta. Divide a los átomos en elementales y compuestos. Los compuestos pueden ser resultado de la unión de dos sustancias elementales, (a los que se conoce como átomos de compuestos de primer orden), o bien la unión de más de dos sustancias elementales, (en esta categoría coloca los compuestos orgánicos por lo que los llama átomos de compuestos orgánicos) Si los compuestos se forman de dos o más átomos compuestos se les llama átomos compuestos de segundo orden.

Berzelius calculó con gran precisión el peso atómico de varios elementos y consideró incorrectamente que todos los átomos de elementos similares se repelían unos a otros porque tenían igual carga eléctrica. Creía que solamente los átomos de cargas opuestas podían combinarse para formar moléculas.

Los sistemas estequiométricos de Berzelius, Davy, y Wollaston fueron similares a los de Dalton además de basarse en el concepto de átomo. Una serie de discusiones posteriores se presentaron ante el concepto de átomo así como su representatividad en las fórmulas químicas. Berzelius mantenía que la teoría atómica de la química debía explicar la combinación de átomos en proporciones específicas en términos de una teoría de afinidad química y suponía que la polaridad electroquímica de los átomos de los compuestos podía explicar las leyes de la estequiometría. La combinación química implicaba la neutralización de cargas eléctricas positivas y negativas de átomos individuales o agregados incluyendo el caso de los compuestos orgánicos.

La distinción entre átomos y moléculas se solucionó gracias a las leyes volumétricas de José Luis Gay-Lussac (1778-1850) y a la hipótesis de Amadeo Avogadro (1776-1850). Las leyes de Gay-Lussac juegan el mismo papel que el de las leyes gravimétricas de Proust y Dalton en el que se establecen cierto número de razones numéricas que gobiernan la interacción y asociación de sustancias simples en estado gaseoso. Gay Lussac partió de las relaciones entre las masas químicas de la teoría atómica de Dalton y lo llevó a las relaciones volumétricas en los gases. En 1809 publicó dos observaciones sobre los gases que son conocidas como la ley de Gay Lussac de gases combinados.

La primera parte de la ley establece que si los gases se combinan químicamente lo hacen en razón simple de sus volúmenes. Por ejemplo, en los dos óxidos de nitrógeno, el compuesto NO tiene partes iguales de nitrógeno y oxígeno por volumen, mientras que el compuesto N_2O tiene dos partes de nitrógeno por volumen y una de oxígeno.

La segunda parte de la Ley de Gay-Lussac establece que si los gases se combinan para formar un gas, los volúmenes de sus productos también están en razón numérica simple. Esta parte la demostró a través de la combinación del monóxido de carbono y el oxígeno para formar dióxido de carbono "Me parece evidente que los gases siempre se combinan en las proporciones más simples cuando actúan unos con otros, y hemos visto en todos los ejemplos precedentes que las razones de combinación son 1 a 1; 1 a 2 o 1 a 3 ... Los gases ... en cualquier proporción de combinación siempre forman compuestos cuyos elementos por volumen son múltiplos unos de otros ... No solamente, sin embargo, los gases se combinan en proporciones simples, como hemos visto sino la aparente contracción del volumen que es una experiencia de la combinación también es una simple relación de volúmenes de los gases o al menos de uno de ellos"⁶⁵

Con el desarrollo de las leyes de Gay- Lussac y la compresibilidad y expansión de los gases, Avogadro propone dos hipótesis en 1811:

- 1) Los átomos de gases elementales deben estar unidos formando moléculas, más que existir como átomos separados;
- 2) Volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de temperatura y presión contienen el mismo número de moléculas

Estas hipótesis explicaban porque, para formar dióxido de carbono, es necesaria la mitad del volumen del oxígeno para combinarse con un volumen de monóxido de carbón. Cada molécula de oxígeno tiene dos átomos y cada átomo de oxígeno se une a una molécula de monóxido de carbono ya que los gases se unen

⁶⁵ *Encyclopaedia Britannica*, (1995) Vol 14 *Encyclopaedia Británica Inc* p 343

siempre en una proporción simple de acuerdo a sus volúmenes. Las proporciones cuantitativas de las sustancias en los compuestos dependen del número de moléculas combinadas, y del número de moléculas que resultan. La hipótesis que se sustenta entonces sería que el número de moléculas enteras en cualquier gas es siempre el mismo para volúmenes iguales, o siempre en volúmenes proporcionales.

Avogadro distinguió entre moléculas elementales (átomos en la notación actual) y compuestos o átomos integrales (moléculas en la notación actual). Para Avogadro los elementos de los gases pueden existir en forma diatómica o poliatómica. Por ejemplo, la síntesis del agua ($H + O \rightarrow HO$ para Dalton y $2H + O \rightarrow H_2O$ para Gay Lussac) se describe acuerdo a la ley de Avogadro como $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ "De esta manera, el problema del peso atómico de oxígeno estaba resuelto. Dado que un átomo de oxígeno se combina con dos de hidrógeno, el peso atómico del oxígeno no es 8 sino 16 si el hidrógeno se toma como unidad."⁶⁶

De la hipótesis de Avogadro se infiere que los pesos relativos de las moléculas de cualquiera dos gases, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, son los mismos tal y como lo son las razones de las densidades de esos gases. Así los pesos moleculares podían ser calculados directamente.

Durante la primera mitad del siglo XIX otra ley contribuyó al desarrollo de la teoría atómica, fue la desarrollada por Pierre Louis Dulong (1785-1838) y Alexis Petit (1791-1820), misma que se presentó en 1819. En esta ley se estableció que el producto de los pesos atómicos y de la capacidad calorífica de un elemento es una constante independiente de la naturaleza del elemento y su valor es aproximadamente de 6.4 calorías. Otros avances durante el mismo periodo son también el isomorfismo de Eilhard Mitscherlich (1794-1863); la determinación de otros pesos y equivalentes atómicos de Berzelius, Augusto Laurent (1807-1853) y de Carlos Gerhardt (1816-1856); y el desarrollo de la tabla periódica de Dimitri Mendeleev (1834-1907).

Paralelamente en este mismo periodo los trabajos de Alessandro Volta (1745-1827), Sir Humphrey Davy (1778-1829) y Michel Faraday (1791-1867) contribuyeron al avance de la teoría atómica con sus trabajos sobre electroquímica. Trabajos que dieron pauta de la presencia de fenómenos eléctricos en las reacciones químicas. Estos trabajos, inspiraron a Berzelius para proponer en 1819 una teoría electroquímica de las combinaciones químicas, en ella cada átomo exhibe dos polos cargados con electricidad de signos opuestos. Los átomos, sin embargo, mostraban sólo una polaridad específica por lo que se les clasificó en elementos electropositivos y electronegativos, con esta clasificación se formó una escala entre el elemento más electropositivo (oxígeno) y el más electronegativo (sodio). De acuerdo a esta teoría la formación de

⁶⁶ Pullman, (1998) *Op cit*, p 203

compuestos químicos resultaba de la neutralización de cargas opuestas por lo que la intensidad de polaridad y la capacidad para la inducción de polarización, debían tomarse en consideración. Para Berzelius, la noción de polaridad residual explicaba la neutralidad de cargas en los compuestos.

Los químicos tenían serias dificultades para determinar el peso relativo de los átomos de los elementos que eran conocidos (tomando como convención como unidad el peso atómico del hidrógeno, el más ligero de los gases). Por más de 50 años estas dificultades se acumularon hasta propiciar una situación intolerable y una caótica confusión en la formulación; por ejemplo, Mayer señaló que la misma fórmula orgánica podía indicar tres distintas sustancias de acuerdo con la interpretación del lector; en química inorgánica se elaboraron tres distintas tablas de pesos atómicos. El desarrollo de las diferentes ramas de la química llevó hacia la imperante necesidad de tener criterios para calcular el peso atómico y establecer una forma de representación uniforme de las sustancias.

En este momento, los científicos veían con escepticismo la hipótesis atómica y Dumas a la cabeza de la escuela francesa de química llegó al extremo de anunciar que tendría que ser cancelada la palabra átomo del vocabulario científico. La teoría de los radicales de Liebig y Dumas postulaba una analogía entre los elementos orgánicos y los radicales tales como los radicales metil y etil. Para mediados del siglo XIX, el atomismo químico estaba totalmente embebido en la química orgánica.

Augusto Laurent (1807-1853) utilizando la cristalografía representaba arreglos de átomos en compuestos orgánicos con estructuras tridimensionales geométricas, si bien, consideraba que la constitución de los compuestos orgánicos podía inferirse de sus reacciones químicas, nunca construyó modelos de estructura molecular. Consideró que se trataba de una representación simbólica y no de la real distribución de átomos en compuestos orgánicos.

En este estado de incertidumbre y confusión en 1858 Cannizzaro retomó la teoría atómica y mostró que a partir de las definiciones de Avogadro de una molécula era posible llegar de una manera simple y directa a la determinación de los pesos atómicos; consideró como peso atómico de un elemento la más pequeña cantidad del elemento que puede entrar en la constitución de una molécula. Stanislao Cannizzaro (1816-1910) expuso sus ideas, en el Primer Congreso Internacional de Química en Karlsruhe en Alemania, con lo que se intentaba alcanzar un acuerdo sobre la incertidumbre generada por las preguntas del peso atómico.

Cannizzaro aplicó las ideas de Avogadro y llamó la atención de los científicos hacia ellas. Desde luego que el acuerdo no fue alcanzado de inmediato y pasaron más de 40 años para superar la polémica provocada por la idea atómica. Cannizzaro definió un átomo de la siguiente forma: "Las diferentes cantidades de un elemento particular involucrado en la constitución de diferentes moléculas son

múltiplos enteros de una cantidad fundamental que siempre se manifiesta como una entidad indivisible a la que propiamente debemos llamar átomo.' Roscoe, resume las definiciones de Cannizzaro en estas palabras: 'Una molécula es un grupo de átomos formando la más pequeña unidad de una especie química, ya sea simple o compuesta, que puede ser aislada o existir por sí misma: es la cantidad más pequeña de una sustancia que puede entrar en reacción o puede ser generada por una reacción; un átomo es la más pequeña unidad de un elemento que puede existir en una sustancia compuesta con una masa química indivisible."⁶⁷ De esta forma los conceptos de molécula y átomo se diferenciaron. El éxito de la hipótesis atómica en la interpretación de la vasta cantidad de material asimilado por los químicos en un siglo de trabajo proveían de información para que sus hipótesis tuvieran una sólida fundamentación.

La definición de los pesos atómicos tuvo poco impacto sobre el debate químico hasta que Cannizzaro demostró que el trabajo de Avogadro proporcionaba un método para obtener un sistema de pesos atómicos que reforzaba el papel conceptual de la teoría atómica. Como una afirmación a lo anterior, Maxwell en 1860, demostró matemáticamente, a partir de una derivación de su teoría de los gases, que igual volumen de gas contiene igual número de partículas. Maxwell señaló la importancia de la teoría cinética de los gases como una evidencia de la teoría de partículas de la materia. A partir de 1860, la teoría molecular de la materia y la teoría química de la materia se incorporaron a las ciencias físicas

Con Dalton se inicia la determinación de los elementos a partir de su peso atómico, tomando como unidad el peso del átomo más ligero existente en la naturaleza: el átomo de hidrógeno. El peso atómico de un elemento es el número que se obtiene de la razón del peso (o masa) de un átomo y el átomo de hidrógeno.

A partir del peso atómico del hidrógeno se determinó el peso atómico del oxígeno como 16. Mediciones más precisas demostraron que este valor era ligeramente más alto en un 1%. La unidad del peso atómico se cambió y en vez de considerar el peso atómico del hidrógeno como 1 se fijó el valor del peso atómico del oxígeno como 16 de tal manera que la unidad fuera 1/16 parte del peso atómico del oxígeno. Esta decisión fue considerada como inconveniente debido a dos razones: la determinación del peso atómico del hidrógeno es particularmente delicada y sujeta a error dado que el hidrógeno es el más ligero de todos los elementos y el peso atómico del oxígeno debe ser expresado como un número entero, dado que son enteras sus combinaciones con otros elementos. Esta convención aún se mantiene. En 1961, el carbono-12 reemplazó al oxígeno como elemento estándar. Cuando el peso atómico del oxígeno es considerado como 16 el peso atómico del hidrógeno es ligeramente mayor que uno: esto es igual a 1.008.

⁶⁷ Pullman, (1998). *Ibid.*, p 207

Durante la segunda mitad del siglo XIX la física y la química orgánica tuvieron un importante desarrollo, lo que permitió la consolidación de la teoría atómica que se mostraba como una poderosa herramienta que daba explicación a distintos fenómenos, sin embargo, la existencia real de los átomos seguía todavía en tela de juicio. Tres tipos de reacción se tenían con relación a la teoría atómica: un grupo eran los defensores quienes se esforzaban en demostrar la existencia de átomos y moléculas; otro grupo, correspondía a científicos más cautelosos quienes reconocían el impacto intelectual de esta teoría pero no se atrevían a adoptarla; y por último, los más reacios opositores a la misma quienes como Berthelot decían que ninguno había visto jamás una molécula de gas o un átomo.

Como se ha mencionado, el desarrollo de la física y la química orgánica daban soporte teórico y experimental a la defensa de la teoría atómica, sin embargo, son dos los desarrollos que tuvieron un impacto decisivo: el establecimiento de la tabla periódica, que representaba el éxito de los esfuerzos realizados por tener un arreglo de los elementos de acuerdo a una de sus propiedades (que era el peso atómico), y el surgimiento de la química estructural, que pasaba de la simple y sencilla descripción verbal de la composición de los elementos a una representación atómica o de equivalencias de sustancias, a través de la determinación de su estructura interna, lo que dio lugar a una teoría de las valencias y de los enlaces químicos.

A partir de esto, se determinó el peso atómico de un gran número de elementos. En 1864 J. A. Newlands (1838-1898), anunciaba la existencia de una relación simple o ley entre los elementos, arreglados de acuerdo al orden natural de los pesos atómicos, el octavo de los elementos, empezaba a partir del primero de los otros, los elementos que pertenecían al mismo grupo se colocaban unos juntos a otros en una relación similar a la que se obtenía entre los extremos de una octava musical. Esta propuesta se designó como la ley de las octavas. Por ejemplo, si uno escribe los elementos en orden ascendente el peso atómico del litio, sodio y potasio ocupan respectivamente el tercer, el undécimo y el décimo noveno lugar; lo que significa que estos tres elementos son desde el punto de vista químico elementos similares. Este arreglo, sin embargo, no fue totalmente satisfactorio y tuvo un frío recibimiento, de hecho la Sociedad Química se rehusó a publicar el trabajo de Newlands.

No hay duda, que la gran contribución, sobre el arreglo de los elementos, la realizó el químico ruso Dimitri Mendeleev cuyo mérito fue tener claramente establecida la relación entre las propiedades de los elementos y su peso atómico. Esta tabla permitió contar con las bases necesarias para un sistema de clasificación de los elementos.

Mendeleev escribió en su libro los Principios de la Química "debe existir una frontera de unión entre la masa y los elementos químicos; y como la masa de una

sustancia es la última expresión ...en el átomo, una fundamental dependencia existe... entre las propiedades individuales de los elementos y su peso atómico. Pero nada... puede ser descubierto sin mirar y experimentar? Así empecé a mirar acerca de los elementos y los escribí en orden descendente... y pronto me convencí de que las propiedades de los elementos tienen una dependencia periódica en relación con el peso atómico; sin embargo tengo dudas acerca de algunos puntos oscuros, si bien nunca he dudado de la universalidad de esta ley, porque no puede ser el resultado del azar”⁶⁸.

Mendeleev construyó su tabla con los 63 elementos conocidos hasta ese momento, usando los pesos atómicos determinados a partir de la combinación de sus densidades de vapor y la hipótesis de Avogadro.

Mendeleev publicó su ley en 1869. Fue el primero en reunir todos los elementos en un sólo sistema el cual fue llamado el Sistema Periódico de los Elementos. Este modelo se muestra en la figura 1.6.

En la tabla periódica los 92 elementos que existen en la naturaleza están arreglados en columnas verticales de 8 elementos a los que se llama grupos. Los grupos se obtienen subdividiendo en periodos las series continuas de los elementos en arreglos en orden ascendente, del peso atómico. El número de los elementos en el sistema periódico es llamado número atómico; así el número atómico 1 es para el hidrógeno y el 92 para el uranio que es el átomo más pesado que existe en la naturaleza

⁶⁸ Amaldi Ginestra, (1966) *Op cit*, p 36

Grupo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Oxidos e hidruros típicos	R_2O	RO	R_2O_3	RO_2 H_4R	R_2O_5 H_3R	RO_3 H_2R	R_2O_7 HR	RO_4	
Serie	1	H(1)							
	2	Li(7)	Be(9,4)	B(11)	C(12)	N(14)	O(16)	F(19)	
	3	Na(23)	Mg(24)	Al(27,3)	Si(28)	P(31)	S(32)	Cl(35,5)	
	4	K(39)	Ca(40)	--(44)	Ti(48)	V(51)	Cr(52)	Mn(55)	Fe(56) Co(59) Ni(59), Cu(63)
	5	[Cu(63)]	Zn(65)	-(68)	-(72)	As(75)	Se(78)	Br(80)	
	6	Rb(85)	Sr(87)	?Yt(88)	Zr(90)	Nb(94)	Mo(96)	-100	Ru(104) Rh(104) Pd(106), Ag(108)
	7	[Ag(108)]	Cd(112)	In(113)	Sn(118)	Sb(122)	Te(125)	I(127)	
	8	Cs(133)	Ba(137)	?Di(138)	?Ce(140)				
	9								
	10			?Er(178)	?La(180)	Ta(182)	W(184)		Os(195) Ir(197) Pt(198), Au(199)
	11	[Au(199)]	Hg(200)	Tl(204)	Pb(207)	Bi(208)			
	12			--	Th(231)	---	U(240)		

Figura 1.6. Sistema periódico de los elementos de Mendeleev.⁶⁹

Este arreglo permitió ver similitudes entre los elementos por lo que los resultados fueron inmediatos. Mendeleev había modificado el peso atómico de ciertos elementos que eran conocidos en 1869 y los colocó en la tabla periódica de acuerdo a sus propiedades químicas. Estas modificaciones se confirmaron con mediciones posteriores. En la tabla, aparecían espacios vacíos que Mendeleev supuso que correspondían a elementos aun no conocidos, y de los que predijo sus propiedades por su colocación en la tabla; en particular la existencia de 3 nuevos elementos (a los que llamó eka-boro, eka-aluminio y eka silicio), que fueron inmediatamente encontrados y rebautizados con el nombre de scandio, galio y germanio. Posteriormente los gases nobles se colocaron en el sistema periódico. El sistema periódico cerraba y resumía la investigación que había empezado con Lavoisier.

La razón fundamental de la similitud de los elementos en los grupos o familias de la tabla establecía una relación entre las propiedades químicas de los elementos y una de sus características medibles.

⁶⁹ Cruz, D., Chamizo J. A., Garriz, A., (1987) *Estructura atómica Un enfoque químico* Addison-Wesley Iberoamericana p 35

los compuestos a ciertas reacciones en sus fórmulas que describían la disposición de los compuestos y mostraban ciertas propiedades químicas. Williamson (1824-1904), consideraba que la importancia de la teoría química atómica no era la indivisibilidad de los átomos, sino la representación de los fenómenos químicos por medio de un lenguaje corpuscular en el que utilizaran pesos atómicos y fórmulas moleculares. Así, los fenómenos químicos demandaban una interpretación de acuerdo a la teoría atómica química.

Hacia la mitad del siglo XIX por consenso se definía a la valencia de un elemento como el número de átomos de hidrógeno con los cuales se puede combinar. En este mismo contexto otro avance significativo lo realizó Augusto Kekulé (1829-1896) con el descubrimiento de la tetravalencia del carbono, un elemento vital en la química orgánica y en la bioquímica. Kekulé demostró la habilidad del carbono de formar largas y complejas cadenas de enlaces y estableció su valencia como 4. Todas estas propiedades fueron perfectamente combinadas en el modelo hexagonal del benceno que propuso en 1865. Introdujo también el concepto de oscilaciones de valencias simples y dobles entre átomos de carbono adyacentes que constituyó un gran avance para la teoría moderna de la resonancia.

Estos logros y los de otros químicos permitieron apreciar el papel del arreglo de los átomos en las estructuras moleculares. Observar la posibilidad de transferir grupos de átomos de un compuesto a otro durante las reacciones químicas, llevó a reconocer que la construcción de las sustancias está determinada por el arreglo de sus átomos.

Otro problema mostrado por Kekulé fue el desarrollo de fórmulas. Es difícil la representación tridimensional de los átomos en arreglos bidimensionales. En 1874 Achille Jacques Le Bel (1847-1930) y Jacob Hendricus Van't Hoff (1852-1911) contribuyeron con su hipótesis del carbono asimétrico. Ellos propusieron que las cuatro valencias del carbono debían apuntar hacia los vértices de un tetraedro regular con el átomo del carbono al centro.

Sin embargo, la existencia de los átomos seguía aún en duda como se muestra en el siguiente párrafo de Kekulé: "La pregunta de si los átomos existen o no es relativamente poco significativa en lo que a la química concierne; éstos problemas pertenecen más al ámbito de la metafísica. En química, todo lo que es relevante es decidir si la hipótesis de los átomos es útil en la explicación de los fenómenos químicos. Puedo establecer pronto que desde un punto de vista filosófico, no creo en la existencia real de los átomos, puesto que en sus términos puede entenderse en el sentido literal de partículas indivisibles de materia. Pero espero que algún día pueda encontrar una explicación mecánico-matemática de lo que hoy día llamamos átomos que pueda contar para el peso atómico, atomicidad [valencia], y muchas otras propiedades de eso que llamamos átomos. Como químico, sin embargo, considero que la hipótesis de los átomos no solamente es útil sino absolutamente esencial. Voy a ir un paso más allá y declararé mi

convicción de que los átomos químicos existen, con la estipulación de que el término designa partículas materiales que no van más allá de la experimentación en la división en las transformaciones químicas. Aun si el progreso nos lleva algún día a la constitución de una teoría de la química atómica –tan importante como puede ser el avance de la filosofía general de la materia- se hará una pequeña diferencia en el campo de la química. Los átomos químicos siempre permanecerán como una unidad química.”⁷¹

1.4.2 La física atómica del siglo XIX

La constitución física de la materia pareció incierta en el siglo XIX. Fue necesaria la creación de una base ontológica de la materia, vista como partículas en movimiento, que se integrara en el programa de la explicación mecánica de la física que se había desarrollado durante el siglo XVIII y que permitiera conservar la coherencia conceptual de la termodinámica. Los físicos distinguieron entre la suposición general de una teoría de partículas de la materia y la adopción de un modelo específico de la estructura molecular. En las explicaciones de distintos fenómenos se encontraba la posibilidad de una teoría que implicara la presencia de la estructura molecular de la materia, tal es el caso del calor, cuya interpretación quedó definida con el desarrollo de la teoría cinética de los gases en 1850. El problema de explicar los fenómenos espectroscópicos indicaba la necesidad de suponer complejas vibraciones moleculares internas, lo que llevaba a serias dificultades teóricas en cuanto a la coherencia formal de la teoría cinética de los gases. De esta forma los problemas de la física molecular llegaron a conflictos experimentales cruciales a partir de dos caminos: la espectroscopia y la teoría cinética de los gases. Estos caminos llevaron a la formulación de una teoría coherente de la estructura molecular de la materia. La termodinámica se convirtió en una teoría molecular que siguió un camino estadístico mientras que en la química el problema de la teoría atómica continuó en debate

1.4.2.1 La teoría cinética de los gases y los avances en la espectroscopia

En el siglo XVIII D. Bernoulli (1700-1782) propuso una teoría cinética de partículas gaseosas, que se construyó a partir de la consideración de la existencia de fluidos imponderables como el calórico y que nunca fue rival para la teoría de Newton en la que las partículas de un gas se mantenían estáticas y en su posición a través de la interacción entre fuerzas. La teoría calórica de los gases dominó la visión de la estructura de los gases hasta 1850 cuando la teoría del calórico fue desplazada por las teorías ondulatorias o mecánicas del calor y las teorías cinéticas propuestas por John Herapath (1790-1868) y John Waterston (1811-1883). Joule para demostrar la equivalencia mecánica del calor hizo mención de la teoría de

⁷¹ Pullman (1998) *Ibid*, p. 232

Herapath argumentando que el movimiento de las partículas era el calor. Clausius (1822-1888) dio la misma interpretación al equivalente mecánico del calor y entusiasmado por el trabajo publicado por Augusto Kröning (1822-1879) utilizó argumentos probabilísticos para explicar el movimiento de las partículas.

Clausius en 1850 estableció los fundamentos conceptuales de la termodinámica al proponer que el principio de equivalencia entre el calor y el trabajo era posible si se consideraba que el calor consistía del movimiento de las partículas que constituían los cuerpos. Evitó, sin embargo, partir de la consideración de la naturaleza del movimiento molecular, como causa de la conversión del calor en trabajo mecánico. Clausius formuló los axiomas de la termodinámica independientemente de las hipótesis acerca de la naturaleza corpuscular de la materia. En 1857 presentó una teoría de movimiento molecular definida en el marco de una teoría de los gases que intentaba resolver los problemas fundamentales de la termodinámica. Consideró que las partículas de gas eran esferas elásticas por lo que la duración de las colisiones entre ellas era despreciable. Por esta razón, el efecto de las fuerzas intermoleculares podía ignorarse en el tratamiento de las colisiones de las moléculas de un gas. Supuso que la temperatura de un gas podía expresarse como la energía de las moléculas del gas, hizo énfasis en que el valor de la velocidad de las moléculas era una velocidad promedio y la velocidad de cada molécula difería dentro de este valor.

Sin embargo, la teoría de Clausius no podía explicar la lenta difusión de un gas, por ello, introdujo un modelo molecular más sofisticado para explicar el movimiento y la interacción de sus moléculas. Considerando el papel de las fuerzas intermoleculares en la determinación de las colisiones entre partículas de un gas y partiendo de ideas tradicionales sobre fuerzas intermoleculares propuso que las fuerzas moleculares eran atractivas a grandes distancias y repulsivas a corta distancia, el límite era el radio de la esfera de acción de cada molécula. Esta esfera se calculaba por la interacción molecular ocurrida durante las atracciones e impactos.

Clausius introdujo el concepto de "camino libre", esto es, la distancia promedio en la que una molécula se mueve antes de que su centro de gravedad entre en la esfera de acción de otra molécula a partir de la cual se da una colisión. Obtuvo una expresión pero no valores para esta magnitud. Considerando el movimiento de las moléculas de un gas como un proceso azaroso introdujo argumentos probabilísticos en la discusión de los choques entre moléculas.

Maxwell (1831-1879) vio en este modelo la necesidad de introducir un análisis estadístico de la distribución de las velocidades. Consideró que las velocidades se distribuyen entre las moléculas de acuerdo con una función de distribución que es similar al Análisis de Laplace de la distribución de errores. Bajo la influencia de Thomson (1824-1907) propuso en su tratado de Filosofía Natural (1867) la teoría cinética de los gases en función del movimiento y las colisiones que ocurren entre

partículas. Maxwell aplicó proposiciones matemáticas a las colisiones de las partículas similares a las que pueden aplicarse en el estudio de las propiedades de los gases y líneas de fuerza que son similares a las desarrolladas para el fenómeno electromagnético. Si bien el trabajo de Maxwell es un tratamiento mecánico matemático de una partícula, en su publicación presenta una teoría física de las propiedades moleculares de la materia.

Maxwell estaba a favor de la teoría atómica formulada por los atomistas griegos. Durante una conferencia presentada a la Asociación Británica en 1873 expresó "De acuerdo con Demócrito y su escuela atomista,.... después de un cierto número de divisiones, la gota [de agua] será dividida en un número de partes las cuales serán incapaces de más divisiones. Nosotros debemos entonces, llegar con la imaginación al átomo, el cual literalmente significa que no puede ser dividido en dos. Esta es la doctrina atómica de Demócrito, Epicuro y Lucrecio y yo me uno a ella."⁷²

En este proceso de construcción de la teoría atómica, la definición de molécula y átomo aún no se había difundido sobre el terreno de los físicos. Sin embargo, Maxwell presenta su posición de la siguiente forma: "Una gota de agua.... será dividida en un cierto número, y no más, de porciones similares una de otra. A cada una de ellas los químicos modernos la llama molécula de agua. Pero esto no significa un átomo, ya que contiene dos diferentes sustancias, oxígeno e hidrógeno, y por un cierto proceso la molécula puede ser dividida en dos partes, una consistente de oxígeno y otra de hidrógeno. ... en cada molécula de agua hay dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Si hay o no átomos últimos no deberé intentar decidirlo. Toda sustancia, simple o compuesta, tiene sus propias moléculas. Si la molécula se divide, sus partes son moléculas de diferentes sustancias o sustancias de las cuales el todo es una molécula. Un átomo, si existe tal cosa, debe ser una molécula de una sustancia elemental. Dado que, por lo tanto, toda molécula no es un átomo, pero todo átomo es una molécula, usaré el término molécula como el término más general."⁷³

Sobre la constitución de las moléculas expresa lo siguiente: "Las moléculas están conformadas ... con una precisión que no puede encontrarse en las propiedades sensibles de los cuerpos que ellas constituyen. En primer lugar, la masa de cada molécula individual, y todas sus propiedades, son absolutamente inalterables. En segundo lugar, las propiedades de todas las moléculas de la misma clase son idénticas ... La molécula, si bien indestructible, no es un cuerpo rígido duro, pero es capaz de movimientos internos, y cuando ésta es excitada, emite rayos, cuya longitud de onda es una medida del tiempo de vibración de una molécula. Mediante el espectroscopio, las longitudes de onda de distintas clases de luz pueden compararse dentro de una diez milésima parte. En esta forma se asegura,

⁷² Pullman, (1998) *Ibid.*, p. 154

⁷³ Pullman, (1998) *Ibid.*, p. 155

no solamente que las moléculas tomadas de cada espécimen de hidrógeno de nuestro laboratorio tiene el mismo conjunto de periodos de vibración, pero la luz, tiene los mismos conjuntos de periodos de vibración, que es emitida del sol y de las estrellas fijas. Podemos asegurar que las moléculas de la misma naturaleza que nuestro hidrógeno existen en esas regiones lejanas, o al menos existieron cuando la luz que vemos fue emitida.”⁷⁴

Para Maxwell las moléculas de gas son esferas elásticas y sus colisiones moleculares y la derivación de los procesos de transporte de gases, viscosidad, conducción del calor y difusión se calculan a partir del promedio del camino libre de los gases. Los experimentos sobre viscosidad de los gases con variación de la temperatura contradecían su modelo de moléculas esféricas, lo que le llevó a modificar su aproximación al problema de la estructura molecular.

El refinamiento de su teoría se publicó en 1867 en la Teoría Dinámica de los Gases, cuyo propósito era criticar a Clausius sobre sus derivaciones de la función de distribución de la velocidad y su derivación sobre las propiedades de los gases a partir del concepto del promedio del camino libre. Maxwell abandonó este concepto como un elemento de análisis de los movimientos moleculares y consideró encontrarse entre moléculas vistas como “centros de fuerzas” más que como colisiones entre esferas elásticas. Encontró que si la ley de fuerza de repulsión entre el centro de fuerza fuese inversa a la 5ª potencia, la viscosidad variaría directamente con la temperatura lo que confirmaba sus experimentos.

El trabajo de Maxwell sobre la teoría de los gases puso énfasis en dos aspectos: en las propiedades de las moléculas y en el análisis matemático de los movimientos moleculares. En su lectura “Moléculas” (1873) mostró evidencia de la naturaleza de la materia. La teoría cinética de los gases permitía explicar las propiedades de la materia a partir de una teoría de movimientos moleculares dentro del marco de formulación de modelos de la estructura molecular. Más aun, la vibración de las moléculas, en la espectroscopia, eran la fuente del espectro y podían ser la base de una teoría molecular.

Las constricciones de la teoría de los gases y la espectroscopia dieron forma a los siguientes trabajos sobre física molecular. Maxwell distinguió la teoría de los gases basada en una explicación estadística, de una teoría basada en un método dinámico en relación con el movimiento de partículas individuales de materia. Argumentó que la teoría de los gases estaba sujeta a una dinámica o método histórico, ya que sus aplicaciones eran datos perfectos sobre el movimiento de moléculas individuales. En su lectura “Moléculas”, explicó que la más pequeña porción de materia con la que se experimente consiste de millones de moléculas, por lo que, el movimiento de las moléculas individuales no puede ser observado. Por esta razón, los experimentos en física molecular, no pretendían ser precisos

⁷⁴ Pullman, (1998) *Ibid*, p. 155

en cuanto a una información estadística sobre la agregación de las moléculas. Maxwell mantuvo que en su teoría de los gases, la probabilidad de una regularidad del promedio reemplaza la certeza absoluta de los métodos dinámicos estrictos. La teoría de los gases es, por ello, una teoría basada en métodos estadísticos que es distinta de una teoría de movimientos moleculares. Maxwell desarrolló este argumento para la 2ª ley de la termodinámica que es una ley esencialmente estadística y no puede ser expresada como una ley dinámica que describe un movimiento de moléculas individuales.

Maxwell, también, distinguió los problemas de la ciencia molecular a partir de la discusión de la naturaleza de los "últimos átomos". En su artículo "átomo" (1875) observó que la ciencia molecular estaba acorde con las propiedades de la materia y con la evidencia de su particular estructura, en donde era satisfactoria la teoría atómica de la materia. Comparó la teoría atómica de vórtices con la teoría cinética de los gases. A la primera la veía como una teoría atómica de las sustancias que daba explicación de la inmutabilidad de la materia y de la gravedad. En contraste, la teoría cinética de los gases daba evidencia de la estructura de la materia y de las propiedades y movimientos de las moléculas. Maxwell consideró que la teoría cinética de los gases daba las bases para la formulación de modelos de la estructura molecular de las sustancias.

Uno de los principales problemas que enfrentaba la teoría molecular de la materia eran las restricciones impuestas por diferentes fenómenos moleculares en la formulación de sus modelos. A partir de su teoría cinética de los gases Maxwell describió matemáticamente que la energía cinética de las moléculas de un gas estaba igualmente distribuida entre los movimientos mecánicos internos de las moléculas. Este teorema conocido como teorema de equipartición de la energía estaba en conflicto con los resultados experimentales de las propiedades térmicas de los gases (en particular los resultados obtenidos en la medición y cálculo del calor específico), que implicaban una restricción en el movimiento interno de las moléculas.

Las limitaciones sobre las propiedades mecánicas de las moléculas requerían de explicar la estructura molecular de los gases que estaba en conflicto con la evidencia espectroscópica, como indicaba que las líneas espectrales eran resultado de vibraciones moleculares internas lo que contradecía la suposición de restricciones sobre los movimientos internos de las moléculas. Había pues inconsistencias en la teoría molecular y conflictos entre la evidencia esbozada por la teoría de los gases y la espectroscopia. Maxwell propuso utilizar el teorema de equipartición, para resolver estas inconsistencias. A partir de este momento se construyeron distintos modelos por ejemplo: los experimentos con vapor de mercurio demostraron que era monoatómico de acuerdo con la teoría de Maxwell y en los 1890s John William Strutt, Lord Rayleigh (1842-1919), demostró que el argón era un gas monoatómico usando el mismo experimento.

La espectroscopia tuvo una mejor suerte con el teorema de equipartición. En la década de 1860 la discusión sobre la naturaleza de los espectros se realizó como un problema de la física molecular. La presencia de las líneas espectrales, (líneas negras en el espectro solar) habían sido descritas al inicio del siglo por Joseph Fraunhofer (1787-1826). Eran puntos a discusión la relación entre las líneas espectrales de Fraunhofer y las líneas espectrales producidas por sustancias químicas puestas en la llama. Al final de la década de 1850 Robert Bunsen (1811-1899) y Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) habían caracterizado las líneas espectrales de distintos elementos químicos. En 1859, Kirchhoff estableció la relación entre líneas negras y brillantes y el espectro de líneas de la llama. Argumentando que los elementos químicos podían absorber y emitir luz de la misma longitud de onda, Maxwell sugirió que las líneas negras del espectro solar eran resultado de una absorción selectiva de la luz del Sol de elementos químicos en la atmósfera solar. La espectroscopia fue de interés para la química, ya que constituía un método de análisis químico que además provocaba especulaciones sobre la naturaleza de los elementos químicos.

En las décadas de 1870 y 1880 se especuló sobre las implicaciones químicas de la espectroscopia. Análisis de espectros estelares revelaron la existencia de gases ligeros en el espectro de las estrellas más calientes, mientras que las estrellas más frías contenían una gran proporción de metales pesados, estos análisis llevaron a una hipótesis sobre la evolución de los elementos químicos a partir de sustancias más simples como resultado del enfriamiento y condensación de elementos más ligeros en las estrellas. Así, la discusión sobre evolución y complejidad de los elementos permaneció especulativa.

Maxwell percibía las implicaciones que tenía la espectroscopia para la física molecular y expresó que el espectro era el resultado de vibraciones de las moléculas que se comunicaban a través del éter. Supuso que las moléculas vibraban como campanas y sugirió que los armónicos aurales de las campanas eran análogos a las líneas espectrales producidas por la vibración de moléculas. En la década de 1880 los físicos desarrollaron modelos moleculares para explicar los espectros y sostuvieron que los espectros guiaban las vibraciones internas de las moléculas. Trataron de hacer compatibles estos resultados con el teorema de equipartición lo que implicaba una restricción sobre la estructura mecánica de las moléculas. La estructura molecular era compatible con el teorema de equipartición y permitía calcular líneas espectrales como las observadas en los espectros de los elementos químicos. Larmor, Fitzgerald y Arthur Schuster (1851-1934) propusieron teorías electromagnéticas en las que los espectros se explicaban mediante las oscilaciones de los electrones.

William Thomson mostró que el teorema de equipartición resultaba inadecuado en la teoría molecular de la materia. La formulación de modelos mecánicos de la estructura molecular, bajo el marco conceptual de la teoría cinética de los gases, le parecía amenazada si el teorema de equipartición era válido. Para Rayleigh el

teorema era una consecuencia necesaria de la teoría cinética y para Ludwig Boltzmann (1844-1906) se trataba de una consecuencia fundamental de la teoría cinética de los gases. El teorema de equipartición permaneció como un hecho fundamental de la visión molecular en los sistemas mecánicos.

El análisis de las fuerzas moleculares era una forma de evitar los problemas del teorema de equipartición. En 1870, Clausius intentó explicar la 2ª ley de la termodinámica de acuerdo a los principios mecánicos que relacionaban calor y temperatura. El teorema del virial relacionaba la teoría cinética de las moléculas y las fuerzas que actuaban entre ellas y en 1873 Johannes Diderik van der Waals (1857-1923) aplicó el teorema del virial al estudio de las propiedades de los gases. Para Maxwell estos estudios llevaban a una mayor discusión sobre las fuerzas moleculares y la estructura molecular que hacían referencia al teorema de equipartición. En 1900, mientras Thomson concluía que la forma más simple de preservar la coherencia de la visión mecánica era rechazar el principio de equipartición, Boltzmann consideraba que el teorema era parte esencial de la teoría cinética de los gases y que establecía la coherencia conceptual de la visión mecánica de la naturaleza.

1.4.2.2 La termodinámica y la física atómica del siglo XIX

Con la formulación de la teoría cinética de los gases de Clausius y con el establecimiento de las consideraciones estadísticas de una teoría de movimiento molecular de los gases de Maxwell, se construyeron las bases mecánicas para la termodinámica. El punto de discusión de Maxwell era mostrar que la segunda ley de la termodinámica era una ley estadística que describía las propiedades de un sistema dentro de un inmenso número de moléculas y no el comportamiento de una molécula individual dentro del sistema. Maxwell deseaba demostrar que la 2ª ley de la termodinámica tenía tan solo una certeza estadística.

Maxwell publicó las limitaciones de la 2ª ley en su teoría del calor en 1871 y señaló que no hay inconsistencias con las leyes de la mecánica y las leyes de conservación de la energía. La segunda ley no es una ley dinámica que pueda describir los movimientos individuales de las moléculas por lo que los físicos adoptaron un método de cálculo estadístico y abandonaron el método dinámico. Desde este punto de partida consideró ilusorio el intento de Clausius de reducir la segunda ley a una teoría de configuraciones moleculares por medio de la explicación de la entropía en términos de disgregación.

En 1866 Boltzmann contrastó el ambiguo papel conceptual de la segunda ley con la seguridad de la ley de conservación de la energía, e intentó hacer corresponder la segunda ley con los teoremas de la mecánica sin embargo no pudo formular una prueba general, lo que lo llevó a la adopción de una dinámica análoga a la entropía, que era el mismo resultado obtenido en 1871 por Clausius.

Siguiendo los trabajos de Maxwell, Boltzman desarrollo un tratamiento estadístico de la teoría de los movimientos moleculares y utilizando la ley de distribución de velocidades formuló una prueba estadística de la segunda ley. En 1872 demostró que esta ley era la única posible para un estado de equilibrio, sin importar cuales sean las condiciones iniciales de un gas. Boltzman también desarrolló una fórmula que expresa el incremento de la entropía en un sistema aislado siempre que no ocurra un proceso irreversible. Este teorema fue llamado teorema H y es utilizado en la ley de distribución estadística de movimientos moleculares para establecer el concepto de irreversibilidad creciente de la entropía

Boltzmann, sin embargo, no veía la segunda ley como una ley estadística. La formulación de su teorema H afirmaba que la entropía podría necesariamente incrementarse en un proceso irreversible, el incremento en la entropía se expresaba como una certeza y no una probabilidad. El problema en este punto era el lugar de la irreversibilidad y las relaciones entre las leyes de la dinámica y el proceso de irreversibilidad natural, a partir de la segunda ley. Joseph Loschmidt (1821-1895) argumentaba, que la irreversibilidad era un suceso contingente y no necesario en el mundo natural, (que fue conocida más tarde como la paradoja de la irreversibilidad). El movimiento de un sistema de partículas hacia un estado de equilibrio podría estar acompañado por un incremento de la entropía; porque las ecuaciones de movimiento de las partículas eran invariantes en el tiempo, el tiempo de reversa de estos movimientos de un estado de mayor equilibrio a otro de menor equilibrio podría estar acompañado por una disminución de la entropía. Ante esto, Boltzmann respondió que el incremento irreversible de la entropía no podía ser derivado de las leyes de la mecánica, porque las ecuaciones de movimiento de las partículas no resulta afectado por el tiempo en reversa.

Maxwell sobre el problema opinó en una carta escrita a Strutt (Rayleigh después) en 1870 que el tiempo en reversa de todos los eventos era consistente con las leyes de la dinámica pero inconsistente con la segunda ley y llegó a la conclusión de que el proceso de irreversibilidad natural señalado en la segunda ley no podía ser explicado por principios dinámicos. Para resolver la paradoja Boltzmann adoptó una interpretación estadística de la entropía. De acuerdo con ella puede afirmarse que no es posible que la entropía se incremente necesariamente ya que su incremento es una ley estadística, sin embargo, el proceso inverso de disminución de la entropía es excesivamente improbable, si bien, no absolutamente imposible. En 1877 Boltzmann amplió su interpretación de la entropía enunciando su relación como la posible configuración molecular de un sistema. Definió la 2ª ley como una ley estadística y la entropía de un sistema como la medida de su probabilidad. El incremento de la entropía en un proceso natural respondía a la tendencia de los sistemas de alcanzar las distribuciones moleculares más probables y el proceso de irreversibilidad natural era una consecuencia de la tendencia de los sistemas a alcanzar el estado más probable, el estado de equilibrio térmico.

Durante las últimas décadas del siglo XIX la aproximación termodinámica de Boltzmann fue una teoría estadística de los movimientos moleculares. En 1891 Max Planck (1858-1947) estableció las dificultades que encontraba al intentar relacionar esta teoría estadística molecular y los conceptos termodinámicos. Planck cuestionaba el intento de explicar los conceptos termodinámicos por medio de la teoría estadística de movimientos moleculares de Boltzmann y contrastaba las ambigüedades de este programa con el éxito alcanzado en el trabajo de los teóricos que habían empleado los conceptos de energía y entropía sin referencia alguna a la teoría molecular del movimiento. Para ello mostraba el desarrollo de la termodinámica química en el trabajo de Willard Gibbs (1839-1903) sobre la aplicación de la entropía y la energía a un estudio de los procesos químicos. En 1876, Gibbs formuló el concepto de equilibrio químico de un sistema en términos de la energía y la entropía

El desarrollo de la termodinámica química incluyendo el trabajo de Helmholtz y Planck sobre las aplicaciones del concepto de entropía a las reacciones químicas sembraron las bases para el desarrollo de una teoría alternativa basada en la interpretación de la entropía de Boltzmann.

El estudio de los efectos térmicos en las combinaciones químicas, dio información acerca de las reacciones químicas. Alrededor de 1880 Gibbs, Helmholtz y Planck aplicaron los conceptos termodinámicos al estudio de los procesos químicos como mecanismos de reacción, la naturaleza de la afinidad química, la teoría del equilibrio químico, y la dirección de las reacciones químicas se incluyeron en el marco de explicación de la termodinámica.

Durante la década de 1880 una nueva disciplina se constituyó, la química física, que estaba íntimamente unida con el desarrollo de la termodinámica química y especialmente con el estudio de la teoría de las disoluciones. Jacobus Henricus Van't Hoff (1852-1911) sostuvo que existía una analogía entre las disoluciones químicas y los gases y desarrollo así un tratamiento termodinámico de la química de disoluciones. Svante Arrhenius (1859-1927) aplicó el concepto electroquímico de la disociación de ciertos compuestos químicos en la teoría de disoluciones de iones cargados. Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932) siguiendo estas ideas y el desarrollo sistemático de una teoría de las disoluciones químicas basados en los conceptos de disociación iónica y la analogía entre gases, aplicó los conceptos termodinámicos al estudio de los procesos químicos. Este programa de investigación constituyó la base de su química física.

Ostwald desarrolló su programa termodinámico dentro de una teoría general de energéticos. Consideró que la tarea futura de la ciencia fisico-química debería ser el desarrollo de los conceptos de energía. La energía como entidad real en la naturaleza y la materia como su derivado, todo como una manifestación de la energía. Ostwald se opuso al uso de los conceptos atómicos en la química, y

rechazó todos los conceptos asociados con esta teoría como eran, la teoría cinética de los gases y el programa de explicación mecánica de la física. Consideró a la entropía como una cantidad representada en la disipación de la energía, Planck se opuso y declaró que la 2ª ley no podía ser interpretada en términos del concepto de energía. En sus escritos sobre termodinámica Planck intentó delinear el papel conceptual de entropía señalando el significado crucial de la irreversibilidad y la importancia de la entropía en la dirección del proceso natural.

Mientras Boltzmann continuaba con su interpretación de la entropía y la irreversibilidad como conceptos estadísticos esenciales, Planck criticaba la interpretación probabilística de la entropía. Como un resultado de sus estudios sobre el proceso de irreversibilidad de la radiación, Planck adoptó la interpretación probabilística de la entropía abandonando eventualmente su posición anterior y aceptando la visión completamente estadística de Boltzmann.

1.4.3 Los antiatomistas del siglo XIX

Los grandes debates entre atomistas y antiatomistas se dieron entre hombres de ciencia y no en el campo de la filosofía, sin embargo, estos últimos defendieron su posición siempre tocando los aspectos filosóficos del problema. Pullman ha dividido a los antiatomistas de este periodo en dos grupos: los equivalentistas y los energicistas.

Dentro de los equivalentistas se encuentra Marcellin Berthelot (1827-1907) quien limitaba el objetivo de la ciencia al desarrollo de esquemas de clasificación de acuerdo con el fenómeno observado. Para él la hipótesis atomista era fuente de confusión. " La definición de pesos equivalentes es clara y generalmente de fácil demostración experimental. La definición de átomo es verdaderamente diferente. Se basa algunas veces en una noción de peso equivalente, y otras en una noción de calor específico, que es una cantidad variable que no puede servir como base de una definición rigurosa. En resumen, el átomo está definido en su nuevo sistema por tres diferentes nociones, las cuales descansan en resultados incompatibles y en selecciones arbitrarias. Por tanto, la definición de átomo es en sí misma arbitraria, y es por ello que lleva confusión a la ciencia, por su debilidad es que la rechazamos como base para la enseñanza de la química."⁷⁵

Para Berthelot la teoría atómica era simplemente una hipótesis que no podía demostrarse por las leyes formuladas por la ciencia. De igual manera, la notación atómica química era simplemente una teoría de lenguajes más que una descripción de hechos. Estas representaciones podían ser fácilmente manipulables y no mostrar la realidad. Los átomos eran una simple hipótesis que

⁷⁵ Pullman, (1998) *Ibid*, p 233.

no podía ser nunca una teoría ya que no se sustentaba en hechos y datos empíricos. Berthelot tuvo gran influencia en la educación en Francia y durante este tiempo dejó de mencionarse en los textos y en las aulas la palabra átomo, todo el conocimiento que se impartía estaba relacionado con la obtención de datos y la descripción de hechos.

Otra escuela opuesta al atomismo era la de los energicistas. Esta corriente surgió a mediados del siglo XIX y durante la primera década del siglo XX. Los principales representantes de este movimiento son Ernst Mach (1838-1916) en Austria, Wilhelm Ostwald (1853-1932) en Alemania y Pierre Duhem (1861-1916) en Francia. Defendían el estudio fenomenológico de la naturaleza como una fuente de conocimiento, rechazaban cualquier hipótesis acerca de la realidad objetiva de la naturaleza y no tenían ningún interés en explicar su esencia. Desde este punto de partida la teoría atómica era rechazada por carecer de datos experimentales que mostraran la existencia de átomos y moléculas, así, este problema debía ser abordado por la metafísica pero no era tarea de la física. Ostwald llegó incluso a negar la existencia de la materia. "La materia es una invención La única realidad que nos afecta directamente, es la energía" Y continúa diciendo sobre el atomismo " El atomismo es una doctrina que ha fallado miserablemente en cualquier intento serio de explicar, mediante estos mecanismos, todos los fenómenos físicos conocidos."⁷⁶

1.4.4 Los modelos atómicos del siglo XX

Hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX, en la química, se contaba con cálculos precisos del peso atómico de los elementos expresados en unidades definidas derivadas del peso del oxígeno. Esto permitía encontrar las razones entre los pesos de varios átomos, pero no se podía predecir su masa en gramos. Mas aun los químicos afirmaban que las moléculas y los átomos eran tan pequeños que escapaban de las observaciones directas lo que no permitía dar siquiera indicaciones sobre su tamaño.

Años antes, alrededor de 1827, Robert Brown (1733-1858) había hecho un descubrimiento que había quedado sin explicación. Brown había examinado en el microscopio una gota de líquido en el cual había suspendidos diminutos granos de polen que se movían azarosa y continuamente siguiendo caminos en zig-zag, independientemente del camino seguido por otras partículas cercanas, este movimiento nunca cesaba y fue llamado movimiento browniano.

Este hecho no había causado gran interés a pesar de ser fácilmente observable en cualquier fluido no muy viscoso en donde las pequeñas partículas suspendidas

⁷⁶ Pullman, (1998) *Ibid*, p 237

tenían este movimiento que podía ser observado por muchos años sin ver que disminuyera.

Las características del movimiento browniano llevó a C. Wiener a concluir, en 1863, que “la agitación no se originaba ni en las partículas ni en alguna causa externa del líquido sino que debía ser atribuida al movimiento interno que era característico del estado fluido”⁷⁷. La conclusión de Wiener fue ampliada en 1905 por Einstein, quien formuló una teoría cuantitativa para el movimiento browniano que terminó finalmente Smoluchowski en 1906.

El desordenado movimiento de las partículas en suspensión, explicaban, es causada por las colisiones que tienen con las moléculas del líquido cuyo movimiento es más activo a altas temperaturas del líquido. El movimiento browniano es entonces un intermediario entre nosotros y el mundo de las moléculas. Las partículas en suspensión son lo suficientemente grandes para observarse a través del microscopio pero son lo suficientemente pequeñas para conservar el movimiento provocado por las colisiones con las moléculas del fluido en el cual están inmersas.

Estas hipótesis fueron objeto de experimentos del francés Jean Perrin (1870-1942). Era la primera prueba real de la existencia de las moléculas e hizo posible establecer el valor en gramos de la masa de las moléculas, valores que se confirmaron después a través de mediciones realizadas con otros métodos. Estos hallazgos estaban dentro de los límites de errores experimentales y fueron la mejor prueba de la realidad de la hipótesis atómica.

Posteriormente se encontró que la masa del átomo de hidrógeno, el átomo más ligero que existe en la naturaleza era de 1.673×10^{-24} g, y que la del uranio, el átomo más pesado, es de 398×10^{-24} g. El tamaño de las moléculas o su equivalente, esto es, el número de moléculas contenidas en un volumen de gas se determinó utilizando distintos fenómenos como; la viscosidad de los gases, la difusión de la luz del sol (el color azul que se produce en el cielo), y los fenómenos radiactivos; todos los métodos arrojaron resultados iguales: en un litro de cualquier gas de una sustancia existen 27×10^{27} moléculas. Con ello se encontró que las moléculas son extremadamente pequeñas: las dimensiones de una molécula inorgánica es del orden de 10^{-8} cm.

En los inicios del siglo XX la teoría atómica era prácticamente aceptada por toda la comunidad científica. Los descubrimientos realizados por los químicos a finales del siglo XIX lograron dejar de dudar de la existencia de los átomos. Jean Perrin (1870-1942) reconocía abiertamente la validez de la teoría atómica en su libro *Fundamentos de la Física Química*. Para muchos científicos, la publicación del libro *Átomos* de Jean Perrin en 1913, señalaba la victoria de la teoría atómica. Los

⁷⁷ Amaldi Ginestra, (1966) *Op cit*, p 39

átomos eran reconocidos como los constituyentes fundamentales de la materia. Una nueva historia del atomismo se iniciaba en la que se descubrirían nuevos componentes lo que los convertía en unidades compuestas. Esto significaba que los átomos habían perdido su característica de indivisibilidad.

El descubrimiento crucial del electrón rompió con la hipótesis de la existencia de una partícula indivisible y dio inicio a los estudios sobre su compleja estructura. En 1833 Michel Faraday (1791-1867) había mostrado con la electrólisis la existencia de lo que consideraba partículas de electricidad "si se acepta la hipótesis de que las sustancias elementales están formadas por átomos, no podemos evitar concluir que la electricidad misma está dividida en partes elementales las cuales serían átomos de electricidad"⁷⁸. En 1874 George Johnstone Stoney (1826-1911) llamó a estas partículas electrones. Estas ideas permanecieron sin cambio hasta los experimentos de Crookes en 1879 quien condujo electricidad a través de ciertos gases, experimento al que se conoce como rayos catódicos.

Después de muchos experimentos con los rayos catódicos en 1897 Joseph John Thomson (1856-1940) mostró que estos rayos eran partículas que llevaban carga negativa. Estas partículas eran las mismas cargas eléctricas elementales que habían propuesto Helmholtz y Stoney. Esto era una prueba de que la electricidad tenía una estructura granular. Thompson determinó la relación de la masa a la carga eléctrica de las partículas (m/e), cuyo valor fue del orden de 10^{-11} kg/C (kilogramos/coulombs), este valor era unas mil veces más pequeño que el ión de hidrógeno que se había calculado en $\sim 10^{-8}$ kg/C.

Robert Millikan (1868-1953) continuó con los trabajos de Thomson y realizó otras mediciones, actualmente el valor aceptado para la carga eléctrica de un electrón es 1.6021×10^{-19} coulombs y 9.1095×10^{-31} kg para su masa. Posteriores investigaciones de Thomson mostraron que las propiedades de los electrones no cambiaban a pesar del gas por el que se condujera la electricidad, esto confirmó que los electrones eran constituyentes de todos los átomos. "Debido a que los electrones pueden ser producidos por todos los elementos químicos, debemos concluir que son parte de la constitución de todos los átomos. Hemos dado el primer paso para comprender la estructura del átomo"⁷⁹.

En experimentos sobre la emisión radiactiva de partículas β (electrones que se mueven a muy alta velocidad) observada en el decaimiento de los átomos de uranio, Henri Becquerel (1852-1908), Marie Curie (1867-1934) y su esposo Pierre Curie (1859-1906) confirmaron la presencia de los electrones como partículas subatómicas.

⁷⁸ Ginestra Amaldi, (1996). *Ibid.*, p. 45

⁷⁹ Pullman, (1998) *Op cit.*, p. 259

La afirmación de que los electrones eran parte constitutiva de los átomos generó preguntas como ¿Cuál es el número de electrones dentro de cada una de las especies atómicas? ¿Cuál es la función que tiene el electrón en la estructura del átomo?

Los estudios realizados por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) sobre la difracción de rayos X y por Antonius van der Broek (1870-1926), Lord Rutherford (1871-1937) y Henry Moseley (1887-1915) sobre la dispersión de partículas α emitidas por sustancias radiactivas, mostraron que el número de electrones de un elemento es proporcional a su peso atómico (aproximadamente la mitad del peso atómico). Se encontró que el número de electrones correspondía con el número atómico de los elementos en la tabla periódica.

En cuanto a la función del electrón en el átomo la respuesta se enfocó en dos aspectos: 1) la necesidad de entender la causa de la neutralidad eléctrica del átomo, lo que llevó a determinar que debía existir carga eléctrica positiva que neutralizara la carga negativa del electrón y; 2) descubrir la fuente de la masa atómica, ya que el número de electrones en el átomo era siempre muy pequeño, por lo que, a esta masa debía sumarse otra que fuese cercana a la masa del átomo. Estos dos elementos permitieron la construcción de los primeros modelos atómicos

Lord Kelvin (William Thomson (1824-1907)) y J J Thomson propusieron, casi simultáneamente, la primera teoría sobre la estructura del átomo concebida ahora como una entidad compuesta. El modelo propuesto en 1902 por Kelvin fue considerar una nube de carga eléctrica positiva distribuida uniformemente en la cual los electrones se encontraban inmersos, lo que producía una situación de equilibrio de cargas cuando estaban en reposo. En 1903-1904, J J Thomson, propuso una variante al modelo en el que los electrones estaban distribuidos en círculos concéntricos dentro de una esfera de electricidad positiva y podían moverse en ellos a grandes velocidades. En ambos modelos se aceptaba la estructura granular para la carga negativa pero dentro de un continuo de carga positiva.

El modelo de Thomson fue modificado por Rutherford quien propuso un modelo análogo al sistema planetario. El elemento central del modelo era un núcleo atómico más pequeño que el átomo en el que tanto la masa como la carga positiva del átomo estaban concentradas; siguiendo la analogía del sistema solar, los planetas serían los electrones que se encontraban girando alrededor del núcleo. Dado que el tipo de átomo se caracterizaba por el número de electrones específicos, para conservar el equilibrio eléctrico del átomo, el núcleo debía tener una carga positiva igual a la suma de la carga de los electrones. Por ejemplo, en el átomo de hidrógeno la carga positiva del núcleo debía ser igual a la carga negativa de un electrón. En 1920, Rutherford llamó a la carga positiva del núcleo protón. La carga positiva del núcleo debía ser entonces un múltiplo de la carga

negativa del electrón. Por esta razón, el número atómico se convirtió en una medida de la carga positiva del núcleo y del número de electrones que lo rodean.

El modelo de Rutherford se construyó a partir de los experimentos de dispersión de partículas α de Hans Geiger (1882-1945) y Ernst Marsden (1889-1970). Rutherford proponía que la dispersión de las partículas era causada por la presencia del núcleo atómico con carga positiva. Después de varios experimentos se encontró que el núcleo era del orden de 10^{-14} m, esto implicaba que el átomo estaba formado principalmente de espacio vacío.

Rutherford tenía dudas sobre el funcionamiento de su modelo, en el caso del sistema planetario el equilibrio de fuerzas estaba determinado por la fuerza centrípeta de su movimiento orbital y la fuerza gravitacional Newtoniana asociada con su masa. En el caso de los átomos la fuerza gravitacional fue sustituida por una fuerza coulombiana de atracción entre las cargas opuestas del núcleo y los electrones. Sin embargo, desde el marco de la electrodinámica clásica un electrón que se mueve en estas condiciones emite radiación electromagnética lo que le hace perder energía, y caer hacia el núcleo con una trayectoria en espiral lo que presentaba un problema de estabilidad en el átomo.

Por otro lado, el modelo de Rutherford no explicaba los espectros de emisión de los átomos. Estos espectros consistían de líneas discretas que correspondían a determinadas frecuencias de ciertos átomos particulares. Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) y Robert Bunsen (1811-1899) habían demostrado que estas líneas espectrales constituían una huella digital de cada átomo. En el modelo de Rutherford el movimiento de los átomos indicaba que la frecuencia de la radiación emitida debía variar continuamente por lo que el espectro debía ser continuo, sin embargo, los experimentos mostraban que los átomos de un gas no emitían en todas las frecuencias posibles sino por el contrario lo hacían solamente bajo ciertas frecuencias bien definidas.

De esta forma, el modelo atómico de Rutherford no cumplía con las leyes de la mecánica y el electromagnetismo. En realidad ésta no era la primera ocasión en la que las leyes del mundo macroscópico parecían no poderse aplicar al mundo del átomo, esto fue lo que llevó a construir nuevas leyes que no fuesen una simple modificación de las ya existentes sino que representaran una modificación de las ideas clásicas que pusieran en armonía las construcciones teóricas con los resultados experimentales.

El primer intento de construcción de nuevas leyes para el mundo atómico lo hizo el físico alemán Max Planck (1858-1947) en 1900, trabajo que posteriormente fue ampliado por Albert Einstein (1879-1955) en 1905. A esta nueva teoría se le conoce como Teoría Cuántica. Los trabajos de Planck tuvieron como base el problema de la radiación del cuerpo negro. Un cuerpo negro es un cuerpo que absorbe toda la radiación que llega a él. La aplicación de las leyes de la mecánica

y el electromagnetismo en el estudio teórico de la radiación emitida por el cuerpo negro llevaban a una contradicción con los resultados experimentales. Desde 1899, se habían realizado intentos por superar estas contradicciones, sin embargo, Planck encontró que los cálculos teóricos estarían de acuerdo con los resultados experimentales, si se partía de la siguiente hipótesis: cuando un átomo emite energía en forma de radiación de frecuencia ν , esta energía no es emitida continuamente sino en cantidades que son múltiplos de una cantidad fundamental ϵ . A esta cantidad Planck la llamó energía cuántica

Planck descubrió la relación que guarda la energía de un cuanto con la frecuencia de la correspondiente onda electromagnética, esto es, toda energía es proporcional a su frecuencia. La frecuencia de radiación y la energía cuántica que le corresponde está relacionada como $\epsilon = h\nu$ en donde h es la constante de cuantización o constante de Planck cuyo valor es de: $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js

La hipótesis de Planck de que la energía era emitida en paquetes es muy importante ya que de acuerdo con los principios de la física clásica todas las acciones deben variar en forma continua. Planck mostró que había una discontinuidad en la emisión y absorción de la radiación. Einstein más tarde mostró que la discontinuidad aplicada a la energía radiante se encontraba en forma de gránulos que viajaban en el espacio. A estos gránulos Einstein los llamó cuantos de luz o fotones.

Si bien las hipótesis de Planck y Einstein se refuerzan son distintas en su origen. La hipótesis cuántica de Planck se refiere a la manera en la que la energía es emitida y absorbida por los átomos de la materia, mientras que la hipótesis cuántica de la luz se refiere a la manera en la que la energía luminosa viaja a través del espacio

Neils Bohr (1885-1962) retomó el modelo de Rutherford, y de los dos problemas que presentaba el que más le preocupaba era el de la inestabilidad del modelo. Bohr expresaba estas ideas de la siguiente forma: "Puedo empezar relatando a ustedes un poco de historia de esta teoría. El punto de inicio no es la idea de que un átomo es un sistema planetario a pequeña escala y que está gobernado por las leyes de la astronomía. Nunca diría literalmente tal cosa. Más bien, mi punto de inicio es la estabilidad de la materia, un milagro cuando se considera a partir de la física clásica. Por estabilidad yo considero que la misma sustancia siempre tiene las mismas propiedades... Esto no puede ser explicado por los principios de la mecánica clásica, ciertamente no si los átomos son una semblanza de un sistema planetario."⁸⁰

El segundo punto en discusión sobre el átomo de Rutherford era su imposibilidad para describir los rayos espectrales específicos de cada átomo. En 1913 Bohr

⁸⁰ Pullman, (1998) *Op. cit.*, p 263

escribió su famosa trilogía de artículos en los que presenta su modelo atómico tomando en consideración la cuantización de la energía.

Bohr partió del modelo de Rutherford en el cual un átomo tenía un núcleo central alrededor del cual giraban los electrones. De acuerdo con la teoría cuántica de la luz cada vez que un sistema emite o absorbe luz con frecuencia ν la cantidad de energía emitida o absorbida es proporcional a la frecuencia esto es $\epsilon = h\nu$. El hecho de que un gas no emita radiación en todas las frecuencias llevó a que la energía de un átomo podía tan sólo tener ciertos valores discretos. Esto implicaba que en el átomo tan sólo pueden existir ciertos estados definidos, niveles de energía o estados cuánticos.

Cuando un átomo se encuentra en uno de estos niveles no emite energía, pero cuando se mueve de un estado de mayor energía a uno de menor energía emite un cuanto, ϵ , en forma de radiación electromagnética con frecuencia ν , siendo ϵ igual a la diferencia de energía entre dos niveles. De manera similar, si un átomo absorbe un cuanto de energía se mueve de un estado de menor a otro de mayor energía, de tal manera, que la diferencia de energía entre los dos niveles es igual a ϵ .

Bohr aplicó estas ideas al modelo de Rutherford del átomo de hidrógeno y propuso cuatro hipótesis:

1. Un electrón no puede moverse alrededor del núcleo en cualquier órbita circular, puede hacerlo tan sólo en un cierto número de órbitas privilegiadas las cuales tienen cierta cantidad de energía;
2. Si un electrón se mueve en una de las órbitas permitidas no irradia energía;
3. Un electrón puede saltar espontáneamente de una órbita de mayor energía a una de menor energía (esto es de las más grandes a las más pequeñas permitidas). Al hacerlo emitirá radiación que será una cantidad igual a la diferencia de energía entre dos órbitas;
4. Cuando un electrón salta entre dos órbitas cuya diferencia de energía es ϵ la frecuencia de radiación emitida será igual a $\nu = \epsilon/h$

La teoría atómica de Bohr resolvía el problema de la estabilidad de los átomos y la existencia de líneas espectrales. El electrón podía encontrarse tan sólo en un número discreto de órbitas por lo que el átomo podía emitir tan sólo valores fijos de energía, lo que implicaba ciertas frecuencias específicas. Cada valor correspondía a un salto entre dos órbitas permitidas, la primera tenía mayor energía que la segunda. La razón por la que se veía un gran número de líneas simultáneamente en el espectro de hidrógeno es que el gas incandescente está formado por un gran número de átomos.

Entre las órbitas permitidas la de mayor energía es la más pequeña y que está más cercana al núcleo por lo que su enlace con el núcleo es el mayor posible. En condiciones normales el electrón se localiza en esta órbita lo que implica que el átomo se encuentra en su estado más estable y no emite energía. Un átomo emite entonces sólo cuando ha sido golpeado por una partícula rápida o por luz lo que incrementa su nivel de energía que lo hace pasar de su estado base a un estado de mayor energía esto hace que el electrón se desplace de una órbita interna hacia una de mayor radio. Si este electrón regresa a su estado base entonces emitirá energía. La transición ocurre entonces en saltos de energía total emitida que será dividida en números de cuantos

La teoría de Bohr permitió calcular la frecuencia de las líneas espectrales para el átomo de hidrógeno. Esta teoría representaba una combinación de principios de la teoría clásica con aquellas nuevas hipótesis propuestas por Planck y Einstein que eran radicalmente distintas de la teoría clásica.

Si bien el modelo de Bohr hacía posible calcular la frecuencia de las líneas espectrales no podía hacerlo con la intensidad de las líneas ni su estado de polarización. En este sentido la teoría electromagnética resultaba superior.

Bohr plantea un Principio de Correspondencia entre los principios de la física clásica y la física cuántica. Este principio se basa en:

1. "Las predicciones de la teoría cuántica para el comportamiento de cualquier sistema físico deberán corresponder a las predicciones de la física clásica en el límite en el cual los números cuánticos que especifican el estado del sistema se hacen muy grandes
2. Una regla de selección es cierta sobre todo el intervalo en el que existe el número cuántico. Por lo tanto cualesquiera reglas de selección que sean necesarias para obtener la correspondencia deseada en el límite clásico (n grandes) también es aplicable en el límite cuántico (n pequeñas)."⁸¹

En 1914 Franck y Hertz llevaron a cabo la primera serie de experimentos sobre colisiones entre átomos y electrones libres que confirmaron la existencia de diferentes estados de energía con valores discretos, en cualquier átomo, mostraron la validez de la relación entre la frecuencia de radiación emitida y la diferencia en energía entre dos estados cuánticos. En 1916 Arnold Sommerfeld (1868-1951) consideró que las órbitas debían ser elípticas para el átomo y aplicó al movimiento de los electrones la mecánica relativista de Einstein. Sommerfeld encontró que las órbitas elípticas que seguían los electrones alrededor del núcleo no estaban igualmente espaciadas y que se encontraban asociadas en grupos a los que dio el nombre de capas. Los orbitales de la misma capa tienen la misma

⁸¹ Eisberg R, y Resnick R, (1974) *Física Cuántica Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas* Ed Limusa p 149

energía y difieren muy poco unas de otras. Estas capas, por convención se designaron con las letras K, L, M, N, y no siempre contienen el mismo número de subcapas.

La teoría de Bohr no daba información de cada átomo de forma individual por lo que se debía recurrir a la probabilidad. En 1917 Einstein introdujo los coeficientes de probabilidad en el estudio del átomo. Propuso con ello la hipótesis de que un electrón en el átomo daba una vuelta en un cierto intervalo de tiempo de acuerdo a un cierto coeficiente de probabilidad que era independiente de las condiciones externas de su transferencia entre una órbita y otra. Más aun, propuso que si un átomo es golpeado por energía luminosa de una frecuencia igual a la frecuencia que corresponde con un salto entre dos órbitas el electrón será transferido de una órbita de mayor energía a una órbita más externa.

Fenómenos como el ferromagnetismo y el paramagnetismo no podían ser explicados por el modelo de Bohr, en 1925 los físicos George Uhlenbeck (1900-1988) y Samuel Goudsmit (1902-1978) propusieron nuevas modificaciones al modelo para solucionar estos problemas. Ellos supusieron que el electrón no solamente se movía alrededor del núcleo sino que giraba sobre su propio eje. Como resultado de este giro o "spin" el electrón adquiere propiedades como lo hace un giroscopio. Como el electrón tiene carga negativa se comporta como si fuese un pequeño imán con su eje paralelo al eje del spin, lo anterior indica que si el electrón se encuentra en un campo magnético éste se orientará en la dirección del campo.

Uhlenbeck y Goudsmit dedujeron que todos los electrones tienen siempre la misma velocidad de giro, si la unidad de medida es $h/2\pi$, considerando la constante de Planck como el factor de cuantización introducido por Bohr, se encuentra que el spin del electrón es siempre de $\frac{1}{2}$, además de que se deduce que el spin del electrón tan sólo puede tener dos posiciones en relación con el campo, esto es alineado con el campo por lo que su valor será de $+1/2$ o bien en sentido opuesto cuyo valor será de $-1/2$.

Encontrar los valores del spin y del momento magnético permitieron dar una interpretación a las propiedades ópticas y magnéticas de algunos materiales, que no podían explicarse con el modelo atómico de Bohr. Más tarde Dirac combinando la relatividad con la física cuántica encontraría los mismos valores del spin y del momento magnético propuestos por Uhlenbeck y Goudsmit.

El caso del átomo de hidrógeno es el más sencillo por lo que se considera que su electrón gira en su estado base en la órbita más interna, sin embargo, en cualquiera de los otros elementos había que determinar cuáles serían las posiciones de los electrones girando alrededor del núcleo. Por ejemplo, se consideraba que para el caso del Helio, sus dos electrones debían encontrarse en

la órbita más interna en su estado base, de manera similar para el caso del Litio con sus tres electrones, lo anterior fue desmentido muy pronto.

En 1925 el físico alemán Wolfgang Pauli (1900-1958) estudiando el espectro de los metales alcalinos descubrió que dos electrones no pueden existir, en el mismo átomo, en el mismo estado cuántico. Esto se cumple para todos los átomos de los elementos por lo que se conoce como el Principio de Exclusión de Pauli. Este principio resultó de gran utilidad para interpretar la tabla periódica de Mendeleev.

Se sabe que las órbitas del átomo están agrupadas en capas (K, L, M,...) en donde la capa más interna K tiene dos electrones, la L ocho, la M 18 etc... Los átomos en su estado base tienden a ocupar las capas más internas del átomo, esto implica que la capa K se llenará primero, después la L, y así sucesivamente.

En el átomo de hidrógeno el electrón se mueve en una de las dos órbitas de la capa K. En el helio, cuyo número atómico es dos, los electrones ocupan los dos lugares de la capa K con lo que queda llena. El helio es particularmente estable y no participa fácilmente en las reacciones químicas. Todos los átomos que tienen llena la última capa presentan propiedades químicas similares y son conocidos como gases nobles.

El litio tiene número atómico 3 por lo que se llena la capa K y un electrón queda girando en la capa L. Este tercer electrón está menos atado que los otros dos ya que gira en una capa más grande, es por ello que el litio tiende a perder ese electrón y encontrarse como un ión positivo monovalente. En un caso similar se encuentra el sodio, potasio, rubidio, etc., Estos elementos tienen propiedades químicas similares y son conocidos como metales alcalinos.

Considérese el caso del flúor cuyo número atómico es 9. Esto implica que la capa K está completa y la capa L tiene 7 electrones por lo que falta 1 electrón para llenar la capa que da al átomo una estructura estable, es por ello que el flúor tiende a aceptar un electrón para completar su última capa por lo que se convierte en un ión negativo monovalente. En el mismo caso se encuentran el cloro, bromo, yodo, etc., elementos que son conocidos como halógenos.

Si un átomo de sodio y un átomo de cloro se encuentran juntos forman una red cristalina de cloruro de sodio, el sodio tiende a ceder un electrón y se convierte en un ión positivo y el cloro tiende a aceptarlo lo que lo convierte en un ion negativo. La unión de muchos de estos iones de cloro y sodio conforman un arreglo tridimensional ordenado o red cristalina, que es muy estable. A este tipo de enlace se le conoce como modelo iónico.

La diferencia de energía entre las capas internas es mayor que la diferencia de energía de las capas externas. De esta forma la emisión cuántica de energía de un átomo cuando un electrón se mueve de una a otra de las capas internas es

mayor que cuando un electrón se mueve en las capas externas. Por la relación de Planck cuando un electrón salta en las órbitas externas emite una onda electromagnética de menor frecuencia que cuando salta en las órbitas internas. El átomo puede emitir en un amplio rango de radiación electromagnética: emite luz si se mueve en las capas externas, y desde radiación ultravioleta hasta rayos X cuando se mueve en las capas internas.

Con el modelo de Bohr-Sommerfeld fue posible tener una teoría lógica de la distribución de los electrones en varias capas así como una forma de relacionarlas con fenómenos bien conocidos en química y espectroscopia. Fue también posible interpretar y justificar los resultados empíricos de la tabla periódica. Este modelo dominó el desarrollo de la física hasta 1925. Sin embargo serias objeciones se tenían de este modelo, la primera de ellas estaba relacionada con la falta de condiciones que debía cumplir una teoría: "las leyes, una vez que han sido formuladas, deberán siempre estar fundamentadas para ser válidas y adecuadas a su propia interpretación del fenómeno."⁸² Durante el desarrollo de la teoría de Bohr las leyes de cuantización fueron modificadas para ajustarse a los datos experimentales y nuevas hipótesis y leyes se introdujeron a los postulados originales. Por otro lado, el modelo de Bohr no podía explicar más allá del átomo de hidrógeno, esto es, el más sencillo de todos los elementos. La teoría de Bohr fue una integración entre la física clásica y la cuantización lo que permitió la construcción de una nueva teoría. "Esta teoría nunca fue vista como la definitiva expresión de una teoría física sino más bien como la codificación provisional para hablar de las rupturas hechas en la mecánica clásica y el electromagnetismo para hacer encajar en ellas el mundo atómico."⁸³

El descubrimiento del neutrón vino a resolver una serie de inconsistencias que presentaban los modelos atómicos considerando solamente la existencia de protones y electrones. En 1932 James Chadwick (1891-1974) descubrió una nueva partícula a la que llamó neutrón cuya masa era igual que la del protón pero que resultaba eléctricamente neutra. Este descubrimiento explicaba también la existencia de isótopos que eran átomos del mismo elemento que exhibían las mismas propiedades químicas y fisico-químicas pero con diferente masa. Los isótopos son átomos con el mismo número de protones y electrones pero con distinto número de neutrones. Este suceso rompía una más de las creencias que se tenían de que los átomos de un mismo elemento no podían ser diferentes.

Así como se mostraba la estabilidad del átomo otros fenómenos presentaban inestabilidad. A finales del siglo XIX el descubrimiento de la radiactividad natural del uranio y el torio mostraron la inestabilidad del núcleo, el experimento de Rutherford al bombardear el núcleo con partículas alfa había transmutado exitosamente átomos de nitrógeno en átomos de oxígeno, lo que confirmaba la

⁸² Amaldi Ginestra, (1996) *Op cit.*, p. 87

⁸³ Amaldi Ginestra, (1996) *Ibid.*, p. 88

posibilidad de romper y cambiar la estructura del átomo. La inestabilidad del átomo fue el inicio de la física y la química nuclear. Al descubrimiento de la radiactividad artificial en 1934 por Frederic Joliot Curie (1900-1958) y su esposa Irene Joliot Curie (1897-1957) siguió el de la fisión del uranio por Otto Hahn (1879-1968) y Fritz Strassman (1902-1980) con lo que se inauguraba la era de la física nuclear.

El intento realizado por Bohr y Sommerfeld de integrar las dos teorías dio lugar al desarrollo de una nueva aproximación teórica independiente de las teorías clásicas. Éste es el caso de la Mecánica Cuántica que se desarrolló por tres caminos diferentes: la mecánica ondulatoria de de Broglie y Schrödinger; el método de matrices de Heisenberg y; el método Operatorio de Dirac y Jordan. A la teoría desarrollada por Bohr-Sommerfeld se le conoce como teoría cuántica clásica. En ambas teorías el factor más importante es la presencia del factor de cuantización h , o constante de Planck.

1.4.5 Los principios de la mecánica cuántica

Desde el siglo XVII la luz había sido un problema de investigación, dos posiciones se habían mostrado plausibles, por un lado que se tratase de partículas en cuyo caso se explicaban fenómenos como la reflexión y refracción; la otra posibilidad es que la luz fuese una onda con lo que era posible explicar la reflexión, la refracción y la doble refracción. En apoyo a la visión ondulatoria de la luz se presentaron fenómenos, como la interferencia y la difracción que se explicaron satisfactoriamente considerando a la luz como una onda. Esta segunda posibilidad, sin embargo, no fue recibida con gusto, por lo que no puede decirse que alguna de las dos teorías había triunfado. Ambas permanecieron en conflicto hasta los inicios del siglo XX.

Preguntas sobre cómo se produce la luz, no habían sido contestadas. Maxwell había mostrado la existencia de ondas electromagnéticas y que la luz era una onda de este tipo. Todas las mediciones posteriores confirmaron esta suposición. Los experimentos que siguieron a esta confirmación, realizada 20 años después por Hertz, abrieron el camino hacia las radio-comunicaciones.

Hertz en 1887 mostró que si la luz era una onda no podía explicarse el efecto fotoeléctrico. Este efecto se observaba cuando al incidir rayos de luz de onda de longitud corta (como rayos ultravioleta, rayos X o rayos gama) sobre una superficie de metal ésta emitía electrones. Los electrones salían con una cierta energía que era independiente de la intensidad de la radiación incidente y tan sólo se incrementaban si la frecuencia de la radiación lo hacía. De acuerdo con la teoría ondulatoria la energía de una onda incidente se incrementa con la intensidad de la onda, lo que no respaldaba los resultados obtenidos en el efecto fotoeléctrico. Otro hecho que resultaba contradictorio con la teoría ondulatoria

consistía en que se podía dirigir radiación a la placa metálica con tan baja intensidad que la energía incidente resultaba ser mucho menor que la necesaria para expulsar a los electrones de los átomos de metal, sin embargo, aun en este caso los electrones salían con la misma velocidad dependiendo de la frecuencia de la radiación incidente.

En 1905, Einstein consideró la hipótesis de Planck como un elemento de soporte para un estudio sobre la naturaleza de la luz y en general el estudio de la radiación. Mostró que el comportamiento de los electrones en el efecto fotoeléctrico que parecían incomprensibles a partir de la teoría ondulatoria podían explicarse si se adoptaba una teoría corpuscular para la luz, considerando que la luz estaba formada por fotones o cuantos de luz.

Cada fotón tiene una frecuencia ν con una energía $h\nu$, cuando uno de estos fotones golpea a un átomo del metal se da energía a un electrón que sale de la superficie metálica. Si se tiene una mayor intensidad de luz de una misma frecuencia, lo único que significa es que habrá mayor número de fotones, pero cada fotón tiene exactamente la misma cantidad de energía. Esta era la razón por la que la velocidad de los electrones es independiente de la intensidad de la luz incidente. Sin embargo, si la frecuencia es mayor, la energía incidente también lo es por lo que los electrones salen con mayor velocidad del metal. Si la frecuencia es menor que cierto valor de energía, para cada fotón, no podrá salir del metal ningún electrón, ésta es la razón por la que cuando incide luz visible en una placa metálica el efecto fotoeléctrico no se presenta.

La teoría corpuscular de Einstein es diferente a la que había sostenido Newton muchos años atrás, las partículas se definen como cuantos de luz en la que se introduce un elemento no corpuscular que es la frecuencia. La sola teoría corpuscular no podía explicar el efecto fotoeléctrico, de tal suerte que la introducción de la cuantización permitió construir el puente entre una partícula y una onda.

La explicación de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico apoyaba la explicación corpuscular de la luz en donde la teoría ondulatoria no podía hacerlo. De esta forma la teoría de luz se encontraba entre dos modelos incompatibles.

De Broglie partió de este dilema "la relación entre frecuencia y energía que Einstein colocó en la base de su teoría de fotones está íntimamente ligada al dualismo (onda partícula) de la radiación y a la existencia de los cuantos"⁸⁴ Esto implicaba que siempre que apareciera la constante de Planck este dualismo estaría presente. Dadas las características del electrón éstos debían presentar las mismas características duales. Más aun, de Broglie propuso que todas las partículas constituyentes del átomo debían tener esta misma característica dual.

⁸⁴ Amaldi Ginestra, (1966) *Ibid.*, p 96

Con base en lo anterior de Broglie construyó la hipótesis de que debía existir una asociación análoga entre las partículas materiales y ciertos fenómenos periódicos, un nuevo tipo de onda llamadas ondas de de Broglie. Para una partícula de masa m con una velocidad v se tiene una longitud de onda de de Broglie igual a h/mv . Esto implicaba que en un mundo en donde la constante de Planck fuera mucho más pequeña, la misma partícula estaría asociada con una onda de muy pequeña longitud de onda, lo que implica que las propiedades ondulatorias de la materia no existían y serían una expresión de los cuantos en un mundo en donde h fuese cero.

La teoría de de Broglie se basó en las condiciones de cuantización de Bohr por lo que no pudieron calcularse las líneas espectrales en las posiciones indicadas. En 1926, Erwin Schrödinger, a partir de la teoría de de Broglie, hizo un estudio riguroso del problema del movimiento de las ondas y construyó las ecuaciones de onda mecánicas. Calculó las posiciones de las líneas espectrales y obtuvo mejores resultados que los obtenidos con la teoría cuántica clásica.

En 1927, Davisson (1881-1958) y Germer, descubrieron que si se dirigía un haz de electrones lentos a un sólido cristalino un fenómeno de difracción se producía de manera análoga a lo que ocurre cuando se bombardea un cristal con rayos X. Los cálculos mostraron que la longitud de onda asociada a los electrones era la misma que había encontrado teóricamente de-Broglie lo que fue una demostración de la validez de su hipótesis.

En la teoría de de-Broglie una onda está asociada con toda partícula material que se mueve, por lo que podría observarse un efecto de difracción en todo tipo de partículas. Según de Broglie, la longitud de onda para los electrones es inversamente proporcional a su masa, por lo que su difracción sólo sería posible utilizando como dispersores átomos de un cristal.

Gracias a la teoría de de Broglie se desarrollaron nuevas aplicaciones que hacían posible la descripción de la estructura atómica. Pocos años después de la publicación de la teoría de de Broglie aparecieron nuevas e importantes contribuciones, una de ellas fue la construida por Erwin Schrödinger (1887-1961) que es conocida como mecánica ondulatoria que presenta las reglas que definen el comportamiento de las ondas de de Broglie. La base de esta nueva mecánica fue llamada ecuación de onda también conocida como ecuación de Schrödinger. Uno de los grandes logros de esta propuesta es que la cuantización de la energía surge de manera natural de la ecuación fundamental y no de forma artificial como sucedía en el modelo de Bohr. Cada valor de la energía E corresponde a una o varias funciones de onda, que son conocidas como eigenfunciones, que describen el estado de energía de una partícula y se conocen como orbitales.

Siguiendo a de Broglie, Schrödinger consideraba que una función de onda era una propiedad real de los electrones de forma similar a las ondas sonoras o de luz. Consideraba que se trataba de vibraciones físicas que tenían lugar en todas direcciones en el espacio, los estados electrónicos estables eran nodos de tales vibraciones y las líneas espectrales eran transiciones entre diferentes modos de vibración lo que reemplazaba los saltos cuánticos propuestos por Bohr.

Las propiedades de los electrones en ciertas circunstancias eran simplemente una manifestación de su naturaleza ondulatoria y el resultado de la identificación de una partícula dentro de un paquete de ondas, término que describía la superposición de las ondas en una delgada banda de frecuencias, interfiriendo constructivamente en una región limitada del espacio y moviéndose con una velocidad de grupo simulando el movimiento de una partícula en el sentido clásico.

El modelo tuvo serias objeciones por lo que Max Born (1882-1970) propuso en 1926 una nueva interpretación a la función de onda misma que es actualmente aceptada. En este caso se introduce el punto de vista probabilístico en la descripción del mundo subatómico. El principio de Born establece que "el cuadrado del módulo de la función de onda Ψ para cualquier punto y en cualquier instante es una medida de la probabilidad de encontrar a una partícula en ese punto y en ese instante."⁸⁵ Este postulado implicó un cambio en la interpretación de la posición, esto es, no es posible afirmar la existencia de un punto en ciertas coordenadas en un instante t , tan sólo puede afirmarse que existe mayor probabilidad de encontrar un punto en ciertas coordenadas que en otro dependiendo del módulo del cuadrado de la función de onda en el instante t . La función de onda era entonces una función probabilística. Esto implicó una nueva forma de interpretar la detección de un electrón, tal localización implica que la función de onda, que estaba inicialmente dispersa en el espacio, de momento se concentra en una región, esto es lo que se considera como un paquete de ondas colapsado.

El método de Schrödinger aplicado al átomo de hidrógeno introdujo de manera natural los números cuánticos n (número cuántico principal), l (número cuántico orbital) y m (número cuántico magnético) así como sus interdependencias. También daba una expresión para la energía que es idéntica con la fórmula de Bohr pero que depende del número cuántico principal n . Para designar el estado de momento angular determinado por el número cuántico l se acostumbra utilizar las letras s para $l = 0$, p para $l = 1$, d para $l = 2$, y así sucesivamente. Este código se desarrolló originalmente como una forma de clasificación empírica de los espectros en las series principal, difusa y fundamental mucho tiempo antes.

⁸⁵ Pullman, (1998) *Op cit*, p 278

La aplicación del principio de exclusión de Pauli implicaba que dos electrones de un sistema dado no pueden estar en el mismo estado cuántico esto es que no pueden ser caracterizados por el mismo conjunto números cuánticos. Otra importante consecuencia es que cuando dos electrones tienen idénticos números cuánticos n, l, m , que definen un orbital particular, necesariamente tiene distinto spin. Un determinado orbital atómico puede contener a lo más dos electrones, con la restricción de que sus espines deben ser opuestos. En el caso de los átomos complejos el principio de exclusión evita que todos los electrones ocupen el estado cuántico más bajo.

Todos los electrones que tienen el mismo número cuántico total n están aproximadamente a la misma distancia del núcleo por lo que tienen energías similares. Normalmente se dice que estos electrones ocupan la misma capa atómica que se designan con las letras K, L, M, N, O, etc... Los electrones que comparten un cierto valor de l en una capa, ocupan una misma subcapa que tienen casi idéntica energía. En la tabla 1.1 los números cuánticos de las tres primeras capas y el número total de electrones por cada orbital.

Capa	n	l	Orbital	m	Número de electrones máximo en el orbital	Total de electrones
K	1	0	s	0	2	2
L	2	0	s	0	2	8
		1	p	0, ±1	6	
M	3	0	s	0	2	18
		1	p	0, ±1	6	
		2	d	0, ±1, ±2	10	

Tabla 1.1 Valores de números cuánticos n, l, m

Una muestra de la configuración electrónica de algunos elementos queda representado en la tabla 1.2. En ella aparece la distribución de los electrones entre las capas electrónicas sucesivas para los primeros veinte elementos y algunos otros más de la tabla periódica, que dan información sobre las periodicidad de los elementos químicos.

Un tipo de representación utilizada describe la presencia del electrón dentro de un tipo de nube electrónica, la densidad de la nube corresponde a la probabilidad de encontrar un electrón en determinada región. Este tipo de representación presenta ciertas formas para los orbitales. Por ejemplo para $l = 0$ los orbitales tienen una distribución esférica esto es una nube electrónica alrededor del núcleo de forma



esférica, la probabilidad de encontrar un electrón en dicha nube varía con la distancia al núcleo pero permanece constante a lo largo de la superficie de cualquier esfera centrada en el núcleo. Cualquiera de los orbitales *s* tendrá entonces una distribución esférica. A medida que aumenta el número cuántico *n* el orbital se extiende más.

En el caso del átomo de hidrógeno el orbital del estado base está definido por el estado 1s los siguientes orbitales 2s, 3s, etc., serán ocupados siempre en estados excitados. En este caso un salto de un orbital a otro requiere un cambio en la función de onda que describe la distribución asociada a la nube electrónica.

Número atómico	Elemento	Capas					
		K	L	M	N	O	P
1	H	1					
2	He	2					
3	Li	2	1				
4	Be	2	2				
5	B	2	3				
6	C	2	4				
7	N	2	5				
8	O	2	6				
9	F	2	7				
10	Ne	2	8				
11	Na	2	8	1			
12	Mg	2	8	2			
13	Al	2	8	3			
14	Si	2	8	4			
15	P	2	8	5			
16	S	2	8	6			
17	Cl	2	8	7			
18	Ar	2	8	8			
19	K	2	8	8	1		
20	Ca	2	8	8	2		
35	Br	2	8	18	7		
36	Kr	2	8	18	8		
37	Rb	2	8	18	8	1	
53	I	2	8	18	18	7	
54	Xe	2	8	18	18	8	
55	Cs	2	8	18	18	8	1
56	Ba	2	8	18	18	8	2

Tabla 1.2 Distribución de los electrones en capas electrónicas⁸⁶

⁸⁶ Tomada de Pullman, (1998) *Op cit*, p 287

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para $l = 1$ se designan los orbitales p . Estos orbitales se representan como dos esferas tangentes una de la otra en el origen por lo que no tienen simetría alrededor del núcleo. Existen tres orbitales p uno por cada uno de los tres ejes del sistema coordenado tridimensional: p_x , p_y , p_z . Esta subdivisión se debe a la presencia del tercer número cuántico m . En la figura 1.8 se muestran los orbitales p .

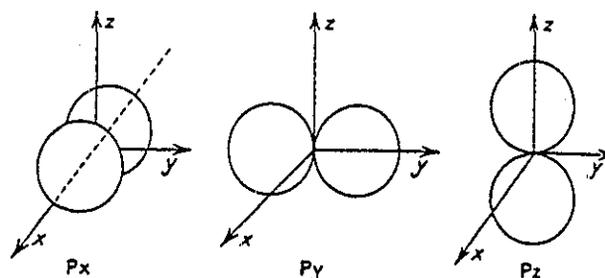


Figura 1.8 Forma de los orbitales p ⁸⁷

Además de la aportación hecha por Schrödinger, otra importante aproximación que tuvo gran influencia fue realizada por Werner Heisenberg (1901-1976) con la presentación de su "mecánica matricial" que es una nueva versión de la mecánica. La metodología propuesta tuvo la finalidad de dar bases para la descripción del mundo atómico. El punto de partida estaba en la firme convicción de que una teoría física debe descansar únicamente en cantidades observables. En el caso del mundo atómico se utilizaron las líneas espectrales como un elemento que mostraba la existencia de la estructura del átomo. Las características de las líneas espectrales dependían de los pares de orbitales involucrados durante las transiciones por lo que dedujo que toda cantidad que describa a los electrones en los átomos debía estar relacionada con ellos. Para describir el estado de un electrón en un átomo utilizó arreglos bidimensionales o "matrices" que hasta el momento no habían sido utilizados en la física.

La mecánica ondulatoria y la mecánica matricial son matemáticamente equivalentes, si bien, la más utilizada es el formalismo de Schrödinger para explorar las estructuras moleculares y atómicas. Un punto que resulta interesante es la relación que existe entre la visión de Heisenberg y el pensamiento de Demócrito: "En la filosofía de Demócrito, todos los átomos consisten de la misma sustancia si la palabra 'sustancia' fuera aplicable a todo. Las partículas elementales de la física moderna tienen masa, en el mismo sentido limitado de otras propiedades. Dado que la masa y la energía son de acuerdo a la teoría de la relatividad, esencialmente el mismo concepto, diremos que todas las partículas

⁸⁷ Pullman, *Ibid*, p 282



elementales consisten de energía. Esto puede interpretarse como definir a la energía como la sustancia primaria del mundo. Esto nos lleva a la propiedad esencial que tiene el término 'sustancia' que esta conservándose⁸⁸ También establece una relación con la visión de Platón: "Las partículas elementales en el Timeo de Platón no son finalmente sustancias sino formas matemáticas. 'Todas las cosas son números' una oración atribuida a Pitágoras. Las únicas formas matemáticas disponibles en ese tiempo eran las formas geométricas como los sólidos regulares o los triángulos que forman su superficie. En la teoría cuántica moderna no existe duda de que las partículas elementales son finalmente también formas matemáticas, pero de naturaleza mucho más complicada. Sin embargo, los triángulos fundamentales no pueden considerarse como materia, dado que no tienen extensión en el espacio. Esto sucede solamente cuando los triángulos se juntan para formar un sólido regular y crean una unidad de materia. Las más pequeñas partes de materia no son seres fundamentales, como sucede en la filosofía de Demócrito, sino son formas matemáticas. Existe aquí una evidencia de que la forma es más importante que la sustancia que tiene la forma."⁸⁹

La aplicación de que cualquier concepto introducido debe tener una definición operacional llevó a Heisenberg a presentar su Principio de Incertidumbre. En 1927 propuso en un documento llamado "Sobre el contenido intuitivo de la cinemática en la mecánica cuántica", que el Principio de Incertidumbre era una consecuencia lógica de las bases de su mecánica. Este principio establecía la máxima precisión en que de manera simultánea se pueden medir la posición y la velocidad de una partícula. La posibilidad de determinar simultánea y experimentalmente dos magnitudes está excluida, no por las limitaciones del aparato o la habilidad del experimentador, sino por una razón teórica.

Este principio se puede ejemplificar con el llamado Experimento microscópico de Heisenberg. Se quiere calcular con la mayor precisión posible el movimiento de un electrón incluyendo su posición y el momento de un átomo. Se decide para ello utilizar un microscopio, debe tenerse un microscopio de muy alta resolución por lo que la longitud de onda utilizada debe ser corta, esto es fotones de rayos gama. En el momento de chocar los rayos gama perturban el movimiento del electrón. Para determinar con mayor precisión la posición del electrón se debe incrementar la frecuencia de la radiación por lo que mayor será la perturbación causada y por consiguiente en la variable del momento. Conocer la velocidad del electrón está sujeta entonces a una cierta incertidumbre que llega a ser mayor cuando se trata de hacer más precisa la medida de la posición.

Heisenberg propuso que el producto de la incertidumbre del intervalo de la posición de una partícula por la incertidumbre del intervalo en su velocidad es igual a una valor constante que es la constante de planck h dividida entre el 2π .

⁸⁸ Pullman, (1998). *Ibid*, p 291

⁸⁹ Pullman, (1998). *Ibid*, P. 291

Esta relación es válida en general para cualquiera dos magnitudes complementarias esto es: posición y velocidad de una partícula o fotón, tiempo y energía, intensidad eléctrica e intensidad magnética de un campo electromagnético en el mismo punto del espacio, etc.

Este principio tuvo implicaciones directas sobre el determinismo. En la física clásica el concepto de observación y el establecimiento de que existe una relación entre el sistema observado y el instrumento de medición implica la validez de un riguroso determinismo, la evolución de todo sistema físico puede ser representado por una sucesión de eventos ligados por relaciones causales. Lo que llevó a que el futuro y el pasado de un sistema estará determinado por su estado inicial. Existen ramas de la física en la que se utiliza el concepto de probabilidad. En el estudio de los gases, Maxwell y Boltzmann, introdujeron la mecánica estadística que no obedece ya a un riguroso determinismo, sin embargo, en este caso la incertidumbre está regulada por la combinación estadística de procesos aislados regidos y controlados por leyes rigurosas.

Las relaciones de incertidumbre de Heisenberg son la expresión de una característica fundamental de la naturaleza. En el caso del átomo esta distinción entre observador y sujeto a observar se desvanece, en este caso, deja de ser posible conocer exacta y simultáneamente todos los datos del estado inicial de un objeto observado, y esto es justamente lo que no permite establecer las relaciones de causa y efecto de la manera clásica. La posición seguida por Born, Bohr y Heisenberg llevó a que una observación o medición tienen un significado distinto al de la física clásica, ya que la observación introduce una perturbación que modifica el estado inicial. Es por ello, que las magnitudes atribuidas a las partículas como son velocidad, posición, etc., no tienen valores exactos sino probables.

La indeterminación en la física cuántica derivada del principio de incertidumbre es como señala Reichenbach⁹⁰ una evolución más que una revolución de los principios de la física. A partir de los desarrollos de la mecánica cuántica el desarrollo de la investigación llevó a buscar los componentes o partículas elementales de las sustancias. La búsqueda se centró inicialmente en las partículas que constituían el núcleo atómico y el descubrir el tipo de fuerzas que las relacionaba ayudó a comprender un modelo que describiera las partículas de las que estaba constituido el átomo.

Si bien las partículas elementales son distintas de las consideradas por Demócrito se tiene ahora una distinción entre la gama de partículas que actualmente se conocen. Los electrones son partículas elementales mientras que los protones y los neutrones no. Actualmente se sabe que el universo está construido con base en 12 partículas elementales que constituyen la materia ordinaria y 12 partículas

⁹⁰ Pullman, (1998). *Ibid.*, p 295

elementales que transmiten las fuerzas lo que da un total de 24. Este número se incrementa a 36 si se toma en cuenta la existencia de los quarks cada uno con sus tres distintas propiedades de color y 60 cuando se incluyen las antipartículas. El camino de investigación sigue abierto y nuevas teorías continúan su desarrollo.

1.5 Comentarios generales

El objeto de esta revisión fue analizar la secuencia de los modelos más importantes en el desarrollo del concepto de átomo a lo largo de la historia poniéndose como punto de final la investigación realizada a principios del siglo XX que dio origen a las nuevas investigaciones sobre la estructura de la materia.

A lo largo de la historia del pensamiento filosófico y científico está presente la pregunta que se inicia en Grecia, ¿de qué están formados los cuerpos y todas las sustancias? ¿Cuáles son las características elementales de las sustancias con las que se forman todos los objetos? En todos los momentos de la historia estas fueron algunas de las preguntas de inicio que llevaron al desarrollo de la teoría atómica actual.

Tras la perspectiva histórica podrían establecerse cuatro periodos fundamentales: el primero que comprende la visión y forma de análisis del pensamiento griego que abarca desde Tales hasta la Edad Media e inicios del Renacimiento con la introducción del conocimiento empírico como una herramienta fundamental del conocimiento; el segundo periodo comprende el establecimiento de la experimentación como centro de la construcción del conocimiento científico, la construcción de las leyes de la física clásica y abarca a partir de Galileo hasta finales del siglo XVIII; el tercer periodo lo constituyen el avance de tres tipos de investigación: el conocimiento químico de las sustancias, la incorporación de nuevos métodos de análisis probabilísticos y estadísticos en la termodinámica y la necesidad de una explicación de tipo corpuscular de fenómenos como en la espectroscopia y la teoría de los gases; el cuarto y último periodo corresponde a la construcción de una física atómica de modelos cuyo referente experimental es cuestionado en cuanto a la validez de leyes deterministas de la física clásica, los elementos probabilísticos se incorporan para dar interpretación y sustento a las leyes del mundo microscópico

Primer periodo

Este primer periodo puede caracterizarse por dos corrientes de pensamiento: por un lado, representada por los llamados atomistas Leucipo, Demócrito y Epicuro y por el otro, se encuentra la posición de Aristóteles

En la tradición griega el pensamiento filosófico es integral, esto es, el hombre en su relación con la naturaleza de manera total, sin embargo, los atomistas definen dos principios fundamentales que son la existencia de partículas indivisibles llamadas átomos y la existencia del vacío como condición necesaria para la separación de dichas partículas elementales. Todo el desarrollo de su teoría se centra en estos dos principios y en ellos y sus características enlazan y vinculan toda posibilidad de entender la naturaleza. A partir de estos dos principios el otro elemento que resulta importante es la consideración del movimiento continuo. Para los atomistas, el movimiento de los átomos es la condición mediante la cual se podrá establecer la agregación de partículas y formar todos los cuerpos. Su pensamiento es mecanicista, dejando de lado todas las interpretaciones sobre lo que se percibe. Desde el punto de vista atomista no tiene sentido aceptar la existencia de los cuatro elementos de Empédocles ya que como el mismo Demócrito señala no es posible que todas las interacciones de los átomos tan sólo puedan producir la presencia de cuatro sustancias fundamentales.

Las propiedades de los átomos que se consideran fundamentales para la formación de la materia son: la forma, el tamaño y el peso. Todas estas propiedades son conceptualizadas a partir del objeto es decir de las partículas y de sus cualidades físicas.

En el caso de Aristóteles la propuesta parte de que todos los objetos son lo que percibimos de ellos. La naturaleza está regida por causas específicas que son la materia que es potencia y la forma que es acto. Es por eso que sólo a través de la forma podemos conocer la materia. La otra causa que rige, de manera no tan directa, a la naturaleza es el movimiento que es cambio. El movimiento resulta imposible si el vacío existe por lo que niega la existencia del vacío y por ende la posibilidad de llegar a una última partícula indivisible que esté separada por un espacio vacío. A diferencia de la visión atomista, Aristóteles acepta la existencia de los cuatro elementos de Empédocles a los que atribuye características de transformación en ciclos lo que le permite explicar la existencia de todas las sustancias.

Segundo periodo

Este periodo se caracteriza por la existencia de una clara división entre aquellos científicos que abiertamente aceptan la existencia de átomos y el vacío rechazando la teoría de los cuatro elementos de Aristóteles. El grupo opositor está representado por: el rechazo a la existencia del vacío y la adopción de los cuatro elementos de Empédocles como los constituyentes de toda la materia.

La demostración de la existencia del aire favoreció la aceptación de la existencia del vacío y dio pie a la construcción de modelos que explicaran la existencia de sustancias en la naturaleza. Los dos aspectos centrales de la teoría atomista de

los griegos se habían recuperado como una posibilidad de interpretación de materia en el estado gaseoso.

En la interpretación de la constitución de los gases la idea de partículas se presentó como un modelo factible. ¿Cómo explicar la forma en que estas partículas se agregaban? La introducción del concepto de fuerzas jugó un papel central, eran ellas también la causa de que las sustancias pudieran agruparse y constituir la materia. Las fuerzas podían ser de tipo gravitacionales o eléctricas como habían sugerido los experimentos realizados con cargas eléctricas. Sin embargo aún se seguía pensando en partículas indivisibles que se movían ahora por la acción de una fuerza. Por otro lado, la definición de elemento y el establecimiento de la ley de conservación de la materia permiten superar la existencia de los cuatro elementos de Empédocles como los constituyentes básicos de toda la materia.

Una limitación importante para aceptar la existencia de una materia discontinua la constituyo en este periodo la falta de experimentos que mostraran su existencia. Para muchos científicos esta idea podía resultar fructífera para explicar algunos fenómenos pero de ninguna manera mostraba la existencia real de estas partículas indivisibles.

Tercer periodo

Este periodo corresponde al desarrollo de los conceptos de elementos, compuestos y moléculas. El cambio en las distintas áreas de la física y la química convergen en la construcción de modelos de partículas en áreas específicas. En el siglo XIX tres caminos propiciaron el desarrollo de la teoría atómica: el de la química en la que los debates se centraron en la distinción entre átomos y moléculas, la determinación de una escala de pesos atómicos, el significado de los equivalentes químicos, el desarrollo de una notación química y la clasificación de los elementos; mientras que en la física la discusión se llevó hacia la interpretación de fenómenos termodinámicos y espectroscópicos. En todos estos campos su avance contribuyó en la conformación de los modelos atómicos de principios del siglo XX.

La investigación química de los elementos permitió caracterizarlos por su peso atómico. Si bien el peso había sido puesto como un elemento central en el modelo de Epicuro, esta concepción desplazó las características de forma y tamaño como puntos importantes para su clasificación. La construcción de la tabla periódica de los elementos es el punto de culminación de esta línea de desarrollo, con ella quedaban establecidos los elementos básicos de los que se componen todas las sustancias, todos ellos agrupados de acuerdo a una cantidad específica el peso de los átomos que de manera natural definía también sus propiedades físicas y químicas.

La existencia del vacío fue un hecho aceptado y los átomos continuaron siendo partículas indivisibles que bajo estados de agregación o disgregación, debido a fuerzas coulombianas, eran las responsables de la existencia de todas las sustancias de la naturaleza, aun cuando no se tenía prueba experimental de su existencia real.

Los dos aspectos que completaron la visión química del átomo en este periodo fueron: por un lado, considerar la relación entre los volúmenes de los gases que interactúan y por el otro la hipótesis de Avogadro. Con estos dos elementos la definición entre elementos y compuestos quedó completa y la forma de relación entre los átomos queda establecida.

En el desarrollo de la física dos campos tuvieron relación directa con la estructura molecular de la materia: la teoría cinética de los gases y la espectroscopia. En lo referente a la teoría cinética, ya desde el siglo XVIII, se había mostrado la conveniencia de tratar a los gases como partículas que explicaran las relaciones entre las variables de volumen, temperatura y presión. El calor intuitivamente se había definido dentro de este marco como el resultado del movimiento de las moléculas del gas que requerían de argumentos probabilísticos y estadísticos para la interpretación de los fenómenos termodinámicos. Esto implicó un desplazamiento en cuanto al tratamiento de los fenómenos físicos, fue necesario dejar de lado un proceso dinámico para incorporar la probabilidad y estadística como parte de los métodos de análisis de la física molecular. El desarrollo de la termodinámica se pudo aplicar en algunos procesos químicos lo que fue cerrando el círculo hacia la consideración de una estructura corpuscular de la materia.

A principios del siglo XIX en la espectroscopia habían surgido muchas preguntas sobre el origen de los espectros de emisión y absorción de la luz solar y de sustancias puestas a la llama. Esto había llevado a considerar que la luz que venía del Sol, así como la de las sustancias puestas a la llama eran emitidas por la vibración de las moléculas. En la química se encontró que los espectros eran las huellas digitales de los elementos, por lo que la luz del Sol y de las estrellas debían tener estos mismos elementos. Esto implicaba que el universo estaba formado de los mismos elementos que existían en la Tierra.

En este periodo existe ya una clara distinción entre elementos y compuestos y la forma en la que éstas pueden influir en la conformación de las sustancias, el átomo sigue siendo indivisible, pero es el mismo para todos los elementos, la distinción está en la forma de agrupación debida a fuerzas eléctricas.

Cuarto periodo

El descubrimiento del electrón rompe con la idea de átomo indivisible. Es una primera señal de la compleja estructura que está por conocerse. Ya en el siglo XVIII, se intuía que la electricidad podía presentar una estructura granular, sin embargo, reconocer que el electrón es un constituyente del átomo llevó hacia la construcción de múltiples modelos sobre la estructura atómica.

Una vez aceptada la existencia de átomos divisibles, hay dos aspectos que no pueden escapar en la construcción de los modelos atómicos: la neutralidad eléctrica y la estabilidad del átomo. Los modelos están caracterizados por considerar su neutralidad eléctrica, lo que lleva a la búsqueda de cargas positivas ya que la carga eléctrica negativa del electrón debía ser contrarrestada. En este camino nuevas partículas y estructuras tuvieron que ser incorporadas continuamente a los modelos. El otro aspecto que se busca en los modelos es la estabilidad, esta búsqueda lleva a la construcción de una nueva física, la física cuántica.

Las leyes de la física en el mundo macroscópico no pueden ser aplicadas de igual forma en el mundo del átomo. En la física clásica la energía y la materia se consideran continuas, en el caso del mundo atómico estas magnitudes deben transformarse también en entidades discretas. Esto es lo que incorpora el modelo cuántico, una visión discreta aun en aquellas cantidades en las que la física no podía considerar su carácter discreto.

Estos cuatro periodos marcan como puede verse el cambio radical de la visión de la estructura de la materia, son cuatro momentos de búsqueda de distintos objetos todos a través de las mismas preguntas ¿De qué está formada la materia? ¿Cómo está constituida la materia? ¿Existen elementos fundamentales sobre los que se construye la materia? ¿Cuáles son sus características? Las preguntas que se formularon en general los griegos, siguen siendo las preguntas que dirigen la investigación actual. Las preguntas no han cambiado, lo que han cambiado son nuestros modelos

CAPITULO 2

Las concepciones de los estudiantes sobre estructura de la materia

En la literatura, actualmente, es posible encontrar gran cantidad de bibliografía referida a lo que se conoce como ideas alternativas o previas. Estos trabajos tuvieron sus inicios en las investigaciones de Piaget sobre las ideas de niños y adolescentes en diversos temas de la ciencia. Si bien, estas primeras investigaciones fueron tomando distintos caminos, de acuerdo con la postura epistemológica y psicológica de los investigadores, el conjunto de ellas dieron origen a la investigación educativa en el área de la enseñanza de las ciencias.

Unido a los estudios sobre las concepciones de los estudiantes está la construcción de una posición epistemológica de corte constructivista, desde esta posición las concepciones de los estudiantes son vistas como el resultado de la reestructuración de la información, tanto de contexto cotidiano como escolar, que es asimilada y reestructurada de acuerdo a los esquemas de representación de cada sujeto en el proceso de aprendizaje. A partir de este referente es posible entender la diversidad de representaciones de los estudiantes ante los mismos fenómenos y sucesos cotidianos así como su identificación y agrupación, acotada dentro de ciertos marcos de referencia categoriales.

Por el interés curricular que tiene el tema de la estructura de la materia se han investigado las concepciones de los estudiantes sobre este tema desde la década de los años 70. Puede mencionarse al respecto que en la última versión de Pfundt y Duit¹ se encuentran 130 trabajos destinados al estudio de este tema de un total de 4 499 referencias.

En general, estos estudios abarcan distintas edades, desde niños de educación básica hasta estudiantes de nivel de licenciatura y enfocan el problema de manera directa o colateral. Las directas preguntan sobre la constitución de la materia y la representación de modelos atómicos y moleculares de los alumnos, mientras que las colaterales se acercan al problema, a partir de fenómenos diversos como son las disoluciones, los cambios de estado de la materia y la conservación de la materia.

Sobre los métodos de investigación utilizados, en general se diseñan y aplican pruebas de papel y lápiz y entrevistas de tipo clínico. En algunas de ellas éstos métodos de investigación se complementan. En ambos casos se presenta la problemática de la categorización de las ideas y los elementos de análisis e

¹ Pfundt H, y Duit R. (1998) Bibliography "Students' alternative frameworks and science education" Versión electrónica

interpretación de datos. En este sentido es importante señalar la propuesta de Haidar A., y Abraham M.², la de Andersson³ y la de Renstrom, Andersson y Marton⁴. La primera enfoca la categorización a partir de los esquemas generales de construcción hacia esquemas particulares, en donde aparecen las concepciones de los estudiantes en tres grandes rubros: partículas en general, partículas específicas y partículas específicas correctas. En la segunda, se plantean dos niveles de categorización de las respuestas de los estudiantes para realizar un análisis de ellas a profundidad. En la tercera, se desarrolla una categorización jerárquica de las concepciones sobre materia, de estudiantes de nivel básico (7-10 grado, estudiantes de 14 años).

El primer nivel de categorización de Andersson⁵, le lleva a identificar cuatro niveles de descripción tales como: I. Las respuestas de los estudiantes en general; II. Descripciones basadas en un problema; III. Descripciones basadas en dos problemas o más; IV. Descripciones generales. El segundo nivel de categorización de las respuestas de los estudiantes o bien como lo señala el autor de "transformación de modelos", se da en función de lo que los estudiantes consideran sucede con las sustancias durante el fenómeno, las categorías propuestas para ello son:

- A. Desaparición: Las sustancias pueden desaparecer durante algún proceso.
- B. Desplazamiento: Las sustancias aparecen o desaparecen porque son desplazadas (este concepto parte del concepto de desplazamiento físico).
- C. Modificación: De identidad si la sustancia modifica las apariencias pero continua siendo la misma; y de cantidad si la sustancia sigue siendo la misma pero en cantidades distintas.
- D. Transmutación: Las sustancias cambian por otras.
- E. Interacción química: Lleva hacia la formación de nuevas sustancias.

Andersson analiza con base en estas categorías los resultados de investigaciones sobre la materia, de ellos deduce una concepción general, continua y estática sin posibilidad de pensar en el vacío como parte constituyente de materia; concluye que la materia puede dividirse hasta llegar a pequeñas partículas de materia o gotas que también son consideradas como estáticas y continuas. La concepción dinámica de átomos y moléculas, esto es, partículas en continuo movimiento en el vacío, resulta poco cercana a lo cotidiano.

² Haidar A., y Abraham M. (1991). A comparison of Applied and Theoretical Knowledge of Concepts Based on the Particulate Nature of Matter. *Journal of Research in Science Teaching*. 28 (10), pp. 919-938.

³ Andersson B (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education* 18, pp 53-85.

⁴ Renstrom L., Andersson, B., Marton F (1990) Students' Conceptions of Matter. *Journal of Educational Psychology* 3, pp 555-569

⁵ Andersson, (1990). *Art. cit*

Renstrom et al.,⁶ a partir de 20 entrevistas con estudiantes de 4° a 10° grado, establecieron seis modelos distintos sobre la materia, mismos que están ordenados en términos de inclusividad y jerarquía evolutiva. Las categorías son:

- A. La sustancia es homogénea
- B. La materia como unidad de sustancia.
- C. La materia como unidad de sustancia con átomos pequeños
- D. La materia como agregado de partículas
- E. La materia como unidades de partículas
- F. La materia como sistema de partículas

A continuación se describe cada una de las categorías.

- A. La sustancia es homogénea.
La sustancia no está delimitada por otras sustancias y carece de atributos. En esta categoría se incluyen las ideas sobre la materia continua y homogénea.
- B. La materia como unidad de sustancia.
La sustancia está delimitada por otras sustancias y existe en más de una forma. En esta concepción la materia está delimitada y forma una unidad que tiene: corteza, concha o piel, contenido y algún tipo de núcleo. Estas unidades son piezas concretas de diversos tamaños. El concepto de unidad permite a los estudiantes distinguir una sustancia de otra. Una de las funciones del concepto de unidad es el permitir a los estudiantes distinguir una sustancia de la otra. Con esta concepción se introducen dos o tres formas de representación de la misma sustancia que en el concepto de estados de la materia llega a ser significativo. En términos de estructura interna, los estudiantes se enfocan en el contenido de la unidad por un lado y la corteza y o el núcleo en la otra; y no en las características de las sustancias.
- C. La materia como una unidad de sustancia con "átomos pequeños"
Se introduce la idea de partículas pequeñas que son diferentes de las sustancias en las que están embebidas. La sustancia unitaria caracterizada por la concepción anterior se salpica con pequeños átomos o pequeñas partículas de alguna clase, justamente como un pastel con pasas. En el caso anterior la corteza que delimita la unidad tiene la función de mantener unida a la sustancia, más que distinguirla de otras sustancias.

En esta concepción los átomos están formados de la misma sustancia pero no son divisibles ni destructibles. Esta idea de que las partes de una sustancia no consisten de la misma sustancia es uno de los más importantes logros de los

⁶ Renstrom L., et al., (1990) *Art cit*

estudiantes. En la concepción C hay una estructura interna en la que se define una sustancia unitaria a la que se distingue como átomos y presenta una frontera y un núcleo que se distinguen

D. La materia como un agregado de partículas

La sustancia consiste de infinitas partículas divisibles, las cuales no consisten de una sustancia. En este caso la sustancia unitaria se forma de pequeñas partículas y la función de su cubierta es mantener unidas a las partículas. Estas partículas son infinitamente divisibles y son parte del contenido de una sustancia homogénea. Sin embargo, la forma en la que los estudiantes piensan de las partículas es muy similar a lo que ocurre cuando piensan en la materia homogénea, esto es, asignan a las partículas ciertos atributos. Algunos estudiantes creen que la frontera o borde se revienta y todas las partículas caen formándose nuevas partículas. Por esta razón, es frecuente que los estudiantes construyan un razonamiento contradictorio en el que se dice que la sustancia está formada por átomos y éstos a su vez están formados de la misma sustancia.

E. La materia está formada de unidades de partículas.

La sustancia consiste de partículas que no son divisibles en otras y que presentan ciertos atributos tales como forma y estructura, que explican las macropropiedades de la sustancia. En esta concepción la partícula no puede dividirse en más partículas, esto define a la partícula como una unidad. Cuatro posibilidades de interpretación se encuentran en esta concepción: una partícula sustancia, muchas partículas sustancia, una partícula atómica, muchas partículas atómicas. Esta concepción tiene una estructura interna particular, toda la atención está puesta en la partícula misma y no en posibles atributos de ella en relación con la sustancia.

F. La materia como un sistema de partículas

La sustancia consiste de sistemas de partículas. Diferentes macropropiedades de las sustancias pueden dar razón de partículas o sistemas de partículas. Esta concepción es la más cercana a la hipótesis atómica, enseñada en la escuela. La materia se conceptualiza en términos de sistemas de partículas y subpartículas y las relaciones entre ellas. Esta concepción permite establecer ligas entre las propiedades de las sustancias y las del sistema de partículas.

Renstrom et al.,⁷ en su investigación muestran que estas seis concepciones de la materia son distintos escenarios de cómo es la constitución interna de las sustancias para los estudiantes. Estos escenarios son jerárquicos, y el orden propuesto permite un mayor nivel explicativo del fenómeno. Cada variación en la estructura interna define el modelo. Otro aspecto importante es que los estudiantes expresan su pensamiento sobre la materia en función de las

⁷ Renstrom, Andersson y Marton (1990) *Ibid*

preguntas, problemas y sustancias; lo que significa que el contexto determina el concepto de materia, las relaciones entre los aspectos individuales y el fenómeno analizado.

Las categorías de Renstrom et al.,⁸ se construyeron con base en las ideas de estudiantes de secundaria (14 años) por lo que no responden a todas las ideas de otros niveles educativos que se encuentran en la bibliografía. Por ejemplo, en estas categorías no existe la categoría de modelos atómicos y moleculares.

Para la presentación de la revisión bibliográfica se elaboró el siguiente esquema de análisis:

1. La materia es continua, homogénea y estática:
 1. La naturaleza de la materia y sus características
 2. Estados físicos de la materia: sólidos, líquidos y gases
 3. Cambios de estado
 4. Disoluciones. La conservación de la materia y el peso

2. La materia es discreta
 1. La naturaleza de la materia
 - 1.1. La naturaleza y característica de las partículas
 2. Concepciones de átomos y moléculas:
 - 2.1 Características de los modelos para los estudiantes
 - 2.2 Las partículas atómicas en los modelos atómicos de los estudiantes
 3. Las macropropiedades se transfieren al micromundo
 4. Sistemas y conglomerados de partículas
 - 4.1 Estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso
 - 4.2 Cambios de fase
 - 4.3 Disoluciones

Las categorías propuestas por Andersson⁹ permiten una mejor descripción de las ideas reportadas en las investigaciones si la concepción está ligada a que la materia es continua, homogénea y estática por lo que se incorporaron estas categorías de análisis para la categoría I, presentada en el esquema anterior.

Las ideas de los estudiantes que se encuentran en la categoría I corresponden a la materia continua, homogénea y sin cambio. En ella, los estudiantes consideran que las sustancias no cambian sus cualidades, y su existencia no tiene ninguna causa por lo que pueden desaparecer. Prácticamente todos los estudiantes quienes expresan esta concepción ven a la sustancia como una combinación de sustancias. A partir de que la materia es homogénea y continua la combinación de

⁸ Renstrom, Andersson y Marton (1990) *Ibid*

⁹ Andersson, (1990) *Art cit*

las sustancias forma una nueva. Considerar que la materia es continua, homogénea y sin cambio, lleva necesariamente a la concepción de materia estática. A partir de que la noción de una materia sin cambio, no es posible la interpretación de los cambios de fase.

Las ideas de los estudiantes que se encuentran en la categoría II, presentan distintos niveles de clasificación:

- Aquellos trabajos que muestran una visión general de la estructura de la materia como partículas
- Los que se pregunta por la representación de los modelos atómicos y moleculares en los estudiantes
- Los trabajos que trasladan de manera directa las propiedades y características de los fenómenos en el contexto macroscópico hacia el microscópico
- Y por último las explicaciones de estados de la materia, cambios de estado y disoluciones con base en explicaciones de sistemas o conglomerados de partículas

2.1 La materia es continua, homogénea y estática

2.1.1 La naturaleza de la materia y sus características

Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer, y Blakeslee,¹⁰ evaluaron durante 2 años una propuesta de enseñanza de la materia y moléculas con alumnos de sexto grado

En un principio los estudiantes se expresaban en términos intuitivos basados en sus sensaciones, para ellos la materia es todo aquello que se puede sentir y ver. Estas ideas no ayudaron a que los estudiantes distinguieran entre los ejemplos de materia y no-materia. Tampoco, para la mayoría de los estudiantes, es clara la distinción entre gases (aire y helio) y formas de energía (calor, luz y electricidad). Los estudiantes ven que el mundo consiste de sólidos, líquidos y varios tipos de material efímero en el que se incluyen los gases y las formas de energía.

De manera convencional se define materia como aquello que tiene peso, masa, o tiene un lugar en el espacio lo que ayuda poco a los estudiantes, ya que para muchos de ellos los gases no tienen peso, algunos, piensan que la luz y el calor deben ocupar un espacio. Para otros estudiantes, materia es todo lo que existe e incluye las formas de energía que no tienen formas sólidas, líquidas y gaseosas.

¹⁰ Lee O., Eichinger D., Anderson C W, Berkheimer G Blakeslee T (1993). Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3) pp 249-270

Krnel, Watson y Glazar¹¹ revisaron extensamente las investigaciones realizadas en cuanto a la concepción de la materia. Su análisis abarca desde niños pequeños hasta estudiantes de nivel superior. En su análisis plantean que el desarrollo del concepto de materia en los niños está clasificado dependiendo de: la definición de prototipos; acciones primitivas (sostener, romper, cargar, etc.); esquemas de acción; y leyes.

A partir de estas concepciones básicas el concepto de materia está más cercano al concepto de objeto mientras que la materia se manifiesta en términos generales. Los líquidos se consideran como gotas que conservan su forma de representación y caracterizan a la materia en ese estado. Sin embargo, los problemas aparecen cuando esta referencia se traslada al nivel microscópico, en donde la materia, se considera formada de pequeños objetos, a los que identifica como átomos. La distinción entre propiedades macroscópicas y microscópicas en este traslado es la causa de problemas conceptuales en los niños.

Dickinson¹² encuentra que los niños pequeños (4 años) tienen dificultades para identificar propiedades que les permitan una clasificación del material. Tienen dificultades, por ejemplo, en decidir si una sombra se considera un objeto material o no, en distinguir si un objeto hecho polvo es materia distinta que el objeto.

Niños de entre 9 – 11 años, construyen el concepto de materia a partir del concepto de objeto. Lo que les lleva a concebir a la materia como algo concreto y sólido descartando a los líquidos y los gases. Esta concepción cambia con la edad y se ve influenciada con la educación (Stavy y Stachel¹³). El modelo que utilizan los niños para identificar las características de la materia consta de un núcleo material y distintas propiedades no materiales como color, olor, flamabilidad o peso. Estas propiedades se separan del material, en particular, cuando éste se encuentra en un proceso de cambio. Diversos ejemplos, muestran esta idea: el olor que escapa de la acetona; el color del yodo que escapa en el proceso de sublimación y la capacidad de ser flamable de la cera fundida. Cabe resaltar que el color es la cualidad que tiene mayor relevancia perceptual para la identificación de la materia.

El carácter perceptual de la materia se convierte en una condición para su existencia, esto es, la materia existe únicamente cuando se tienen evidencias de ello. Esta forma de clasificación les lleva a negar su existencia cuando la evidencia desaparece.

¹¹ Krnel, D. R. Watson, y S. A. Glazar (1998) Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal of Science Education* 20 (3), pp 257-289

¹² Dickinson D. K. (1987) The development of a concept of material kind. *Science Education* 71(4), pp. 615-628.

¹³ Stavy R., (1990) Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching* 27(3), pp 247-266

2.1.2 Estados sólido, líquido y gaseoso

Los estudios sobre estados de la materia que se encuentran en la bibliografía se enfocan principalmente a los gases y de manera particular al caso del aire, como se muestra en los trabajos de Sere¹⁴ y Stavy y Stachel.¹⁵

Estados sólido y líquido

En un estudio con niños israelíes (5-12 años), Stavy y Stachel¹⁶ muestran que los niños agrupan los objetos de acuerdo a 5 categorías: cuerpos rígidos, cuerpos suaves, polvos, líquidos densos y líquidos ligeros. El 50% de los niños, de 12 años, acomodó correctamente los objetos en la categoría de cuerpos suaves. Sin embargo, los polvos presentaron problemas de ubicación entre sólidos y líquidos, problema que se mantiene aun en el nivel universitario¹⁷. El 60% de la población investigada no está segura de los elementos de clasificación entre sólido y líquido y al parecer el tamaño de las partículas puede tener influencia en la clasificación de un polvo como un objeto sólido. Los niños siempre identifican los metales, que se describen como fuertes, duros y puntiagudos o filosos

El peso, es una propiedad que se asocia a los sólidos a través de las nociones primitivas de sostener. Esta noción cambia de acuerdo con el estado de la materia, y se establecieron las siguientes categorías para el peso de los líquidos en relación con los sólidos:

1. Los líquidos pesan más que el sólido
2. Los líquidos no pesan ya que su peso no puede sentirse;
3. Los líquidos pesan menos que los sólidos;
4. El peso de un líquido es igual que del sólido del que se forma.

Los líquidos se identifican con su prototipo que es el agua. Para los niños los líquidos mojan, corren y se desparraman, mientras que, los sólidos no (Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer y Blakeslee¹⁸)

¹⁴ Seré (1989). En Driver (1989) El estado gaseoso en ideas científicas en la infancia y la adolescencia. En Driver R. Guesne E, y Tiberghien A., (Eds) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ed. Morata.

¹⁵ Stavy, R. (1990) *Art cit*

¹⁶ Stavy, R y Stachel, D (1985) Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education*, 7, 407-421 Citado en Andersson (1990) *Art cit*

¹⁷ Ryan (1990). Student teachers' concepts of purity and states of matter. *Research in Science and Technological Education*, 8(2), 171-183. Citado en Krnel, reporta que el 9% de estudiantes de nivel universitario mantienen esta idea

¹⁸ Lee O, Eichinger D., Anderson C W., Berkheimer G Blakeslee T (1993) *Art cit*

Estado gaseoso

La mayoría de los estudios realizados sobre la materia abordan el estado gaseoso, en particular el caso del aire. La idea de gas se asocia con algo venenoso o flamable, mientras que el aire se asocia con respiración y vida. El gas y el aire son utilizados como sinónimos por los estudiantes y el aire es el prototipo de gas (Krnell et al.,¹⁹).

El estudio de Seré²⁰ demostró que, para los estudiantes (niños franceses de 11-12 años), el aire no tiene peso, ni puede ser delimitado o encerrado en un recipiente. Extienden, por analogía, lo que sucede con el agua al aire, por lo que una botella puede llenarse de aire si se pone en la corriente o debe sacudirse para sacarlo. Algunas otras características que se atribuyen a los gases son: fluye como el agua, si entra aire en un recipiente este deberá encontrarse en el fondo del mismo, por lo que el aire no está equitativamente repartido en un cuarto y hay diferencia entre el aire encerrado en un recipiente y el aire que está fuera de él.

La idea de que los gases tienen una estructura continua, no se presenta de manera exclusiva en estudiantes de nivel básico, un estudio realizado por Krnell²¹ muestra que esta idea varía de acuerdo con la edad (el 74% de estudiantes de nivel básico sostienen esta idea y disminuye hasta el 12% de estudiantes de un grupo de química de nivel universitario²²). Esta idea de continuidad hace pensar que los gases no pueden ser capturados o transportados.

Valanides²³ en un estudio con profesores de primaria encuentra que cinco de ellos, piensan que cuando un líquido se evapora cambia tan solo la forma líquida pero no su masa o su naturaleza básica. En el caso de la disolución, los profesores consideran que el soluto también se evapora. Para ellos, cambia el movimiento de las moléculas y su arreglo pero no su naturaleza básica. Quince profesores creen que las moléculas de vapor son diferentes de las del agua o las de la disolución de agua. Seis de ellos, creen que el agua cambia a aire cuando se evapora.

En relación con la noción de peso en los gases se establecen las siguientes relaciones:

¹⁹ Krnell et al., (1998) *Art. cit*

²⁰ Seré (1989) En Driver (1989) *Op cit*.

²¹ Krnell et al., (1998) *Ibid*.

²² Benson, D. L., Wittrock, M. C., y Baur, M. E. (1993) Students' preconceptions of the nature of gases *Journal of Research in Science Education*, 30(6), 587-597. Citado en el trabajo de Krnell et al (1998).

²³ Valanides, (2000) Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving *Chemical Education. Research and Practice in Europe* 1, pp 249-262.

- El gas no tiene peso (para niños pequeños), inclusive para algunos estudiantes el peso puede ser negativo por lo que el gas siempre sube.
- El gas siempre pesa menos que el líquido (sólido).
- El peso de un gas, en un sistema cerrado, es igual al del líquido o sólido del cual se derivan.
- El peso del aire depende de la temperatura

2.1.3 Cambios de estado

Los trabajos que enfocan el problema de cambio de estado y se analizarán de acuerdo con las categorías de Andersson²⁴.

Desaparición

Bar²⁵ en un trabajo realizado con niños israelíes (5 y 11 años) encuentra que el 60% de los niños de 5 años, contestan que el agua desaparece ante la pregunta ¿qué le sucede al agua derramada sobre el piso después de cierto tiempo? Esta idea disminuye con la edad considerablemente. Esta misma pregunta fue formulada a otro grupo de estudiantes (5-14 años) por Bar y Galili²⁶, añadiendo el caso del agua derramada sobre el suelo (tierra). La idea de que el agua desaparece se mantiene en los estudiantes más jóvenes y disminuyen su frecuencia de aparición con la edad.

Lee et al,²⁷ reportan la confusión que tienen los estudiantes en cuanto a la conservación de la masa y el peso durante la fusión y la solidificación. Algunos de los estudiantes expresan, por ejemplo, que el hielo al fundirse y transformarse en agua pesará menos ya que el hielo pesa más que el agua (al parecer por tratarse de su fase sólida) o bien que tiene más materia que el agua. Para los estudiantes, no existe la conservación de la materia durante los procesos de evaporación, ebullición y condensación, todos ellos cambios de estado que implican la presencia de gases que no pueden verse.

Desplazamiento

En el estudio de Bar²⁸ al explicar lo que ocurre con el agua que penetra en el piso, el 65% de los estudiantes consideran que el agua debe conservarse y por lo tanto simplemente se mueve o desplaza de un lugar a otro. La conservación del agua

²⁴ Andersson, (1990) *Art cit.*

²⁵ Bar, V (1987) The development of the concept of evaporation, submitted for publication to the *Journal of Research in Science Teaching* Citado en Andersson (1990) *Ibid*

²⁶ Bar, V. y Galili, I (1994) Stages of children's views about evaporation *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.

²⁷ Lee et al., (1993) *Art cit.*

²⁸ Bar (1987) *Art cit*

en este caso no implica que los estudiantes piensen que el aire se conserva también

Bar y Galili²⁹ muestran también que algunas respuestas, al problema del agua derramada en el piso o suelo se agrupan en esta categoría. Los alumnos piensan que el agua se absorbe en el piso o el suelo, o bien, que se transfiere a otro medio como el cielo, el sol, techo, nubes, etc.

Dibar y Colinvaux³⁰ encontraron que adultos entre los 15-27³¹ años piensa que la condensación del agua en la superficie de una jarra con agua fría, es un desplazamiento del agua o del hielo del interior de la jarra. Resultados similares fueron obtenidos por Osborne y Cosgrove³², donde estudiantes Neo Zelandeses (8-17 años) explican que las burbujas, que se observan en el proceso de ebullición, son de aire que viene de fuera del recipiente.

Modificación

Driver³³ reporta que la mayoría de la muestra de estudiantes Neo Zelandeses que fueron entrevistados expresan que la sustancia es la misma, independientemente de los cambios de estado. Los cambios de estado son considerados como fenómenos macroscópicos

Bar y Galili³⁴ presentan que algunos estudiantes representan la evaporación del agua como pequeñas gotas de agua que no pueden verse y que se dispersan en el aire.

Transmutación

Para algunos estudiantes (Driver³⁵) la naturaleza de la sustancia cambia durante los cambios de estado, en algún caso se manifiesta que el agua se transforma en aire cuando hierve, considerando que el aire y el vapor son idénticos. Un caso similar lo presentan Dibar y Colinvaux³⁶ que encontraron en adultos, entre los 15 - 27 años, que cuando el agua está en el proceso de ebullición las burbujas están

²⁹ Bar y Galili (1994) *Art cit*

³⁰ Dibar Ure M. C y Colinvaux, D (1989) Developing adults' views on the phenomenon of change of physical state in water. *International Journal of Science Education*, 11(2), 153-160

³¹ El grupo de adultos estaba inscrito en un curso para aprender a leer y escribir.

³² Osborne, R. J. y Cosgrove, M. M (1983) Children's conceptions of the changes of the state of water *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 825-838

³³ Driver, R. (1989) Más allá de las apariencias: la conservación de la materia bajo las transformaciones físicas y químicas. En Driver R. Guesne E Y Tiberghien A , *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ed Morata

³⁴ Bar y Galili (1994). *Art cit*

³⁵ Driver (1989) *Op cit*.

³⁶ Dibar y Colinvaux (1989) *Art cit*

formadas por aire y humo, agua en forma de aire, o aire que se convierte en agua y viceversa.

A partir de los 9.5 años aparece la idea de que el vapor y el aire son lo mismo (Bar y Galili³⁷). Cerca de una cuarta parte de los niños, del mismo estudio, incluyen el vapor como una entidad separada, piensan que el vapor se convierte en aire. Es de particular interés la existencia de respuestas que dicen que el vapor de agua es una mezcla de agua y calor, lo que le da cuerpo sustancial al calor.

Lee et al.³⁸ muestran que, cuando una sustancia no es visible durante un proceso, (condensación) los estudiantes tienden a considerar que se crea una nueva sustancia. Stavy y Stachel³⁹ explican como niños entre los 5 – 12 años, creen que una sustancia sólida como la cera de una vela se transforma en agua cuando se funde.

Borsese A. Lumbaca, P y Pentimalli⁴⁰ muestran que cuando los estudiantes explican la evaporación de una sustancia, tan sólo el 56% de los estudiantes opina que la composición de la sustancia permanece constante, esto implica que prácticamente la mitad de la muestra opina que la sustancia cambia durante el proceso de evaporación.

Interacción química

Andersson⁴¹ hace una síntesis de varios trabajos que presentan explicaciones en función de elementos químicos, sin embargo, desde su punto de vista estos elementos no son vistos como integrantes moleculares de las sustancias sino como sustancias en su forma gaseosa. Osborne y Cosgrove⁴² muestran, que en ocasiones, los estudiantes utilizan modelos químicos para explicar los cambios de estado al mencionar que los átomos de oxígeno e hidrógeno se desprenden del agua en ebullición y que se unen a las gotas cuando pasan al estado líquido. Sin embargo, como señalan Bar y Galili⁴³ y, de acuerdo con las investigaciones de Bar y Trevis⁴⁴, estas nociones de desintegración química que tienen lugar en la evaporación son raras y parecen no ser utilizadas por los niños de forma natural sino a partir de ciertos contextos o sugerencias del investigador.

³⁷ Bar y Galili, (1994) *Art. cit.*

³⁸ Lee et al., (1993) *Art. cit.*

³⁹ Stavy, R y Stachel, D (1985). Children's conceptions of changes in the state of matter: from solid to liquid *Archives de Psychologie*, 53, 331-344 Citado en Andersson (1990) *Art. cit.*

⁴⁰ Borsese A. Lumbaca, P y Pentimalli (1996) Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp. 15-24.

⁴¹ Andersson, (1990) *Art. cit.*

⁴² Osborne y Cosgrove, (1983). *Art. cit.*

⁴³ Bar y Galili, (1994) *Art. cit.*

⁴⁴ Bar, V., y Trevis, A. S. (1991). Children's view concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382

Andersson⁴⁵ indica en otro estudio con estudiantes Neo Zelandeses (con edades entre los 12–15 años) las burbujas que aparecen en la ebullición del agua se explican a partir de cuatro posibilidades: el 10% las escoge como vapor, el 20% como calor, el 30% como oxígeno e hidrógeno y el 30% como aire. Las respuestas de la transición hielo–agua son mejores que en el caso de la transición agua - vapor. Por ejemplo, un alto porcentaje menciona que el agua está formada por hielo fundido, lo que no significa que el concepto general de cambio de fase haya sido comprendido. Karplus⁴⁶ reporta que al fundir sal (fenil silicato) el líquido claro que se obtiene es interpretado como agua por alumnos de primaria y de licenciatura en artes. Esto sucede, al parecer, porque los estudiantes establecen una analogía entre la fusión del hielo y la de la sal y concluyen que el material resultante es agua. Otra interpretación es aquella que parte de establecer un prototipo de las sustancias en distintos estados, en estado líquido el agua es el prototipo como mencionan Krnel, et al.,⁴⁷ y Stavy y Stachel⁴⁸. Existe otra posibilidad de interpretación como señala Andersson⁴⁹ y es que consideren que el agua está presente en todos los líquidos como una especie de portador de la humedad que debe existir en los materiales.

Valanides⁵⁰ muestra que 7 profesores de primaria piensan que la evaporación es un cambio químico en donde se producen oxígeno e hidrógeno.

Comentarios

Una gran proporción de los estudiantes utiliza modelos compatibles con la concepción de materia continua y estática para explicar los cambios de estado de la materia. Al parecer la existencia de partículas, moléculas y átomos es rescatada únicamente si existe una sugerencia por parte del investigador. El agua se transforma en vapor solamente cuando existen burbujas en la ebullición. El modelo continuo y estático es más evidente en el caso de estudiantes pequeños o bien, como se ve en el caso del estudio con adultos, en aquellos que tiene poca influencia escolar. Estas ideas van cambiando conforme la edad avanza, los estudiantes de mayor edad intentan con mayor énfasis explicar los cambios en función de un modelo de partículas.

⁴⁵ Andersson, (1990) *Art cit*

⁴⁶ Karplus (1966). Chemical phenomena in elementary school science *Journal of Chemical Education*, 43, 267-269 Citado en Andersson (1990) *Art cit*

⁴⁷ Krnel, R. Watson y S A Glazar (1998) *Art. cit*

⁴⁸ Stavy y Stachel, (1990) *Art. cit*

⁴⁹ Andersson, (1990) *Art cit*

⁵⁰ Valanides N , (2000) *Art cit*

2.1.4 Las disoluciones. La Conservación de la materia y el peso

Los primeros trabajos que se desarrollaron sobre la conservación de la masa y del peso son los desarrollados por Piaget e Inhelder⁵¹, en ellos, la concepción de los niños se caracteriza de la siguiente forma:

- a. La materia no tiene un aspecto permanente y puede desaparecer de la vista o dejar de existir
- b. La materia tiene un núcleo material que presenta distintas propiedades. La materia puede desaparecer o continuar su existencia de manera independiente
- c. El peso no es una propiedad intrínseca. Sin embargo, es aceptada la existencia del peso ligada a la idea de materia.
- d. Las transformaciones físicas no son reversibles; tal es el caso particular de las disoluciones.

Piaget explica el cambio en esta idea dividida en tres etapas: la primera, referida a la no-conservación; la segunda, la idea de licuefacción del azúcar; y la tercera, en la que los niños dan sus explicaciones utilizando ideas de átomos y moléculas a los 12-14 años aproximadamente.

Conservación de la cantidad de materia en el caso de las disoluciones

El caso de las disoluciones lleva hacia la discusión sobre la conservación de la materia y el peso, dado que en ellas, dos sustancias interactúan y cuyo resultado final es que una de ellas deja de percibirse o se distingue una nueva característica. A continuación se analizan las investigaciones sobre disoluciones, a partir de las cuatro categorías de Andersson⁵².

Desaparición

La posibilidad de observar una sustancia determina en gran medida la noción de conservación de la materia, esto puede verse en el caso de la disolución de agua y azúcar, en donde estudiantes neo-zelandeses, franceses e ingleses consideraban que se mantiene el mismo peso y volumen inicial del agua después de llevarse a cabo la disolución, al desaparecer el azúcar. Se justifica así, que la masa original del agua sin el azúcar se mantenía después de la disolución lo que implica no-conservación de la masa (Driver et al.,⁵³)

Stavy y Stachel⁵⁴ en un estudio realizado con 20 estudiantes de cuarto y quinto grados (9- 15 años), con la evaporación de la acetona y la sublimación del yodo

⁵¹ Piaget J , e Inhelder B , (1994) *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Ed. Paidós

⁵² Andersson, (1990) *Art. cit*

⁵³ Driver et al (1989) *Op. cit*

⁵⁴ Stavy, R , (1990) *Art cit*

en frascos cerrados, sobre la conservación de la materia, la conservación del peso, las propiedades de la materia y la irreversibilidad de los procesos, muestran que, cuando la sustancia, en este caso la acetona, deja de ser visible, un alto porcentaje de estudiantes considera que desaparece, por lo que no se conserva ni la masa ni el peso, el olor es considerado por los estudiantes como independiente de la masa. Esta idea disminuye con la edad, desde el 45 % en los estudiantes más jóvenes hasta el 0% en los mayores.

Con la edad, al parecer esta idea de no-conservación de la masa y del peso cambia como lo muestra el trabajo de Longden, Black y Solomon⁵⁵ en el que los estudiantes de secundaria (11-14 años) piensan que el azúcar en una disolución sigue en ella aun cuando no puedan observarla. Resultados similares son presentados por Lee et al.,⁵⁶ en donde los estudiantes expresan estar conscientes de la presencia de soluto en una disolución a pesar de que no se vea. Sin embargo, las explicaciones desde el nivel macroscópico de algunos estudiantes, llevan a concepciones como que el azúcar se evapora, funde o simplemente deja de existir ya que no se ve. En el mismo trabajo se plantea que una de las dificultades para comprender el proceso de la disolución es reconocer que éste se da en la interacción entre sólidos y líquidos.

Desplazamiento

Tres sistemas distintos se presentan a estudiantes de secundaria: agua - sal, alcohol agua y pintura, agua – azúcar. Ebenezer y Gaskell⁵⁷, encuentran distintas explicaciones de los estudiantes:

- Los dos primeros sistemas implican un aumento en la cantidad de espacio en la disolución
- Como una combinación del soluto y el solvente
- En el sistema azúcar-agua, el agua reacciona con el azúcar en donde hay aire que reacciona con el agua
- Una vez que se forma la disolución los diagramas indican que el azúcar se encuentra rodeada de agua.
- Hay pequeñas bolsas de aire en el agua. El aire sale y este espacio se llena de azúcar

En otro estudio Ebenezer y Erickson⁵⁸ muestran que para algunos alumnos las sustancias no se disuelven porque no hay suficiente espacio en el medio en el que se disuelve. Por ejemplo, para explicar el sistema agua-alcohol, los

⁵⁵ Longden, Paul Black y Joan Solomon (1991) Children's interpretation of dissolving *International Journal of Science Education*, 13 (1), pp 59-68

⁵⁶ Lee et al (1993) *Art. cit*

⁵⁷ Ebenezer J V y Gaskell P J (1995) Relational conceptual change in solution chemistry *Science Education*, 79(1), 1-17

⁵⁸ Ebenezer, J V, y Erickson, G L (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: A phenomenography *Science Education*, 89(2), 181-201

estudiantes dicen que no hay espacio disponible en la mezcla ya que la atracción o cercanía entre las partículas de agua y alcohol impide que otro líquido sea atraído por el agua y encuentre un espacio. Esto implica que los estudiantes piensan que no hay solubilidad si no hay fuerza de atracción entre las sustancias.

El tamaño de las partículas de soluto debe ser muy pequeño para que la disolución tenga lugar, esta idea corresponde con la explicación de que el soluto se rompe en pequeños pedazos para disolverse. En el estudio con niños Neozelandeses Driver⁵⁹ muestra cómo niños de más de 10 años decían que el azúcar está en el líquido repartida en trozos tan pequeños que no pueden verse.

Krnel et al.⁶⁰ señalan que en caso de la disolución se encuentran ideas de no-conservación de la materia sobre todo en niños de menos de 12 años (este porcentaje disminuye con la edad y fluctúa entre el 69% entre los 4-6 años hasta el 0% en estudiantes de 12-14 años). Para los niños las propiedades de una sustancia se transfieren a otra. Por ejemplo, el azúcar es una sustancia que preserva sus propiedades y las transfiere al agua. La disolución también se reporta como una mezcla en el sentido de un desplazamiento y no como una interacción entre las partículas de agua y azúcar.

Modificación

Ebenezer y Gaskell⁶¹ preguntaron a estudiantes de secundaria (11-12 años) que sucedería en una disolución de agua caliente con azúcar y agua caliente con sal y en donde quedaría la sal en la segunda disolución. Los estudiantes explicaron la disolución como una transformación del estado sólido al líquido. Esta misma explicación apareció en un 25% de la muestra de Driver⁶². En el caso de la disolución de azúcar en agua caliente, aparece la idea de que el agua caliente proporciona la energía necesaria para el cambio de estado con lo que justifican su respuesta. De manera similar Ebenezer y Erickson⁶³, muestran que la idea de una transformación física de sólido a líquido se mantiene aun en estudiantes universitarios. Dos tipos de concepciones se tienen: una visión continua y otra de partículas del estado líquido. En algunos casos se relaciona la idea de calor o frío con el cambio de estado. Por ejemplo, un estudiante explica que el calor del agua caliente hace que la sal se funda, esto implica un proceso en el que el calor contribuye en el proceso de disolución.

Para explicar la disolución los estudiantes piensan que las partículas del soluto deben hacerse lo suficientemente pequeñas, y que algunas de sus propiedades deben cambiar sin que expresen cuáles son las propiedades a las que se refieren

⁵⁹ Driver (1989). *Op cit*

⁶⁰ Krnel et al (1998). *Art cit.*

⁶¹ Ebenezer y Gaskell (1995) *Art cit.*

⁶² Driver (1989) *Op. cit.*

⁶³ Ebenezer y Erickson (1996) *Art cit*

Krnel et al.⁶⁴ explican que ciertos fenómenos cotidianos se describen de tres formas posibles: a partir de un proceso de cambio (el agua disuelve, las partículas se hacen cada vez más pequeñas); por composición (las partículas de agua están combinadas y juntas forman una nueva partícula) o cambios de lugar (las partículas dejan el cristal de sal y se mezclan con el agua).

Otras características que se toman en cuenta para explicar la disolución tal es el caso de un grupo de profesores de primaria (Valanides⁶⁵) que piensa en el peso como el elemento determinante en una disolución, con base en esta idea su primera predicción ante una disolución agua-sal, es que el soluto se deposite en el fondo del recipiente aun cuando se agite la mezcla. La disolución se concibe también como un proceso momentáneo y reversible, estos resultados son consistentes con el reporte de Blanco y Prieto⁶⁶ realizado con estudiantes de entre 12 y 18 años.

Resulta interesante observar que las mismas ideas de cambio de estado del soluto, de cambio en el tamaño de las partículas de soluto como condición necesaria para la disolución aparece nuevamente en el estudio de Valanides⁶⁷. Cabe mencionar que en este caso se considera que la materia puede dividirse bajo ciertas condiciones en pequeñas partes que mantienen las propiedades de la materia y que la mayoría de los profesores considera que después de la disolución o fusión las moléculas existen en su forma líquida. En el mismo estudio las ideas de los profesores ante una mezcla de alcohol y agua rechazan la posibilidad de que se forme una mezcla homogénea, ellos consideran que siempre se formarán distinto número de capas de líquidos.

Transmutación

En el mismo estudio reportado por Driver⁶⁸ se señala que para algunos estudiantes la combinación de agua y azúcar forma una sustancia distinta, y que el azúcar define las propiedades macroscópicas y la estructura cristalina de la nueva sustancia. De manera similar Ebenezer y Gaskell⁶⁹, muestran que para algunos alumnos de secundaria la disolución de azúcar en agua caliente se debe a una transformación química del azúcar y del agua con sal a un cambio en la densidad de alcohol y la pintura en una disolución de agua-alcohol y pintura. En otros casos los estudiantes piensan que cambia la estructura química de los componentes de las tres disoluciones (agua-azúcar, agua-sal, agua-alcohol-

⁶⁴ Krnel et al, (1998) *Art cit.*

⁶⁵ Valanides, (2000) *Art cit*

⁶⁶ Blanco, A. y Prieto, T. (1997) Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolutions of a solid in a liquid: a cross-age study (12 to 18) *International Journal of Science Education*, 19, 303-315 Citado en Valanides (2000) *Art cit*

⁶⁷ Valanides, (2000) *Art. cit*

⁶⁸ Driver, (1989) *Art cit*

⁶⁹ Ebenezer y Gaskell, (1995) *Art cit*

pintura), este tipo de explicaciones emergen después de sesiones de instrucción del tema. Esta idea se mantiene aun en estudiantes universitarios como muestra Ebenezer y Erickson⁷⁰. Por ejemplo en la disolución de agua- azúcar, se forma una nueva sustancia y el azúcar deja de ser un sólido para convertirse en un líquido. Otro caso se tiene con aquellos estudiantes que consideran que el azúcar y el agua forman una combinación química que produce otra nueva sustancia "agua-azúcar" en donde el producto es diferente de sus constituyentes iniciales en estado y apariencia.

Interacción química

Dentro de esta categoría se encuentra la explicación de que en la disolución las pequeñas bolsas de aire que se encuentran en el agua son ocupadas por el azúcar, los estudiantes concluyen que el agua debe ser una disolución de oxígeno e hidrógeno (Ebenezer et al.⁷¹)

Estas ideas de cambio en la sustancia en el proceso de disolución están también presentes en profesores de primaria (Valanides⁷²), quienes consideran que el cambio químico es un proceso de combinación o adición de moléculas de distintas clases, lo que da como resultado la formación de nuevas moléculas. En este estudio, es importante resaltar que los profesores siempre parten de la conservación de la cantidad de materia por lo que afirman que el volumen de la disolución se incrementa como la suma de los volúmenes de las dos cantidades y que la densidad de la disolución debe ser mayor que la del agua y menor que la del sólido.

Si la disolución se da entre líquidos (alcohol y agua), los profesores mantienen la idea de que se produce una reacción química, idea que se refuerza al observar una inesperada disminución del volumen. Los profesores piensan que el cambio químico que se produce hace que lo combustible del alcohol se pierda. La disminución en el volumen la explican como pérdida de gotas de alcohol durante el proceso o evaporación del alcohol que se escapa, para algunos no hay explicación. En ciertos casos, la disminución de volumen lleva a concluir que no hay conservación de la masa. La conservación de la masa debería llevarse a la explicación microscópica para comprender el proceso de reversibilidad que está presente, sin embargo, esta perspectiva no es obvia para los profesores.

Andersson⁷³ encuentra que solamente el 26% de los estudiantes de 16 años de edad dan respuesta bajo el argumento de la conservación. El hecho de que los alumnos presenten ideas sobre la conservación de la masa no implica que existe

⁷⁰ Ebenezer y Erickson, (1997) *Art. cit.*

⁷¹ Ebenezer y Erickson, (1997) *Ibid*

⁷² Valanides, (2000) *Art. cit.*

⁷³ Andersson, (1990) *Art. cit.*

la seguridad de que habrá conservación del peso. Este caso, se muestra en la disolución de azúcar en agua: "El agua debe pesar más si se añade algo. Aun si el azúcar se disuelve, hay justamente más azúcar en el agua (tanta como se haya vaciado dentro). Pero no pienso que el peso sea exactamente de 1200 g (esto es que se conserve la cantidad inicial de masa), porque cuando el azúcar se disuelve en pequeños granos, su densidad disminuye"⁷⁴. La densidad se conecta con la noción de tamaño y por tanto de ligereza de una sustancia. Otros factores pueden desviar la atención de los estudiantes hacia su concepción de la conservación del peso, tal es el caso de su noción de si una cantidad de materia se transforma en estado gaseoso deberá pesar menos que en estado sólido o líquido.

El 25% de la muestra del estudio de Borsese et al.,⁷⁵ asocian el fenómeno de la solidificación a una disminución de la masa de la sustancia, es decir, la cuarta parte de la muestra de este estudio no tiene idea de la conservación de la masa. Los estudiantes que tienen una idea corpuscular de la materia no son capaces de relacionar la distancia entre las partículas con el volumen ocupado por las sustancias y, sobre todo, la mayor parte de ellos no establece ninguna relación entre volumen y densidad. Se observa por otro lado que casi el 34% de los estudiantes asocia una disminución de masa con una disminución de densidad, mientras que el 17% cree que en el proceso de fusión, la masa de la sustancia que sufre el proceso no se conserva.

Ebenezer et al.⁷⁶ consideran que las especulaciones acerca de las reacciones químicas son extrapolaciones de las experiencias de los estudiantes sobre disoluciones. La mayoría de los estudiantes guían su razonamiento de cambios químicos a partir de las características perceptibles de los fenómenos como indica Cosgrove et al.⁷⁷. El modelo de partículas es contradictorio a la percepción de la materia y en ello descansan muchas de las dificultades en su enseñanza (Novick y Nussbaum⁷⁸, Nussbaum⁷⁹). Otro de los factores que influyen en la confusión es la tendencia de extender las propiedades y el comportamiento de las sustancias en el nivel macroscópico para explicar los fenómenos en el nivel microscópico.

Conservación del peso

En el contexto cotidiano la sensación de peso del objeto predomina y determina en gran medida la concepción intuitiva de peso. El peso de un objeto de acuerdo a

⁷⁴ Andersson (1990). *Ibid.*, p 62

⁷⁵ Borsese et al (1996) *Art. cit*

⁷⁶ Ebenezer y Erickson (1996) *Art. cit*.

⁷⁷ Cosgrove y Osborne (1981) Citado en Andersson (1990), *Art. cit*

⁷⁸ S. Novick y J. Nussbaum (1978) Junior High School Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview Study *Science Education*, 62(3), pp 273-281

⁷⁹ Nussbaum J (1989) La naturaleza de las partículas de la materia en el estado gaseoso. En Driver R. Guesne E Y Tiberghien A (1989) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* Madrid: Ed Morata

las ideas alternativas, depende de: la masa de los objetos, la forma en que se colocan, la expansión o compresión del objeto y la presencia del aire.

De acuerdo con Piaget⁸⁰ la conservación del peso se consigue después de la etapa de las operaciones concretas y para ello es requisito la reversibilidad. Lovell⁸¹ afirma que si bien estas condiciones de pensamiento formal son necesarias no son suficientes. Al parecer la experiencia con el mundo físico es mucho más importante de lo esperado y la percepción de conservación no se desarrolla de manera de todo o nada sino de forma gradual.

En las investigaciones de Stavy y Stachel⁸² no hay correlación entre la conservación del peso de la materia y la conservación de una propiedad específica de la sustancia como puede ser la solubilidad o lo combustible de la cera. En algunos casos los niños perciben la conservación de esa propiedad cualitativa sin percibir la conservación del peso de la materia. Los resultados muestran que la comprensión de la reversibilidad no es un requisito para la conservación del peso, si bien, esto contradice los resultados del trabajo de Piaget.

En la misma investigación Stavy et al.,⁸³ muestran que la conservación de la masa se puede presentar independiente del peso; el porcentaje aumenta con la edad. Por ejemplo, los niños creen que la acetona se conserva porque el recipiente está cerrado, sin embargo, en cuanto se evapora desaparece por lo que necesariamente, para ellos, pesa menos que en su forma líquida. Un razonamiento similar lo presenta Driver⁸⁴ cuando refiere que los alumnos piensan la masa en términos de peso de un sólido sobre una superficie. En el caso de la disolución de agua-azúcar, como el azúcar se dispersa en el agua su peso no puede actuar como en estado sólido. Aquellos que piensan que el azúcar se funde justifican su razonamiento como que al pasar a la forma líquida el azúcar pesa menos que en su forma sólida.

Por otro lado, se ha visto que los niños tienden a considerar algunas sustancias como prototipo de acuerdo a su fase, esto es, los niños creen que todos los líquidos son agua y que el agua misma no es materia (Stavy et al.⁸⁵). Las ideas de conservación de la materia, de las propiedades y del peso aumentan de acuerdo con la edad. Para los estudiantes de mayor edad, la materia existe y su peso no cambia a pesar de no poder verla. Sus explicaciones se enfocan en dos puntos:

⁸⁰ Piaget J. (1974) *Understanding causality* New York: Norton Citado en Andersson (1990). *Art cit*

⁸¹ Lovell, K., y Ogilvie, E. (1961-1962) A study of the conservation of weight in the junior school child *British Journal of Educational Psychology*, 31, 138-144 Citado en Stavy (1990). *Art cit*

⁸² Stavy y Stachel, (1990) *Art. cit.*

⁸³ Stavy et al., (1990). *Ibid*

⁸⁴ Driver, (1989). *Op cit*

⁸⁵ Stavy et al (1990) *Art cit.*

que el recipiente está cerrado, lo que evita la salida de gas o que el material simplemente cambia de estado o forma. De manera significativa el fundamento de la explicación de la conservación del peso y la materia se basa en la idea intuitiva de que los líquidos pesan más que el gas ya que, para muchos niños, el gas no puede regresar a ser líquido.

La percepción del gas tiene una influencia importante en cuanto a la conservación de la materia y del peso. Por ejemplo, cuando se usa yodo sublimado, el gas de color que permanece encerrado aumenta considerablemente el porcentaje de respuestas de conservación de la masa. Existen, sin embargo, casos de alumnos que consideran la conservación de la masa y del peso pero no así la propiedad de solubilidad del yodo, lo que los lleva a pensar, que los cristales de yodo desaparecen ya que la materia no puede disolverse.

Estos resultados confirman que la propiedad cualitativa de conservación no es esencial para la conservación de la materia y el peso. La conservación de las propiedades es coincidente y específica de cada material y propiedad.

Comentarios

Andersson⁸⁶ señala que la concepción continua de la materia está presente en los resultados de todos los trabajos presentados con respecto a la conservación de la cantidad de sustancia. Piaget mostró que la cantidad de sustancia es utilizada por estudiantes de entre los 7-8 años. Este tipo de razonamiento sobre la conservación no es general y depende de la concepción de materia y de peso.

Por su parte Stavy et al.,⁸⁷ afirman que puede concluirse de las respuestas de los estudiantes que la mayor transformación, en el caso de la evaporación y la disolución, se expresa como un cambio de estado de la materia que afecta su densidad. Aparentemente el sistema cognitivo de los niños conecta la noción de peso con el peso específico o peso absoluto, concepto, que no está suficientemente bien definido en la mente de los niños.

2.1.5 Comentarios generales sobre: la materia es continua, homogénea y estática

Los estudiantes ven a la materia como continua, homogénea e incambiable ya que si pudiera cambiarse no podría ser identificada o reconocerse. Los sólidos son identificados a través de características macroscópicas y perceptibles. Estas características cambian con la edad, por ejemplo en el caso de niños pequeños.

⁸⁶ Andersson, (1990). *Art cit*

⁸⁷ Stavy R, (1990) *Art cit*

(4-9 años aproximadamente) la dureza y rigidez, son cualidades que los distinguen de líquidos y gases. En niños de mayor edad el peso es una característica que les permite establecer relaciones con los líquidos. Los adultos, con un modelo macroscópico, utilizan además conceptos como la densidad para identificar los estados de la materia. El uso de leyes de conservación de la materia se limita prácticamente a los docentes, que ajustan sus percepciones para explicar los fenómenos con base en la conservación de la materia y el peso.

En general los estudiantes que mantienen un modelo continuo de la materia basan sus observaciones en la percepción, las nociones físicas que se incorporan en las explicaciones (masa, fuerza, peso) no resultan contradictorias, por el contrario se ajustan de manera adecuada al modelo.

El caso de las disoluciones de agua-sal se piensa que la sal y el agua existen y su conjunto forma una sustancia homogénea. Pensar que las sustancias no pueden cambiar presenta dificultades para darle atributos a la sustancia. Por ejemplo aire frío o aire caliente son diferentes y no puede identificarse al aire como una sola sustancia con dos cualidades distintas.

Por otro lado, los estudiantes consideran que las sustancias no cambian sus cualidades, y su existencia no tiene ninguna causa por lo que pueden desaparecer. Para muchos estudiantes, la sustancia es una combinación de sustancias. A partir de que la materia es homogénea y continua la combinación de las sustancias forma una nueva.

Pensar en términos de la combinación de dos o más sustancias permite explicar los cambios en ellas en término de cambios en las proporciones relativas de las dos sustancias. Esto implica que mientras una disminuye la otra aumenta.

Considerar que la materia es continua, homogénea e incambiable lleva necesariamente a la concepción de materia estática. El no poder cambiar impide la interpretación de los cambios de fase.

Tres problemas son los que llevan de alguna forma un proceso de transformación del modelo, éstos son: los gases como materia, los cambios de estado y las disoluciones. En los tres casos se observa una fenomenología que define estados, los procesos no son perceptibles y por tanto no son identificados. Sin embargo, desde la premisa de que se trata de las mismas sustancias resulta, para los estudiantes de mayor edad, necesaria la construcción de la noción de partículas.

2.2: La materia es discreta

2.2.1 La naturaleza de la materia

Johnson⁸⁸ analizó con niños ingleses de secundaria (11-14 años) cambios en la construcción de modelos y encontró que los niños tienen una pobre idea de las partículas y si ellos mencionan la palabra lo hacen atribuyéndole características macroscópicas. Resumió en 5 puntos las características e ideas que reflejan la naturaleza de la materia y sus características a partir de la información bibliográfica:

1. El espacio relativo entre las partículas al hablarse de los tres estados de la materia. Siempre los espacios van de menor en los sólidos a mayor en los gases. En el caso de los gases la distancia de separación no es muy clara.
2. El movimiento intrínseco de las partículas. Los estudiantes muestran poca apreciación sobre el movimiento de las partículas. La comprensión sobre el movimiento es poco clara. Se resalta la ausencia de una imagen de movimiento de partículas que se presenta también en el caso de la presión en el aire.
3. Las ideas de fuerzas de atracción entre partículas, pocos niños las mencionan.
4. El espacio entre partículas. La idea de que el vacío se encuentra entre las partículas para el estado gaseoso causa dificultades en los estudiantes. Ellos prefieren considerar que existe algo que en general se piensa que es aire.
5. La naturaleza de las partículas mismas. Muchos niños atribuyen las propiedades macroscópicas a las partículas individuales.

Para la interpretación de los datos de investigación construyó 4 modelos que le indican una progresión en la construcción de la teoría de partículas. Los modelos son:

Modelo X: sustancia continua

Modelo A: partículas en una sustancia continua

Modelo B: las partículas son sustancia pero con carácter macroscópico

Modelo C. Las partículas son sustancia con propiedades colectivas de estado

En la clasificación de las respuestas aparecen modelos mixtos (XA, XB) que surgen cuando los estudiantes cambian de modelo en función de las preguntas. Puede observarse sin embargo una progresión entre los modelos del tipo: X, XA, A, B, C. Esta progresión es interpretada por el autor como etapas de construcción de la teoría de partículas. Por el otro lado, distingue dos dimensiones de los modelos de partículas en los niños: una dimensión de partícula-continuo y otra macroscópica-colectiva. Esto resulta coincidente con la propuesta de organización

⁸⁸ Johnson, P., (1998) Progression in children's understanding of a basic particle theory: a longitudinal study *International Journal of Science Education*, 20(4), pp 393-412

de ideas de los estudiantes propuesta por Renstrom et al.⁸⁹. Los alumnos que están en una mezcla de modelos AB se mueven del A al B para el estado sólido, después para el líquido y finalmente al gaseoso. Sin embargo, el modelo A no es preludio de desarrollo de la dimensión colectiva.

Johnson⁹⁰ concluye que los estudiantes ven la materia compuesta de partículas, pero que atribuyen todas sus propiedades a la naturaleza de las partículas y no a su movimiento, esto es, un líquido lo es porque sus partículas son partes pequeñas líquidas (analogía con la visión macroscópica) La idea de partículas está fuertemente asociada con el comportamiento de las sustancias.

Sobre lo cotidiano de la noción de partículas como constituyentes de la materia, Lee et al.⁹¹ muestran que muchos alumnos de sexto grado nunca han oído antes de la instrucción sobre moléculas. Por lo que, cuando se les pregunta sobre como se verían las sustancias en el nivel microscópico, las explicaciones se dan en términos de propiedades observables. Por ejemplo, los niños contestan que en el aire hay partículas de polvo, gotas o pequeñas piedras. En el agua puede haber hielo si se funde. En las rocas hay arena y está sucio.

Aun aquellos que tienen una visión de moléculas revelan concepciones como que las moléculas están en las sustancias, mas que las sustancias están compuestas por moléculas. Algunos estudiantes piensan que el agua contiene moléculas como pasas en un panqué.

Los estudiantes piensan que entre las moléculas hay algo. Para algunos existe la misma sustancia entre las moléculas, agua entre las moléculas de agua, roca entre las de roca. Otros, piensan que existe una clase genérica de aire o moléculas de aire entre las moléculas de aire, agua o roca. Puede haber distintas clases de material entre las moléculas de sustancias en distintos estados.

Sobre el tamaño de las moléculas existen muchas concepciones alternativas quizás porque rara vez los estudiantes hablan o piensan sobre qué tan pequeñas pueden ser las moléculas. Sin embargo, todos ellos piensan que las moléculas son pequeñas pero tienen dificultad de pensar qué tan pequeñas son. Muchos estudiantes piensan que su tamaño es comparable con pequeños objetos que les son familiares, tales como partículas de polvo.

Los niños que dicen que las moléculas son más pequeñas o mucho más pequeñas que los objetos piensan que las moléculas pueden verse con ayuda de un microscopio o bien de una lente. Aun después de haber visto el módulo de

⁸⁹ Renstrom et al., (1990) *Art cit*

⁹⁰ Johnson, P. (1998). *Art cit*

⁹¹ Lee et al., (1993) *Art cit*

materia en el que se enfatiza que no pueden verse con el microscopio más potente, algunos alumnos dicen que se pueden ver con un microscopio.

Los estudiantes ven a las partículas como pequeñas partículas de polvo o células, ellos tienen problemas en imaginar a las partículas como moléculas con distintos órdenes de magnitud.

El movimiento es otro problema que tiene dificultad, en el caso particular de los sólidos, los estudiantes piensan que las moléculas no se mueven: "las moléculas no tienen movimiento en la roca, porque es un sólido." Para algunos, el movimiento se debe a fuerzas externas: "las moléculas del aire se mueven, porque el viento sopla en ellas" En general la idea del movimiento de las moléculas parece contradictorio a la evidencia sensorial (ningún movimiento es evidente en muchas sustancias) y experiencias personales (los objetos se mueven usualmente hacia abajo y se detienen).

Los estudiantes tienden a describir moléculas con las mismas propiedades que las sustancias observables. Por ejemplo, las moléculas se empiezan a mover cuando el hielo se funde, las moléculas de agua se calientan cuando hierve, o se expanden, contraen, funden, evaporan, condensan, etc.

Benarroch⁹², a partir de la realización de 43 entrevistas a una población de estudiantes desde 4° año de primaria hasta universitarios (9-22 años) sobre problemas relacionados con la estructura de la materia, construyó cinco niveles explicativos de las repuestas de los estudiantes que muestran su desarrollo cognoscitivo:

- Nivel I. Se caracteriza por una imagen de materia continua y estática, lo que implica que los alumnos no son capaces de pasar la barrera de lo observable y no comprenden la necesidad de explicar los cambios de estado.
- Nivel II. Se conforma por modelos de materia que siguen siendo continuos pero que se enriquecen con elementos percibidos como burbujas, huecos, etc., para dar explicación a los datos empíricos.
- Nivel III. Constituye el primero de la evolución conceptual que implica concepciones corpusculares. La materia está formada por partículas que son invisibles incluso a nivel microscópico. Entre las moléculas hay huecos que pueden ser espacios vacíos o estar llenos de algo. Los cambios macroscópicos de la sustancia (color, estado físico, aspecto, etc...) se deben a las partículas microscópicas.
- Nivel IV. Se considera la existencia de partículas en la materia y el vacío entre ellas. En este nivel el vacío se considera como necesario. En algunos

⁹² Benarroch, B. A., (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 235-246

casos hay ideas relacionadas con el movimiento e interacción entre partículas.

- o Nivel V. La materia se concibe como un sistema de interacción entre partículas, moviéndose continuamente, sin nada entre ellas, sólo vacío. Los subesquemas de movimiento en interacción entre partículas se coordinan con el de partículas y vacío

Concluye que los alumnos utilizan estos cinco niveles explicativos para interpretar problemas en términos corpusculares "La construcción de estos niveles implica una liberalización progresiva de las características macroscópicas observadas en el sistema en transformación y un acercamiento progresivo de la concepción académica contemplada sobre la naturaleza de la materia y sus cambios."⁹³

2.2.1.1 La naturaleza y características de las partículas

Pfundt ⁹⁴ mostró que sus alumnos pensaban que los átomos eran el último eslabón de un proceso de división. Dado que la división es de alguna forma arbitraria, el pensamiento de los alumnos lleva a que pueden variar en forma y no hay vacío entre ellas. Después de una entrevista con estudiantes de 7-9 grados, que no habían llevado lecciones sobre átomos y moléculas, Pfundt⁹⁵ encontró que es natural para los estudiantes pensar que la materia es continua. El continuo puede ser dividido bajo ciertas condiciones en pequeñas partículas, que no existen desde el principio como bloques primarios pero que se forman del continuo bajo ciertas condiciones

La serie de estudios de Novick y Nussbaum^{96,97} mostraron concepciones alternativas en grupos de estudiantes israelíes de 14 años: a) la materia es completamente continua; b) la materia continua tiene embebidas partículas; c) la materia es un agregado de partículas sin vacío; y d) las partículas en el vacío mantienen las macropropiedades de la sustancia

Nussbaum⁹⁸ encontró, como resultado de sus investigaciones sobre el estado gaseoso, que los aspectos de la teoría de partículas que son más difíciles de asimilar por los alumnos son: la existencia de un espacio vacío (el concepto de vacío), el movimiento intrínseco (cinética de partículas) y la interacción entre

⁹³ Benarroch, B. A., (2000) *Ibid*, p 242

⁹⁴ Pfundt (1981). The atom-the final link in the division process or the first building block? *Chimica didactica*, Nr 7, 75-94. Citado en Andersson (1990) *Art cit*

⁹⁵ Pfundt (1981) *Ibid*

⁹⁶ Novick S., y Nussbaum J., (1978) Junior High school pupils' understanding of the particle nature of matter: an interview study *Science Education* 62(3), pp 273-281.

⁹⁷ Novick S., y Nussbaum J., (1981) Pupils' understanding of the particle nature of matter: a cross age study *Science Education* 65(2), pp 187-196

⁹⁸ Nussbaum (1989). En Driver *Op Cit*

partículas (transformación química). En particular es difícil aceptar, para los estudiantes (576 alumnos desde nivel básico hasta universitario), la existencia del vacío entre las partículas y su movimiento intrínseco

Garnett y Garnett⁹⁹ hicieron una revisión de las concepciones alternativas y encontraron que muchas de las concepciones alternativas investigadas parecen estar asociadas con las dificultades que tienen los estudiantes para visualizar la materia en términos de un modelo de partículas.

A continuación se muestran las características sobre el arreglo de partículas:

- 1) La materia es continua y no hay vacío o espacio entre las partículas. Existe materia entre los átomos
- 2) Hay considerable espacio entre las moléculas de un líquido
- 3) Las moléculas de un gas están arregladas en orden más que en desorden
- 4) El agua y el aire aparecen como masas homogéneas entre otras sustancias

2.2.2 Concepciones de átomos y moléculas

Los trabajos sobre concepciones de átomos y moléculas son reportados por Krnel¹⁰⁰, Renstrom et al.,¹⁰¹ y Lee et al.,¹⁰²; Griffiths y Preston¹⁰³ y Selley¹⁰⁴, quienes presentan ideas alrededor de átomos y moléculas.

Algunas de las ideas que se encuentran sobre los átomos y la materia son las siguientes:

- La materia es vista como panqué de pasas.
- Los átomos están compuestos de la misma materia y tienen propiedades particulares. Este concepto de composición puede ser el producto de una incorrecta comprensión de la definición de materia consistente de átomos.
- Los niños creen que hay moléculas en las sustancias pero una sustancia no está compuesta de moléculas.
- Los niños de 12 años creen que hay una sustancia genérica como una clase de pasta.

⁹⁹ Garnett Patrick y Garnett Pamela (1995) Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning *Studies in Science Education* 25, pp 69-95

¹⁰⁰ Krnel (1998). *Art cit.*

¹⁰¹ Renstrom et al. (1990) *Art cit*

¹⁰² Lee et al., (1992) *Art cit*

¹⁰³ Griffiths A, y Preston K R (1992) Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules *Journal of Research in Science Education* 29(6), pp 611-628

¹⁰⁴ Selley N. J. (1978) The confusion of molecular particles with substances *Education in Chemistry*, 15, pp 144-145

Renstrom¹⁰⁵ muestra a manera de ejemplo la constitución de los granos de sal. Los niños dibujan un grano de sal con puntos esparcidos dentro de lo que llaman moléculas. El niño piensa que entre las moléculas hay más sal. En esta categoría hay variantes, el medio continuo es de la misma sustancia y las partículas de algo más. El sistema de partículas es la sustancia y el medio algo más que usualmente es aire. Esta categoría es una evidencia del conflicto entre el razonamiento cotidiano y el científico. Esto es, una integración entre la información recibida escolarmente y las ideas cotidianas que finalmente no abandonan los niños. Cuando no se piensa en un medio entre partículas, los átomos quedan separados como canicas, lo que refleja dificultad en imaginar el espacio vacío entre ellos.

El estatus de átomos y moléculas no es claro. Para el 50% de los alumnos de una muestra de 491 alumnos (Andersson¹⁰⁶) los átomos y las moléculas no son materia. Algunos de ellos justificaron esta afirmación diciendo que la materia es algo que puede tocarse y pesarse, lo que no puede hacerse con átomos y moléculas.

Griffiths y Preston¹⁰⁷ realizaron una investigación sobre las concepciones alternativas de estudiantes de grado 12 sobre las características de átomos y moléculas. La muestra se distribuyó en tres grupos: A un grupo académico de ciencias; B. un grupo académico no científico y un grupo no académico; y C. un grupo no científico.

Las ideas de los estudiantes se clasificaron de acuerdo a cada una de las características mencionadas por los estudiantes (Durante las entrevistas se utilizó como prototipo la molécula de agua). Los resultados son:

Estructura de las moléculas

- La molécula de agua parece una figura cerrada con límites no definidos (25%)
- La molécula de agua es esférica con partículas regadas dentro
- La mayor parte de las ideas indica la presencia de partículas, incluyendo la referencia al cloro, oxígeno, hidrógeno y organismos
- Las moléculas de agua están compuestas por dos o más esferas sólidas (33%).
- Las moléculas de agua están compuestas por tres esferas sólidas (20%). De particular interés es el hecho de que la mayoría de los sujetos que tienen estas

¹⁰⁵ Renstrom (1988). Conceptions of matter-a phenomenographic approach. *Göteborg studies in educational science*, 69 Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis. Citado en Andersson (1990) *Art cit.*

¹⁰⁶ Andersson (1987). Citado en Andersson (1990) *Art cit.*

¹⁰⁷ Griffiths y Preston (1992) *Art cit.*

ideas son del grupo académico científico lo que sugiere que esta idea tiene su origen en un tratamiento instruccional. El uso de diagramas tri-dimensionales o el uso de los modelos de bolas y palos en sus cursos previos explica este origen.

Composición de las moléculas

- Las moléculas de agua contienen otros componentes además de oxígeno e hidrógeno (40%)
- Las moléculas de agua están compuestas de agua, aire, cloro, nitrógeno o minerales. Las moléculas de agua tienen impurezas.
- Las moléculas de agua no están compuestas de los mismos átomos (36%)
- La composición depende del tamaño, temperatura o la fase de moléculas. En el grupo B un sujeto dijo que la composición del vapor de agua es diferente porque al calentar el agua se añade más oxígeno. Un alumno del grupo C sugiere que el tamaño de las moléculas afecta su composición porque "si las moléculas son muy pequeñas no pueden sostenerse con muchas partes"¹⁰⁸
- Las moléculas de agua contienen más de tres átomos (36%)
- Las moléculas de agua pueden contener "cientos o miles de átomos"¹⁰⁹ y "se pueden encontrar millones de átomos en una molécula".
- Las moléculas de agua contienen menos de tres átomos (10%)
- Las moléculas de agua tienen distinto número de átomos (30%)
- Las moléculas de agua en la fase sólida tienen más átomos, "las moléculas van del hielo al vapor perdiendo átomos"
- Las moléculas en la fase sólida tienen más átomos porque están más cercanos.

Estas ideas fueron sostenidas en su mayoría por los grupos no científicos.

Tamaño de las moléculas

- Una molécula de agua es "macro" en tamaño. El término macro caracteriza un amplio rango de respuestas que representan una sobreestimación del tamaño de las partículas. "un punto, un germen, la punta de un lápiz".
- Una molécula de agua es suficientemente pesada para ser pesada
- Los átomos son suficientemente grandes para ser vistos al microscopio
- Una partícula es pequeña pero es una pieza visible de una sustancia
- El agua es una mezcla continua de los elementos hidrógeno y oxígeno

¹⁰⁸ Griffiths y Preston (1992) *Ibid*, p. 618

¹⁰⁹ Griffiths y Preston (1992) *Ibid* p. 618

- Las moléculas de agua pueden estar compuestas de otros átomos además del hidrógeno y el oxígeno
- Los átomos y moléculas tienen propiedades macroscópicas, esto es, se expanden cuando una sustancia se calienta, se congelan cuando la sustancia está congelándose; etc.
- La materia está formada por partículas que tienen propiedades de la sustancia que constituyen
- Todos los átomos tienen el mismo peso
- Los átomos están vivos. Ellos viven porque se mueven
- Las moléculas de agua en una fase tienen diferentes tamaños.
- Las moléculas de agua en la fase sólida son más grandes (40%).
- Las moléculas de agua en un cambio de fase cambian de tamaño.
- Cuando el agua se congela las moléculas de agua se expanden
- Las moléculas de la fase sólida del agua son más pequeñas (20%).
- Las moléculas de la fase gaseosa son más pequeñas.
- Las moléculas de agua en su forma gaseosa son más grandes porque el calor se expande.
- El tamaño de las moléculas de agua está determinado por su fase.
- El tamaño de las moléculas depende de su temperatura.

Forma de las moléculas

- Las moléculas son planas (20%).
- Las moléculas tienen distintas formas dependiendo de su fase (56%).
- La temperatura puede afectar la forma de las moléculas (50%)
- La forma del recipiente afecta la forma de las moléculas. "Como los líquidos toman la forma del recipiente también las moléculas toman la forma del recipiente", "son cuadradas porque los cubos de hielo son cuadrados"¹¹⁰
- La presión afecta la forma de una molécula (10%)

Peso de las moléculas

- Los estudiantes sobrestiman el peso de las moléculas de agua. Cerca de la mitad de los sujetos dijeron que las moléculas son suficientemente pesadas para ser pesadas con algún instrumento, "una molécula pesa aproximadamente lo mismo que la pata de una mosca" "tan ligeras como una partícula de polvo" "tan ligera como una pluma"¹¹¹.

¹¹⁰ Griffiths y Preston (1992) *Ibid*, p. 619.

¹¹¹ Griffiths y Preston, (1992) *Ibid*, p. 620

- Las moléculas de agua dentro de una fase pesan distinto (43%). Un estudiante dijo que el vapor se une al aire y puede recoger las partículas calientes.-... algunas pueden recoger más partículas que otras por lo que el peso es distinto.
- Las moléculas de agua pesan más por las impurezas que contienen.
- Las moléculas de agua de la fase sólida (hielo) son las más pesadas (50%). Son más pesadas porque “están muy juntas” o bien porque el hielo es más denso y por tanto debe ser más pesado.
- Las moléculas de gas son más ligeras por lo que se separan y suben (la mayoría de estas respuestas están en los grupos B y C)
- El tamaño de una molécula caliente o tibia afecta su peso.

Enlace de las moléculas

- Las moléculas están una junto a otra sin separación entre ellas (46%).
- El concepto de enlace no tiene significado de fuerza de atracción (33%)
- Las moléculas de agua en hielo no presentan ningún enlace ni patrón o arreglo
- Las moléculas se mantienen juntas por un agente externo: “hay algo que las mantiene unidas”, “alguna clase de fusión. calor que se guarda entre ellas”, “una fuerza de gravedad”, “la presión externa del aire”¹¹².
- Las moléculas de agua se expanden con el calor por lo que se separan durante la fusión.

Energía de las moléculas

- Todas las moléculas se mueven (casi 100%)
- Las moléculas en estado gaseoso se mueven con más rapidez que en los otros estados
- Las moléculas se mueven con igual velocidad en cada fase (pocos alumnos contestaron)
- La velocidad de las moléculas está determinada por el tamaño “algunas se mueven más rápido porque son más pequeñas”.
- El calor provoca que las moléculas se expandan.
- El calor rompe las moléculas.

Estructura atómica y forma (en este rubro no se utilizó ningún átomo como referencia)

- Los átomos son esferas con componentes internas, el dibujo fue un círculo con puntos dentro para representar los componentes.

¹¹² Griffiths y Preston, (1992) *Ibid*, p 620.

- Los átomos son esferas sólidas, puede ser causada por la forma de representación de los átomos.
- Los átomos son puntos o círculos distribuidos azarosamente.
- Los átomos contienen pequeñas componentes, sugieren que los átomos están compuestos de cualquier cosa más que de electrones, neutrones y protones.
- Los electrones se mueven en órbitas esta idea se mantienen aun en estudiantes universitarios de primer año.
- Los átomos son planos (en este caso se ve la influencia de los diagramas).
- Entre los átomos "debe haber aire" "distintos materiales ... gases ... oxígeno" "cargas eléctricas" (47%). En general hay dificultad para considerar un espacio vacío entre los átomos

Tamaño de los átomos

(Hubo menos respuestas que las que se obtuvieron en tamaño de las moléculas)

- Los átomos son lo suficientemente grandes para ser vistos en un microscopio. Un sujeto compara el tamaño de un átomo con el de una pieza de polvo. Esta sobreestimación del tamaño atómico coincide con los resultados reportados por Ault, Novak y Gowin¹¹³ y Anderson¹¹⁴ y Renstrom et al.,¹¹⁵ quienes sugieren que los estudiantes ven el mundo atómico como una extrapolación del mundo macroscópico. Los átomos son tan grandes como las moléculas.
- El tamaño de un átomo está determinado por el número de protones (13% la mayoría pertenecía al grupo científico)
- El calor puede cambiar el tamaño del átomo porque se expande (20%).
- Las colisiones entre átomos provocan un cambio de tamaño (20%).
- El tamaño de los átomos está determinado por el número de protones.

Peso de los átomos

- Los distintos elementos tienen pesos diferentes (casi 100%)
- Todos los elementos pesan lo mismo.
- Se sobreestima el peso del átomo "tan ligero como una pluma" "tan ligero como el aire".

Animismo

- Más de la mitad de los estudiantes creen que los átomos están vivos.

¹¹³ Ault, C K, Novak, J. D., y Gowin, J. D. (1984) Constructing vee maps for clinical interviews on molecule concepts *Science Education*, 68(4), 441-462 Citado en Ebenezer y Gaskell (1995). *Art cit*

¹¹⁴ Andersson, (1990) *Art. cit*

¹¹⁵ Renstrom et al., (1990) *Art. cit*

2.2.2.1 Características de los modelos para los estudiantes

Los modelos a los que se refiere esta sección corresponden a los llamados modelos mentales. Estos modelos en general deben verse como representaciones dinámicas o simulaciones de la realidad. Los modelos mentales son construcciones que representan simbólicamente o mediante imágenes mentales situaciones que son referidas por el lenguaje. En el caso particular de los modelos mentales sobre átomos y moléculas, el elemento de representación es una imagen.

Harrison y Treagust¹¹⁶ describen los modelos mentales de estudiantes australianos de 8° a 12° grado sobre átomos y moléculas. Para varios estudiantes los átomos son como pelotas, un sistema solar, una ciruela pasa, algo vivo como una célula. El concepto de nube electrónica se representa como una red en la que se encuentran los electrones colgados como gotas de agua. Este modelo es muy parecido a la concepción de que la materia es continua con átomos embebidos en la sustancia aparente (Renstrom et al¹¹⁷)

Harrison y Treagust¹¹⁸ preguntaron a estudiantes de sexto grado sobre la composición de un bloque de hierro y una hoja de papel aluminio. Los estudiantes dijeron que ambos estaban formados de átomos o partículas. Para conocer las características del modelo se les pidió que eligieran, un modelo de los que aparecen en la figura 2.1, que mejor describiera al átomo.

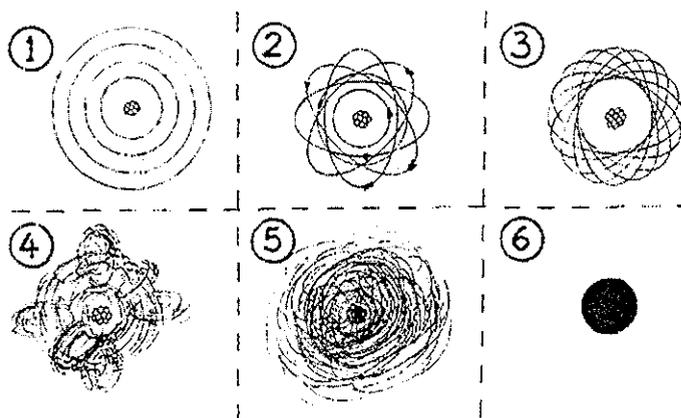


Figura 2.1 Modelos atómicos mostrados a los estudiantes durante entrevistas en la investigación de Harrison y Treagust.

¹¹⁶ Harrison y Treagust, (1996) Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry, *Science Education*, 80(5), pp 509-534.

¹¹⁷ Renstrom et al., (1990) *Art cit.*

¹¹⁸ Harrison y Treagust, (1996) *Art cit.*

El modelo más escogido es el de las órbitas (2) probablemente este sea el modelo más conocido por la televisión o por medios impresos. El modelo (4) de orbitales es el menos aceptado por ellos. La mayoría de los estudiantes prefirieron el modelo de sistema planetario en vez de la nube electrónica ya que es vista como un objeto real. Para los estudiantes, el modelo de sistema solar muestra las partículas atómicas separadas y los círculos son los caminos que los electrones siguen.

Los estudiantes consideran muy pequeños a los átomos, sin embargo el 50% de ellos dijeron que pueden verse por el microscopio. La mayoría de los alumnos piensa que los átomos son inanimados, sin embargo, el 21% dicen que viven y crecen. Sobre la forma se dice que los átomos son bolas o esferas. El 55% de ellos, lo dibujaron con un núcleo y electrones. Los átomos son duros como esferas de poliestireno. El 38% de los estudiantes piensa que son suaves por fuera con un centro duro y el 50% consideran que existen nubes electrónicas. En general, los estudiantes, prefieren los modelos que no dejan espacios vacíos (76%).

2.2.2.2 Las partículas atómicas en los modelos atómicos de los estudiantes

Fischler y Lichtfeldt¹¹⁹ estudiaron la interpretación de la estabilidad del átomo en estudiantes. Las ideas que se encontraron están ligadas a la presencia y características del electrón y su movimiento.

En general las explicaciones son las siguientes:

- El electrón está fuertemente atado en el orbital atómico, esto es, hay una distancia entre el orbital y el núcleo que no permite que se vaya hacia el núcleo.
- El electrón actúa por la fuerza centrífuga y por la fuerza atractiva del átomo. Ambas fuerzas están en equilibrio.
- El electrón se mantiene separado del núcleo por su alta velocidad.
- Como un resultado de la alta velocidad angular de los electrones, la fuerza centrífuga resultante evita que el electrón caiga hacia el núcleo por la influencia de las fuerzas atractivas.
- Las cargas de los electrones y los protones se neutralizan.
- El electrón está negativamente cargado mientras que el núcleo está positivamente cargado.
- El electrón está sujeto a una clase de fuerza centrífuga que lo mantiene en su órbita. Por lo que se repelen unos a otros y se mantienen en su órbita.

¹¹⁹ Fischler H., y Lichtfeldt, M (1992) Modern physics and students' conceptions *Science Education*, 14(2), pp 181-190

- Los electrones están fijos en el orbital.

Los electrones giran alrededor del núcleo con alta velocidad en órbitas fijas y prescritas. En esta concepción la fuerza centrífuga y la fuerza de coulomb están en equilibrio. Los estudiantes explican el movimiento de los electrones estableciendo la analogía con el movimiento de los planetas

Sobre el concepto de carga, los estudiantes tienen la concepción fija de la repulsión entre cargas. Para ellos, las cargas del protón y electrón generan una distancia entre las partículas.

Sobre el límite de un átomo (capa) los estudiantes piensa que se trata de capa de electrones fijos o en movimiento (8%)

2.2.3 Las macropropiedades se transfieren al micromundo

La tendencia a atribuir las propiedades macroscópicas de las sustancias a propiedades de las partículas en el nivel submicroscópico está bien documentada por Andersson¹²⁰ y Griffiths y Preston¹²¹.

Dado que los estudiantes conciben la posibilidad de llegar a últimas partículas a partir del proceso de división continua, es comprensible que las propiedades macroscópicas se transfieran a átomos y moléculas. Propiedades como color, olor, peso, etc. se transfieren a los átomos y moléculas, esta proyección de ciertas propiedades del macromundo al micromundo aparecen cuando se habla de transformaciones de la materia.

En el modelo de pasas las partículas retienen las propiedades de los objetos (son coloreadas, pueden fundirse, etc) Para los primeros tres niveles de jerarquía del desarrollo de comprensión de la composición de la materia (Renstrom¹²²) es significativo que las partículas y las sustancias se vean como objetos que aparecen y desaparecen. Los átomos tienen la forma y una superficie externa que permite hacer la distinción entre varias partículas del objeto (Krnel¹²³)

La característica de esta sección es que la sustancia se modifica de acuerdo a ciertas propiedades, pero la identidad de la sustancia se conserva. En el micromundo los átomos y moléculas se transforman en las reacciones químicas y en los cambios de estado. De Vos y Verdonk¹²⁴ investigaron las ideas de los niños

¹²⁰ Andersson, (1990) *Art. cit*

¹²¹ Griffiths y Preston, (1992) *Art. cit*

¹²² Renstrom et al, (1990) *Art. cit*

¹²³ Krnel et al., (1998) *Art. cit*.

¹²⁴ De Vos, W Y Verdonk, A. H (1987) A new road to reactions, part 4 The substance and its molecules *Journal of Chemical Education*, 64, pp 692-694

(14-15 años) en cuanto a la formación de óxido. Los estudiantes dibujaron la molécula de la sustancia original pero rodeada de un halo café en donde se percibe que algunas de las propiedades de las moléculas originales se han alterado. De igual manera, los mismos autores señalan que un gran número de niños creen que las moléculas de agua y alcohol tienen forma de gotas pequeñas y que las moléculas de una sustancia suave deben ser suaves.¹²⁵

En esta categoría está la idea de un sistema de átomos y moléculas pero que tienen propiedades similares a las de la sustancia. Los estudiantes no están conscientes de tener un modelo y cambian las propiedades de sus partículas de una situación a otra. Por ejemplo, si el fósforo se funde, los átomos de fósforo también se funden; si el agua se vuelve hielo se solidifican las moléculas.

2.2.4 Sistemas y conglomerados de partículas

Ben Zvi et al.,¹²⁶ observaron que los alumnos tienen dificultades en coordinar las condiciones macroscópicas, las estructuras moleculares individuales y las propiedades de sistemas de partículas simultáneamente.

Cuando los estudiantes piensan en conglomerados de partículas consideran que están fuertemente unidas y que no hay espacio entre ellas. Estas partículas pueden variar en tamaño y pueden reunirse formando largas unidades. También pueden desintegrarse en pequeñas partículas que a su vez se desintegran en otras. Para Nussbaum¹²⁷ ésta es una forma de evitar pensar en el vacío entre partículas.

Stavy y Stachel¹²⁸ observan en sus investigaciones que la materia está compuesta de partículas y los estados de la materia se explican de acuerdo al arreglo de estas partículas. Este concepto se enseña en octavo grado y aparece tan sólo en el 15% de los estudiantes de octavo y noveno grados. La teoría de partículas no está internalizada y no es útil para los alumnos aun después de ser estudiada en la escuela.

De acuerdo con las investigaciones de Driver¹²⁹, después de los 13 años, algunos de los alumnos de manera espontánea mencionan lo que ocurre con las partículas y las moléculas. Por ejemplo, un estudiante dice que los átomos del agua en su

¹²⁵ Andersson señala que esta idea está relacionada con la categoría de modificación. *Art. cit*

¹²⁶ Ben Zvi, R., Eylon, B y Silberstein, J, (1982) Student conceptions of gas and solid. Difficulties to function in a multi-atomic context. Documento presentado en la conferencia de NARST. Citado en Andersson (1990) *Art. cit*

¹²⁷ Nussbaum, (1989). *Op Cit*

¹²⁸ Stavy y Stachel, (1990). *Art cit*

¹²⁹ Driver, (1989). *Op cit.*

estado líquido se mueven muy deprisa porque se calientan y algunos escapan en forma de vapor porque se están convirtiendo en gas.

La noción de que las moléculas aumentan su velocidad cuando se calientan se usa frecuentemente por quienes se expresan en términos moleculares. Lo mismo sucede con la idea de que las partículas tienden a separarse cuando se calientan. Esta noción de separación de las partículas se aplica para explicar el cambio de estado del hielo al agua.

2.2.4.1 Estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso

Johnson¹³⁰ propone que uno de los puntos importantes en la comprensión de los estudiantes sobre las propiedades de los estados de la materia es que los estudiantes no los ven en términos de un comportamiento colectivo de las partículas.

Los estudiantes utilizan, para definir las sustancias, la forma en el ámbito microscópico. Así, explican que las partículas sólidas son angulares y las de los gases son redondas. Las partículas de los sólidos son pesadas y las de los gases son ligeras (Haidar y Abraham¹³¹). Después de que un sólido se divide en pequeñas partículas, de manera individual cada partícula se dice que es ligera o que no tiene peso. Esta explicación se basa en las partículas pequeñas independientes y no el conjunto de todas las partículas.

Maskill¹³² realizó un estudio sobre el modelo de partículas en Grecia, Portugal y Reino Unido con 100 niños de entre 11 y 12 años, encontró mediante la asociación de palabras las concepciones sobre modelo de partículas que utilizan los estudiantes. Las ideas de los niños sobre sólidos, líquidos, gases y materia están relacionadas en la mente de los niños a través de ejemplos y propiedades de cada material. Solamente, los alumnos griegos lograron incorporar el modelo de partículas. Entre las partículas que se mencionan aparece el átomo que surge de la división de la materia y que es muy pequeño.

En otro estudio Driver¹³³ investigó las ideas sobre partículas, de los distintos estados de la materia, de cerca de 1000 alumnos escoceses (12- 13 años). A los estudiantes se les pidió que dibujaran la distribución de átomos y moléculas en un sólido, un líquido y un gas. Prácticamente todos los alumnos mostraron la

¹³⁰ Johnson, (1998) *Art. cit*

¹³¹ Haidar A. H., y Abraham M. R., (1991) A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter *Journal of Research in Science Teaching*, 28(19), pp 919-938.

¹³² Maskill, R., (1997) Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries *Int. J. Science Education*, 19(6), pp 631-645

¹³³ Driver, (1989) *Op Cit*

presencia de partículas en los tres estados, y alrededor de la mitad representaba a los líquidos y los gases de menor tamaño que en el estado sólido. Los estudiantes consideran que el diámetro molecular disminuye progresivamente de sólido, líquido y gas.

La distribución también es diferente en cada estado. La mayoría representó el estado sólido de modo ordenado en comparación con el desorden que aparece en el líquido y el gas. La distancia entre partículas aumenta del estado sólido al estado líquido. La razón de separación espacial real entre las partículas entre sólidos líquidos y gas es de 1:1:10, los estudiantes subestiman esta separación al suponer que la relación que guardan es de 1:2-3.5:8, esto es, la separación entre las partículas de un gas se subestima y la de un líquido se sobrestima. La mayoría indicó que las partículas en el estado líquido y en el gas se mueven, sin embargo, alrededor de un tercio de ellos piensa que no hay movimiento en el estado sólido.

En otra investigación con estudiantes ingleses de 15 años, Driver¹³⁴ encontró ideas similares. Se solicitó a los estudiantes que explicaran ciertos fenómenos utilizando el concepto de que la materia está formada de partículas. A un grupo se pidió que utilizara conceptos relacionados con las partículas para explicar lo que sucede cuando un bloque de hielo eleva su temperatura de -10°C a -1°C .

Los estudiantes (17) dibujaron un entramado de partículas. Las partículas se encontraban vibrando en torno a su posición fija e incrementaban su movimiento con el aumento de temperatura, de manera similar se representa un aumento en la separación entre las partículas con lo que explican la expansión del hielo (respuesta considerada correcta).

Los 48 estudiantes restantes dieron las siguientes concepciones alternativas:

- Las partículas se mueven más libremente (como en un líquido)
- Las partículas se subliman / evaporan
- Las partículas chocan en el interior del hielo (como en un gas)
- Las partículas pueden separarse libremente (no existen lazos de unión entre las partículas indicadas)
- Las partículas se mantienen estacionarias en el hielo
- Las partículas cambian de volumen (se expanden o encogen)
- Las partículas se funden
- Las partículas se calientan
- Las partículas se consumen / desintegran
- Las partículas se mueren

¹³⁴ Driver, (1989) *Op. Cit.*

Ante la pregunta de lo que sucede a un bloque de hielo cuando aumenta su temperatura, 20 alumnos, respondieron en términos macroscópicos que el hielo se expande al aumentar la temperatura. Hubo una marcada tendencia a transferir las transformaciones de las propiedades macroscópicas al nivel microscópico, indicando, por ejemplo, que las partículas se fundirían, calentarían o cambiarían de tamaño.

Aparecieron pocas referencias a las fuerzas de cohesión entre partículas; es posible que ésta sea la causa de que el hielo se funda desde el momento en que la temperatura comienza a aumentar.

Más del 25% de los alumnos no respondieron con conceptos relativos a las partículas, simplemente describían lo que sucedía al bloque de hielo en relación con la experiencia perceptiva. En general, los estudiantes de secundaria contestan con conceptos relativos a las partículas para describir los estados de la materia si se les motiva a ello. Se puede decir, que los estudiantes, no toman en consideración el movimiento de las partículas ni las fuerzas de cohesión entre ellas en un sólido; y se tiende a asociar el incremento de la separación entre partículas con el aumento de temperatura y atribuirles propiedades macroscópicas a las partículas.

De manera similar, Borsese et al.,¹³⁵ muestran en su investigación que en el grupo que hace referencia al modelo cinético corpuscular de la materia, sólo el 35% de los estudiantes reconoce que los choques entre las partículas de un gas ideal deben considerarse elásticos, el 20% no reconoce la relación entre velocidad media y temperatura y el 16% está convencido que en el gas ideal hay interacciones entre las moléculas. Según el 31% de los estudiantes en el estado sólido las partículas se pueden considerar inmóviles y sólo el 43.7% reconoce que las partículas que constituyen los sólidos vibran en torno a posiciones reticulares determinadas. Cerca del 20% considera que los efectos térmicos en la solidificación son inexistentes o despreciables y el 14.3% habla de energía cedida por el sistema a expensas en una disminución de la cohesión.

Dado que la masa no se conserva en el nivel macroscópico no es de extrañar que las partículas no se conserven en el nivel microscópico: a un grupo de estudiantes se pidió dibujar algunas partículas dentro de ciertos cambios físicos y químicos más del 50% no pusieron atención sobre el número de partículas (Gabel¹³⁶). Las partículas pueden contraerse, expandirse y fundirse (Lavery y McGravey¹³⁷) tienen color (Haidar y Abraham¹³⁸, Albanese A, y Vicentini M¹³⁹). La interacción

¹³⁵ Borsese et al., (1996) *Art cit*

¹³⁶ Gabel D, Samuel K V, Y Hunn D, (1987). Understanding the Particulate Nature of Matter *Journal of Chemical Education* 64 (8), pp 695-697

¹³⁷ Lavery, D T, y McGravey, J E B, (1991). A 'constructivist' approach to learning *Education in Chemistry*, Julio, 99-102 Citado por Krnel (1998). *Art cit*

¹³⁸ Haidar y Abraham, (1991) *Art cit*

entre sus partículas no se conoce o se percibe pobremente, tal es el caso de alumnos universitarios que describen a las partículas como objetos estáticos (Cross et al.¹⁴⁰).

Lee et al.,¹⁴¹ en un estudio desarrollado con estudiantes de sexto grado, encontraron que cuando se solicita que describan macroscópicamente los tres estados de la materia, los describen en términos de propiedades observables como: los sólidos son duros y pesados; los líquidos son húmedos y corren; y los gases son invisibles y ligeros.

Antes de la instrucción los estudiantes rara vez hablan de estados de la materia en el nivel molecular y aun después de haber estudiado dos años, los estudiantes tienen problemas de entender las concepciones científicas. Una de las mayores dificultades es la confusión entre propiedades observables de las sustancias y propiedades de las moléculas. Muchos estudiantes atribuyen las propiedades observables de los estados a las moléculas: "las moléculas están congeladas en el hielo, están juntas sólidas". "El hielo es frío ... las moléculas de hielo son más frías que en el agua"

Las explicaciones sobre comprensión de los gases se dificultan para muchos estudiantes tanto al nivel molecular como macroscópico. Los gases pueden ser comprimidos, expandidos o dispersados. Creen que el aire fluye como el agua de un lugar a otro y que no está igualmente distribuido.

Los estudiantes aplican el mismo razonamiento para las propiedades de las moléculas, esto es, el aire se mueve de un lugar a otro. Para explicar porque los gases son compresibles y los líquidos no, los estudiantes enfocan diferencias observables entre el aire y el agua. Por ejemplo dicen que el agua no se puede comprimir porque es dura o más pesada que el aire, el aire es un material.

Sólidos y líquidos

Un caso particular de sólidos son los metales, Krnel¹⁴² muestra que desde muy pequeños, los niños, identifican a los metales como sólidos, por sus cualidades macroscópicas. Una propiedad asociada a los metales es la conductividad eléctrica que lleva en las investigaciones a reconocer las características internas que asignan los estudiantes a estos materiales

¹³⁹ Albanese A., y Vicentini M., (1997) Why Do We Believe that an Atom is Colourless? Reflections about the Teaching of the Particle Model *Science & Education* 6, pp 251-261

¹⁴⁰ Cross, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., y Leber, J (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acid and bases *European Journal of Science Education*, 8(13), 305-313 Citado en Krnel (1998) *Art. cit*

¹⁴¹ Lee et al., (1993) *Art. cit*

¹⁴² Krnel, (1998) *Art. cit*

Garnett y Treagust¹⁴³ detectaron el problema de la conductividad eléctrica en los metales en estudiantes australianos. Los estudiantes ven la corriente eléctrica como un flujo de la carga positiva (usualmente protones) a través del metal hacia la carga negativa (electrones) y a través de soluciones electrolíticas. Encontraron que tanto físicos como químicos estaban confundidos con el flujo en conductores metálicos.

De Posada¹⁴⁴ analizó la representación de la estructura de la materia que tienen 126 estudiantes (15 – 17 años) sobre la conducción eléctrica de los metales. Los estudiantes debían representar la estructura interna del hierro y explicar cuál es la naturaleza de la conductividad eléctrica de los metales. Entre sus resultados se encuentra que los estudiantes se refieren al nivel atómico como cosas muy pequeñas que no tienen nada que ver con átomos y moléculas. El 30% de estudiantes de grados 11 y 12 dibujaron la estructura de metal de acuerdo con el modelo de mar de electrones sin poder profundizar más en su respuesta. Algunos alumnos olvidaron los elementos del modelo y dibujaron cationes, sin electrones en movimiento, o electrones con movimiento y átomos. Dibujaron a los electrones como puntos en algunos casos y como círculos del mismo tamaño que los átomos. Colocaron a los electrones con una distribución homogénea entre partículas, en hoyos o alrededor de grupos de partículas.

Los estudiantes identifican que los metales tienen una fuerza atractiva entre sus partículas pero no saben de dónde surge. Esta idea se presenta de manera intuitiva, más por las experiencias diarias que por su modelo metálico.

Los alumnos de 10° grado dieron muy distintas respuestas; los de grados 11 y 12 presentaron concepciones alternativas poco comunes y la mitad de ellos empleó el modelo de mar de electrones. Muchos estudiantes dibujan átomos en vez de cationes

Sobre el tema de cómo se produce la corriente eléctrica se encontraron las siguientes concepciones alternativas:

- La corriente eléctrica se produce por un choque de electricidad desde el polo positivo hacia el negativo de una batería
- La carga en la batería se transfiere del metal
- La corriente eléctrica es una consecuencia de las diferencias de temperatura entre la batería y el metal
- Los átomos permiten que la corriente pase a través de ellos pasivamente

¹⁴³ Garnett, P. J. y Treagust, D. F. (1992) Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation reduction equation *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 121-142

¹⁴⁴ de Posada, (1997) Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and their Electric Conduction: Structure and Evolution *Science Education*, 81, pp 445-467

- La corriente eléctrica es producto del movimiento de los átomos
- El desorden (en algunos casos el orden) es causa de la conducción eléctrica
- Los átomos intercambian partículas subatómicas para transmitir la corriente eléctrica
- La energía se transfiere de un átomo a otro
- Las nubes electrónicas son causa de la conducción eléctrica en los metales

Posada determinó distintos modelos con los que los alumnos explican la naturaleza eléctrica de los metales:

A. La corriente eléctrica es energía. Para algunos la energía se transmite a través del metal o se transforma cuando alcanza al conductor. El número de estudiantes con una concepción de corriente eléctrica como energía se incrementó en los alumnos de grado 12. Los estudiantes utilizan un concepto macroscópico de energía eléctrica pero tratan de explicarlo con un modelo atómico.

B. Los electrones conducen la corriente eléctrica. Los electrones se encuentran entre las partículas y por ello conducen la corriente eléctrica. La corriente eléctrica tiene relación con los electrones pero no está definida ya que no se entiende cuál es la naturaleza de la corriente eléctrica. La habilidad de conducir electricidad se transfiere del metal a los electrones. Los estudiantes tienen dificultad de comprender el papel de los electrones en sus modelos.

C. La corriente eléctrica es producida por el movimiento de partículas. Estas partículas pueden ser átomos u otras no descritas. Para algunos estas partículas se mueven de un átomo a otro.

D. El flujo de electrones es la corriente eléctrica. Pocos estudiantes de 10° grado dicen que la corriente eléctrica es un flujo de electrones, este número se eleva a 36% en grado 12. El conocimiento y el uso del modelo de enlaces metálicos no son indispensables para que los estudiantes relacionen el flujo de electrones con el de corriente eléctrica.

Los enlaces metálicos no son entendidos por los estudiantes. Solamente el 30% de los de grado 12 representan espontáneamente el modelo de mar de electrones en una situación concreta porque la mayoría de los elementos constitutivos del modelo se han olvidado.

Para el 50% de los estudiantes de 9 grado y el 35% de grado 10, el modelo atómico es aplicable a los gases pero no a los sólidos (de Posada¹⁴⁵). La idea de que los sólidos están compuestos de átomos, moléculas o iones es contraintuitiva.

¹⁴⁵ de Posada, J. M., (1995). Contenidos, actividades y/o estrategias de enseñanza de la Química en la formación científica de ciudadanos. *Pan-American Newsletter on Chemical Education*, 7(1), 2-3. Citado en De Posada (1997) *Art. cit.*

a ellos. La evidencia indica que la concepción de la continuidad de la materia de los sólidos es adoptada por estudiantes no químicos. Los estudiantes que utilizan un esquema discontinuo en algunos casos emplean un esquema continuo en otras situaciones.

Pereira y Pestana¹⁴⁶ aplicaron una prueba de papel y lápiz a 227 alumnos (13-18 años) sobre los modelos empleados para representar la molécula de agua en sus tres estados.

- Las representaciones macroscópicas aparecen en el grupo de 13-15 años y no vuelven a aparecer en los otros grupos
- En todos los grados domina el modelo microscópico de partículas, siendo el más frecuente el de espacios llenos u orejas de conejo o ratón tipo "Mickey Mouse"
- La representación del movimiento aparece en los niños de 13-15 años simbolizado con el uso de flechas
- Tamaño, ángulos y longitudes en el enlace varían en distintas representaciones, aun en el mismo niño
- El oxígeno se dibuja del mismo tamaño que el hidrógeno o a veces más pequeño.
- El ángulo del enlace es de 30° o 180° (104.5° es el ángulo del enlace correcto).
- La longitud del O-H es más pequeña en los sólidos y aumenta en los líquidos y aun más en los gases
- En todos los grupos el incremento en la distancia intermolecular, en líquidos y gases comparados con los sólidos se asocia con el aumento en el tamaño del modelo
- En el caso de sólidos hay patrones de dos dimensiones y a veces hexagonales e inclusive algunos tridimensionales
- Los puentes de hidrógeno a veces se presentan dobles, entre átomos de hidrógeno
- El hidrógeno es a veces más pequeño de lo normal y un puente de hidrógeno se representa en los tres estados de la misma forma
- La distancia intermolecular relativa en los tres estados es en general incorrecta

Estado gaseoso

Los resultados obtenidos por Nussbaum¹⁴⁷ en varios estudios muestran la concepción que tienen los estudiantes sobre los gases. El primer estudio, se

¹⁴⁶ Pereira y Pestana, (1991). Pupils' representations of models of water *International Journal of Science Education* 1991, 13(3), pp 313-319

¹⁴⁷ Joseph Nussbaum, (1989) La constitución de la materia como conjunto de partículas en la fase gaseosa En Driver R. Guesne E Y Tiberghien A, (1989) *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* Madrid: Ed Morata

realizó con 150 estudiantes de 8° grado (14 años) para investigar hasta qué punto eran capaces de aplicar distintos aspectos del modelo de partículas para explicar fenómenos físicos sencillos producidos en la fase gaseosa. Los alumnos habían cursado ciencias físicas de séptimo grado y en el temario se analizaban las distintas fases de la materia, aprendían distintos aspectos de la materia como densidad, fluidez, compresibilidad, cristalinidad, difusión, cambio de fase, descomposición, separación y mezcla. Todos estos temas debían ser interpretados como propiedades en relación con partículas o en términos de átomos y moléculas.

Las ideas investigadas en las entrevistas son:

- Un gas está compuesto de partículas invisibles
- Las partículas del gas se reparten uniformemente en cualquier espacio cerrado
- Entre las partículas de un gas hay un espacio vacío
- Las partículas de un gas tienen un movimiento intrínseco, incluso cuando no son afectadas desde el exterior
- Cuando dos sustancias gaseosas distintas interactúan para formar una tercera, se representa como una reunión de distintos tipos de partículas.

Los alumnos debían seleccionar y explicar su elección en donde se presentaban distintas representaciones tanto de materia continua como de partículas en: gases (aire) y líquidos (amoníaco y ácido clorhídrico concentrado). El tema de interacción de partículas se trató en particular con gotas de los dos líquidos que reaccionan al centro de un tubo de ensayo.

De las respuestas de los alumnos se encontraron cinco aspectos del modelo de partículas:

1. El gas está compuesto de partículas invisibles. Es la proposición más elemental del modelo de partículas (64% de los alumnos). El 78% escogió la forma representada por partículas.
2. Las partículas del gas se distribuyen uniformemente en un espacio cerrado. Uno de cada seis alumnos que escogieron las representaciones de partículas no están distribuidas homogéneamente en un recipiente cerrado, sino que se concentran en alguna parte del mismo. Esto llevó a considerar que un número significativo de alumnos que admitían la idea de materia fragmentada conserva cierto sentido de continuidad en la estructura del aire.
3. Entre las partículas de gas hay espacio vacío. Sólo el 45 % de los alumnos que admitían la fragmentación de la materia (35% de la muestra) explicaban que había vacío entre las partículas. El 16% se mostraba inseguro sobre la naturaleza del vacío y lo aceptaba después de ser presionado. Ellos pensaban que entre las partículas debía haber más partículas. Entre los que no consideraban el vacío entre las partículas explicaban que entre ellas había

polvo u otras partículas, gases como oxígeno y nitrógeno, o bien que no hay espacio vacío entre las partículas y por ello están apretadas unas contra las otras. Para algunos entre las partículas debe haber aire, suciedad, gérmenes, vapores desconocidos etc..

4. Las partículas de un gas tienen un movimiento intrínseco. Sólo el 50% de los alumnos que optaban por la fragmentación (40% de la muestra total) aceptaban que las partículas de un gas están dotadas de movimiento intrínseco. Muchos de ellos no atribuían la propiedad de los gases de rellenar el espacio al movimiento intrínseco de las partículas. Otros factores que fueron mencionados tienen carácter anímico como es el caso de considerar que las partículas quieren elevarse, o bien que el peso de las partículas es muy pequeño y por tanto ascienden, el aire flota en el espacio a causa de su bajo peso específico (el aire tiende a flotar, porque es su lugar).
5. La formación de una nueva sustancia a partir de otras dos distintas se representa como la reunión o mezcla de distintos tipos de partículas.
6. Los estudiantes (una tercera parte de la muestra) relacionan la dilatación o contracción de las partículas con el calentamiento y enfriamiento de las sustancias.

Sólo el 50 % de los que optaron por el modelo de partículas (40% de la muestra) dijo que la sustancia blanca (cloruro de amonio) era un compuesto formado por la combinación de diferentes partículas. Esta respuesta sólo surgió después de preguntar sobre la naturaleza de la sustancia blanca.

Los aspectos de la teoría de partículas que son más difíciles para los alumnos son los más disonantes con sus concepciones sobre la naturaleza de la materia. Estos aspectos son: el espacio vacío (el concepto de vacío), el movimiento intrínseco (cinética de partículas) y la interacción entre partículas (transformación química).

Novick y Nussbaum¹⁴⁸ investigaron las preconcepciones de estudiantes de secundaria (13-14 años) sobre la naturaleza de partículas de la materia. Para ello basaron la investigación en el estado gaseoso. El estudio consistió de las mismas cinco preguntas formuladas a los estudiantes en la investigación anterior¹⁴⁹.

Los resultados son:

- El 21% de los alumnos persistió en el uso de explicaciones continuas, mientras que el 60% de la muestra consistentemente utilizan el modelo de partículas para explicar distintos fenómenos que involucran los gases.
- Los dibujos muestran una transición de la materia continua hacia la construcción de un sistema de partículas y de lo concentrado a lo disperso. Es

¹⁴⁸Novick, S., y Nussbaum, J., (1978) *Art cit*

¹⁴⁹Nussbaum (1989) *Op Cit*

interesante notar que el mayor porcentaje involucra los extremos de la transición de continuo-concentrado y partícula-separada

- El 30% de la muestra inicialmente falla en la descripción correcta de un gas en expansión en un espacio cerrado y los dos tercios de este segmento persisten en la preconcepción que muestra el dibujo correcto.
- En cuanto al modelo del aire. El 46% de los alumnos explican que existe un espacio vacío entre las partículas pero el 16% lo duda. Algunos dibujan más partículas entre las partículas. Solamente cuando se les presiona responden que se encuentra un espacio vacío entre ellas
- Muchos de los estudiantes no consideran que un gas ocupe todo el espacio, ni el movimiento intrínseco de las partículas. Algunos de los factores internos que se mencionan son entre las partículas hay fuerzas atractivas o bien factores externos como que las partículas son demasiado ligeras y suben
- Muchos estudiantes creen que el aire es un factor mediador esencial en el movimiento de las partículas en la fase gaseosa. Cuando se involucra una combinación química, (la formación del humo blanco a partir de dos gases), la mitad de los alumnos, comparado con el 18% de los estudiantes continuos, dicen que la sustancia blanca se forma por la combinación de dos gases para formar un compuesto.

Los resultados muestran que una porción de la muestra falla en la internalización de importantes aspectos del modelo de partículas. Se sugiere que existen aspectos psicológicos que involucran la aceptación del modelo de partículas que aún no es incorporado en la estructura mental del estudiante. El modelo continuo de la materia involucra la percepción inmediata de la materia que tienen los alumnos

Las partes del modelo que se asimilan al final son aquellas más disonantes con la percepción sensorial de la materia como: el espacio vacío, el movimiento intrínseco de las partículas, la interacción entre partículas (cambio químico). Parece entonces que la disonancia entre la visión de partículas y la continua puede resultar en la asimilación de una distorsión del modelo de partículas de muchos estudiantes.

Por otro lado, muchos alumnos no piensan en el espacio vacío en la materia ordinaria, incluyendo los gases y ello se revierte en una interpretación continua por lo que llenan el espacio con mas partículas, polvo, aire, etc.

El movimiento intrínseco de partículas es también un concepto difícil. Muchos dicen que el aire no sale del matraz, por su baja gravedad específica, una propiedad de conjunto con la concepción continua de la materia.

El tercer estudio de Novick y Nussbaum¹⁵⁰ se realizó con 576 estudiantes de todos los niveles escolares (83 de educación elemental; 339 de secundaria; 88 de preparatoria y 66 de nivel universitario) En esta investigación se ampliaron las preguntas hacia los cambios de estado y la diversidad de edades y escolaridad de la muestra amplían la información sobre el modelo empleado por los estudiantes.

Los aspectos que se investigaron fueron:

- 1) Las partículas de gas están uniformemente distribuidas en un sistema cerrado
- 2) Las partículas de gas están en continuo movimiento
- 3) Calentar o enfriar son causa de un cambio en el movimiento de las partículas
- 4) La licuefacción es vista como un cambio en la densidad de las partículas
- 5) Hay un espacio vacío entre las partículas de un gas

A continuación se presentan los resultados sobre el modelo de partículas:

- Las partículas de gas están uniformemente distribuidas en un sistema cerrado. En general hay un incremento, con relación a la edad y escolaridad, en el nivel y el porcentaje de sujetos que favorecen una distribución uniforme de partículas, evidenciado por la selección y elaboración de dibujos. La mayoría de los estudiantes de nivel de secundaria y aun mayores piensan en una distribución homogénea de partículas en un recipiente después de sacar cierta cantidad de aire. Estos resultados, sin embargo, no dicen nada sobre la internalización de dos aspectos adicionales del modelo: el espacio vacío entre las partículas y las partículas en continuo movimiento
- Los dibujos del grupo de estudiantes de enseñanza elemental, muestran partículas concentradas en el fondo del contenedor con la bomba abierta. Los sujetos al parecer remueven el gas de manera similar a lo que ocurre con un líquido cuando se llena un contenedor. En el grupo de secundaria, las partículas permanecen concentradas en la parte superior del matraz cercana a la salida de la bomba. Los sujetos aparentemente piensan que la masa de las partículas se empuja hacia la salida

Ambas concepciones representan una concepción estática de la materia. Los sujetos no aplican la idea de movimiento de partícula dentro de una distribución cuando la operación se aplica a un gas. Cerca del 30% de la muestra de secundaria y el 10% de estudiantes de preparatoria y universitarios mantienen estas ideas.

- Para la mayoría de los estudiantes, aun los universitarios, no se conserva una distribución uniforme de las partículas del gas si el sistema se calienta. La mayoría de los sujetos piensa que el globo se infla porque entra vapor en él, para algunos todas las partículas van del matraz al globo. La idea de que las

¹⁵⁰ Novick y Nussbaum, (1981) *Art. cit*

partículas caen en el globo disminuye conforme avanzan los grados escolares. Sin embargo en el nivel universitario no se alcanza el 50% de la muestra.

- Durante el proceso de cambio de estado los estudiantes describen qué les sucede a las partículas de un gas cuando se enfrían y licúan. Muy pocos sujetos explican el enfriamiento como una disminución en el movimiento de las partículas. Tan sólo el 25% de los estudiantes de preparatoria y el 15% de los universitarios lo mencionaron.
- En relación con la forma en que el calor afecta a las partículas del gas, las respuestas descriptivas predominan. El porcentaje de sujetos que ven el calor en términos de un incremento de movimiento de las partículas es mayor que el que se ve en caso del enfriamiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos por varios autores, en donde los estudiantes de preparatoria atribuyen la disminución en el volumen de un gas, durante el enfriamiento, no tanto a la disminución del movimiento molecular sino al aumento de fuerzas atractivas. La licuefacción para algunos estudiantes es producto de un cambio en la densidad de las partículas del gas.
- Después de que un gas se ha enfriado y licuado el 70% de los estudiantes de secundaria describen la licuefacción en términos de partículas que se juntan en el fondo o a lo largo de las paredes del recipiente. En general hay una aceptación intuitiva de que la licuefacción es una reunión de partículas. Este resultado está de acuerdo con lo encontrado por Hibbard y Novak¹⁵¹, los estudiantes acomodan sus ideas sobre partículas cuando estas ideas tienen resonancia con las propiedades que han asignado a la materia, que en este caso es el descenso de volumen durante la licuefacción.
- Un 10% de los estudiantes de todos los niveles dibujó de manera continua un líquido y un gas aún después de haberse enfriado. Algunos de ellos piensan que el modelo de partículas se sostiene solamente para los gases y que los líquidos y posiblemente los sólidos son materia continua.
- Los estudiantes rechazan la posibilidad de que entre las partículas hay vacío (20% de la escuela primaria y secundaria y 37% de preparatoria y universidad). Esta tendencia indica la persistencia de la preconcepción de que la materia es esencialmente un medio continuo.

Otro estudio analizado por Nussbaum¹⁵² reporta las ideas de 300 estudiantes (15 años) del bachillerato inglés (1984). La mayor parte de las preguntas se relacionaban con la fase gaseosa.

Los resultados son:

¹⁵¹ Hibbard, M. K., y Novak, J. D., (1975). Audio-tutorial elementary school instruction as a method for study of children's concept learning: Particulate nature of matter. *Science Education*, 59, 559-570. Citado en Lee et al. (1993) *Art. cit*

¹⁵² Nussbaum, (1989) *Op Cit*

- 1) Más del 50% de los estudiantes utilizan las ideas referidas a las partículas sin comprender necesariamente otros elementos del modelo
- 2) En el mejor de los casos, 1 de cada 5 (20%) de los estudiantes, dan respuestas parcialmente completas basadas en la teoría de partículas.
- 3) Al menos uno de cada tres estudiantes usan ideas de partículas alternativas como expansión y contracción de partículas, calentamiento de partículas, fusión de partículas, comportamiento animista de las partículas.
- 4) Alrededor de uno de cada cuatro estudiantes (25%) dio respuestas macroscópicas sin referencia a teoría alguna de partículas

Un estudio de caso realizado en EUA y reportado por Nussbaum presenta la resistencia al cambio de las concepciones alternativas que tienen los estudiantes (sexto grado, 12 años de edad) sobre la teoría de partículas en los gases. El análisis mostró que los alumnos no abandonaban fácilmente sus concepciones alternativas y que tendían a mezclar la nueva información con sus ideas previas construyendo una concepción mixta. Dos ejemplos se muestran de este estudio:

- Antes de comenzar las clases Roer creía que el aire que quedaba en un frasco tras haber extraído parte de él, permanecía alrededor de sus extremos "tratando de reventar". Después de la exposición de las partículas del aire, consideró que el aire seguía formando un tejido continuo y ligero, pero añadió la idea de que contenía partículas de aire flotantes. La extracción del aire significaba retirar este medio, por lo que el "aire genuino" dejaba partículas en el fondo. Creía que al calentarse las partículas de aire ascenderían y que tratarían de salir (como si fuese un movimiento natural y animista).
- Lisa mostró que todavía retenía su creencia antecedente sobre la continuidad del aire. Muestra cierto avance al considerar en la práctica del olor que piensa en partículas de gas y en la presencia del aire. Mantuvo su idea de que las partículas de aire se expandían con el aumento de temperatura misma que supera después y la cambia por una explicación mecánica. Al final de la unidad afirmaba que el vacío ejerce una fuerza de succión.

2.2.4.2 Cambios de fase

Gabel y Hunn ¹⁵³ investigaron las ideas sobre la naturaleza de la materia en maestros de educación elemental. La prueba consistía en que los alumnos dibujaran y explicaran cómo era la sustancia después de un cambio de estado. La prueba presentaba una serie de dibujos de átomos y moléculas como círculos de distintos tamaños y formas.

Entre los resultados encontrados en relación con la estructura de partículas está: La conservación de partículas y el orden de las mismas son atributos que el 50%

¹⁵³ Gabel, D., et al (1987) *Art. cit.*

de los estudiantes ignoran en los ejemplos. Las pruebas estadísticas muestran que los estudiantes que tienen instrucción en química muestran pequeñas diferencias en relación con los otros maestros.

Los dibujos de los estudiantes revelaron que su concepción de materia está frecuentemente distorsionada. Algunas de las ideas más comunes son:

- El arreglo de los átomos cambia de líquidos a gases, sin embargo, se mantienen los átomos separados
- Las líneas que muestran los niveles de los líquidos, marcan la parte superior de las partículas e indican con ello los límites superficiales
- Dibujan los gases más en orden que en desorden
- Muestran partículas en grupos intactos, más que en pequeños grupos después de la descomposición de una molécula

Lee et al., ¹⁵⁴ en un estudio desarrollado con estudiantes de sexto grado encontraron que: los estudiantes no creen que las sustancias se expandan cuando se calientan, y creen que el aire en una botella se mueve del fondo hacia la parte superior, el aire caliente (o calor) está en la parte superior y el aire frío está en el fondo

Después de dos años de instrucción muchos estudiantes entienden la expansión térmica al nivel macroscópico sin embargo tienen dificultades para comprenderlo en el nivel microscópico. Algunos de ellos usan el lenguaje molecular para expresar la misma idea en los dos niveles (macroscópico y microscópico).

Muchos estudiantes confunden las propiedades observables de las sustancias con propiedades de las moléculas, y atribuyen cambios en las sustancias a cambios en las moléculas: "La bola de metal no pasa por el anillo porque las moléculas se expanden y esto hace que sea más grande"¹⁵⁵

Pocos estudiantes usan un lenguaje molecular en sus explicaciones antes de la instrucción y, aún después de la intervención en aula les es difícil explicar los cambios de estado en términos moleculares. Algunos usaron el lenguaje molecular para expresar concepciones no científicas en el nivel macroscópico.

Muchos estudiantes piensan que las moléculas cambian durante el cambio de estado: "Las moléculas están calientes en el agua, se secan y después se van al aire", "las moléculas se condensan". Otros piensan que cuando una sustancia cambia de estado, las moléculas comparten propiedades observables de las sustancias. "Las moléculas en el hielo son duras y congeladas... las moléculas en

¹⁵⁴ Lee et al., (1993) *Art. cit*

¹⁵⁵ Lee et al., (1992) *Ibid*

el hielo no se mueven y empiezan a moverse cuando se funde; cuando el hielo se funde, las moléculas salen y se empiezan a mover alrededor.”¹⁵⁶

Garnett et al.,¹⁵⁷ investigaron las ideas alternativas de las moléculas en los diferentes estados de la materia, encontrando las siguientes ideas:

- 1) Los átomos y las moléculas tienen diferentes tamaños, formas y pesos dependiendo de la fase:
- 2) El agua en fase sólida tiene las moléculas más grandes y pesadas
- 3) EL agua en fase sólida tiene las moléculas más pequeñas
- 4) Los átomos y moléculas se hacen más grandes en la fusión
- 5) Los átomos son más grandes cuando cambian de líquido a gas
- 6) Un mol de sólido y/o líquido tiene un volumen de 22.4 litros
- 7) Las moléculas dentro de una fase se mueven a la misma velocidad

Cambios de fase y el efecto de la temperatura

- 1 La temperatura puede afectar la forma de las moléculas
2. El calor hace que las moléculas de agua se expandan.
3. El tamaño de las moléculas depende de la temperatura
4. Fundir y hervir los compuestos moleculares son procesos en los que se rompen los enlaces covalentes de las moléculas
- 5 Cuando los sólidos se funden, el agua sale. Esto implica que hay agua en toda la materia.
6. Cuando el agua hierve, el aire escapa. Hay aire dentro del agua.
7. Las burbujas que salen en la ebullición del agua son de calor, aire o hidrógeno y oxígeno producto de su descomposición.
- 8 Cuando un líquido cambia a gas hay una disminución en la masa.
- 9 Los gases no tienen masa

2.2.4.3. Disoluciones

En una disolución de azúcar y agua, los niños dicen que el azúcar ocupa el espacio que queda entre las moléculas del agua para formar la disolución y por ello la masa no cambia. Un alumno dice que los cristales de azúcar se disolverán en el agua y sus moléculas adoptarán una estructura menos compleja, por lo que será más ligero que antes (Driver¹⁵⁸).

¹⁵⁶ Lee et al., (1992). *Ibid.*

¹⁵⁷ Garnett et al., (1995). *Art. cit*

¹⁵⁸ Driver, (1989) *Op Cit.*

Haidar y Abraham¹⁵⁹ investigaron las ideas de partículas de la materia con 183 estudiantes de preparatoria (con un promedio de edad de 17 años), que habían cursado química. Se aplicó un instrumento para conocer su conocimiento sobre conceptos básicos de la teoría de partículas. El instrumento midió dos aspectos, por un lado preguntas en un lenguaje cotidiano y por el otro preguntas en un lenguaje teórico.

Las concepciones de los estudiantes se clasificaron de acuerdo al número de concepciones alternativas. Las categorías son:

1. Mezcla: Algunos estudiantes consideraron a la disolución o la difusión como un proceso macroscópico en donde las moléculas de azúcar o el agua de color se mezclan con las de agua en donde se desplazan unas por otras teniendo un arreglo azaroso. Ésta es en realidad una concepción incompleta ya que no se presenta un modelo de interacción entre moléculas. Sin un modelo de fuerzas de atracción y repulsión entre las moléculas los estudiantes no pueden explicar los mecanismos por el que ciertos materiales se disuelven y otros no.
2. Acciones en serie. Algunos estudiantes explican la disolución, difusión o efusión en términos de dos procesos que suceden en secuencia. Por ejemplo, ellos creen que el proceso de disolución implica dos procesos automáticos y secuenciales. Primero, las moléculas de azúcar se separan automáticamente unas de otras y después estas mismas moléculas se dispersan a través del agua o se combinan con las moléculas de agua.
3. Actor principal o explicaciones macroscópicas. Seré¹⁶⁰ mostró que los estudiantes tienen dificultad en considerar más de un factor de interacción en un proceso. Los estudiantes se centran en un solo factor, por ejemplo, en la disolución algunos estudiantes creen que el agua tiene un papel más importante que el del soluto.
4. Teoría del calórico. Al igual que los estudios de Erickson¹⁶¹, el calor es una sustancia material. Los estudiantes creen que el calor es una sustancia que puede ser atraída, absorbida y ocupa un lugar. En este estudio algunos estudiantes dijeron que el exceso de azúcar no se disuelve en agua porque el calor que está en el agua se consume por la cantidad de azúcar que se añade.
5. No hay diferenciación entre cambios físicos y químicos. Algunos estudiantes creen que los procesos examinados son reacciones químicas que involucran rompimiento y formación de enlaces resultando nuevas especies químicas. Un ejemplo de ello es al añadir colorante al agua.

¹⁵⁹ Haidar, A. y Abraham, M., (1991) *Art. cit.*

¹⁶⁰ Seré, (1989) *Art. cit.*

¹⁶¹ Erickson, G., (1980) Children's viewpoints of heat: a second look. *Science Education*, 64(5), 323-336.

6. Razonamiento utilizando atributos físicos Westbrook¹⁶² notó que los atributos físicos podían ser fuente de concepciones alternativas, algunos estudiantes explicaron las disoluciones en términos de los atributos físicos tales como el peso, volumen y densidad. Por ejemplo, el gis no se disuelve porque es pesado.
7. Licuefacción. En este estudio algunos estudiantes hicieron la analogía entre el fenómeno de la fusión de los sólidos como un proceso de disolución.

En este estudio dos parecen ser el origen de las preconcepciones: el razonamiento de tipo macroscópico y la instrucción.

La primera se refiere al traslado del comportamiento de la materia a la escala de átomos y moléculas. En todos los casos una propiedad observable de la materia se infiere como una propiedad molecular de la que resultan las concepciones alternativas.

La instrucción parece ser el otro factor que actúa a partir de distintos aspectos:

- En química continuamente se habla de que una sustancia actúa sobre otra cuando en realidad se refieren a la interacción entre sustancias
- El cambio de color se usa como evidencia de que una nueva sustancia se ha formado. La categoría de acción en serie puede ser el resultado de una estrategia de instrucción.

Los resultados de las concepciones alternativas de los estudiantes indican que hay diferencias cualitativas entre el conocimiento aplicado y el conocimiento teórico de los alumnos. En el concepto de disolución, muchos estudiantes usan la concepción alternativa en la forma teórica y no en la aplicada. Sin embargo, lo aplican en el contexto macroscópico, en donde el proceso de interacción no se ha mencionado. Probablemente porque los dibujos ayudan a que los estudiantes visualicen las moléculas. Los estudiantes utilizan más frecuentemente la forma alternativa teórica que la aplicada a los atributos físicos. Esto resulta en sentido inverso en el caso de las explicaciones de las reacciones químicas.

En cuanto a los estados de la materia, se usa más la forma teórica que la aplicada, en los atributos físicos. La mayoría de esos estudiantes muestra en sus dibujos que las moléculas de agua cambian de tamaño con el calor.

Los estudiantes aplican explicaciones macroscópicas cuando se les hacen preguntas en lenguaje cotidiano y aplican su conocimiento teórico obtenido de la escuela, cuando se les pregunta en el lenguaje formal.

¹⁶² Westbrook, S , (1988) *A cross-age study of student understandings of four biology concepts*. Unpublished doctoral dissertation, university of Oklahoma, Norman. Citado en Haidar y Abraham (1991) *Art cit*

Por ejemplo, en el caso de los tres estados de la materia utilizan círculos para representar a las moléculas de agua, las moléculas de líquidos con formas irregulares, y a los sólidos como cuadrados.

Sobre el uso de la teoría de partículas muestra que los estudiantes usan más la forma teórica que la aplicada. Lo que implica que usan los términos macroscópicos para contestar las preguntas en lenguaje cotidiano y usan los términos microscópicos cuando se les pregunta con lenguaje científico.

En resumen, cuando a los estudiantes se les pregunta sobre un fenómeno químico usando preguntas en lenguaje cotidiano, evitan usar la teoría de partículas y muestran todas las concepciones alternativas que se han presentado en este estudio. Estas concepciones parecen ser extraídas del mundo cotidiano. Sin embargo, cuando se pregunta utilizando el lenguaje escolar formal los estudiantes usan la teoría de partículas en sus respuestas sobre los conceptos y presentan las concepciones alternativas de forma cualitativamente distinta de aquellas que se manifiestan cuando se les pregunta en el lenguaje cotidiano.

En el estudio se concluye que:

1. La habilidad del razonamiento formal y el conocimiento preexistente tienen un papel en el desarrollo de las concepciones que los estudiantes usan en la teoría de partículas
2. A los estudiantes les gusta más utilizar la teoría de partículas en sus explicaciones de conceptos químicos cuando se les induce a ello. Aun cuando usan las teorías de partículas en sus explicaciones ellos utilizan el contexto macroscópico.
3. El conocimiento teórico y aplicado son significativamente diferentes en término de la naturaleza de las concepciones alternativas y del tipo de las concepciones empleadas por los estudiantes.

Sanz, Gómez Crespo y Pozo¹⁶³ plantean una situación similar, ellos explican que los estudiantes incrementan el uso de conceptos del modelo de partículas en función de la edad y la escolaridad. Otro aspecto que surgió de la investigación fue que cuando se inducen explicaciones microscópicas, aludiendo al complejo mecanismo explicativo del fenómeno, aumenta la frecuencia con la que se activan las representaciones de tipo microscópico en todos los grupos

¹⁶³ Sanz, Gómez Crespo y Pozo, (1993) Comentarios generales sobre el modelo de partículas en temas colaterales IV Influencia de la instrucción en la utilización del modelo de partículas *Enseñanza de las ciencias*, Número extra (IV Congreso)

Las tareas sobre cambios de estado provocan que los estudiantes activen en mayor medida representaciones de tipo continuo utilizando parámetros físicos observables. En cambio en las tareas de disoluciones, reacciones y dilatación los sujetos recurren en mayor medida a interpretaciones de tipo discontinuo. En especial en el caso de las explicaciones de fenómenos de dilatación, las concepciones equivocadas de tipo microscópico son mayores que las del resto de las actividades.

Lee et al.¹⁶⁴ presentan en la categoría de disoluciones que los estudiantes, en el nivel macroscópico, comprenden que el soluto está presente en la disolución (disolución no es un sinónimo de desaparecer), que se rompe en piezas muy pequeñas por lo que no pueden verse. En el nivel molecular, los estudiantes expresan dos ideas claves:

- 1) Las moléculas del líquido golpean los granos o trozos de sólido y
- 2) Las moléculas de sólido se rompen y se dispersan en todo el líquido.

En el nivel macroscópico algunos estudiantes no entienden la conservación de la materia durante la disolución. Algunos piensan que el azúcar se evapora del agua, otros que se funde, otros más, que si no es visible en el agua no existe por lo que dicen que desaparece.

El proceso de disolución sucede a través de las interacciones entre líquidos y sólidos. Mayor dificultad de aprendizaje resulta porque muchos estudiantes no entienden esta interacción y hablan de la disolución en forma que no lo distinguen de la fusión. Por ejemplo, algunos estudiantes piensan que el azúcar se hace líquida.

En el nivel molecular ningún estudiante dio una explicación molecular de la disolución antes de la instrucción. Aun después de la instrucción en el primer año no todos usan el lenguaje molecular. Aquellos que dieron una explicación molecular, utilizaron un lenguaje molecular para explicar las mismas concepciones descritas para el nivel macroscópico.

El azúcar se disuelve en agua, las moléculas de azúcar se dispersan de igual forma en el agua porque se mueven constantemente. Muchos estudiantes piensan que el azúcar se hundirá e irá hasta el fondo del agua en un vaso porque el azúcar es una forma sólida o bien las moléculas de azúcar son más pesadas que las del agua.

Valanides¹⁶⁵ en el trabajo con profesores señala que no hay muestras de que los profesores consideren que existe espacio vacío dentro de la constitución interna

¹⁶⁴ Lee et al., (1993). *Art. cit*

¹⁶⁵ Valanides, (2000) *Art. cit*

de la materia. En algunos casos, se considera que la densidad después de la disolución será gradual mayor en el fondo y menor en la superficie debido al peso del soluto. Las propiedades macroscópicas del sólido se conservan en el caso de las disoluciones, las moléculas de los sólidos no se mueven. En una disolución las moléculas estarán en forma líquida o sólida pero no cambiarán. No se hace ninguna diferencia entre una disolución de agua – azúcar y una de agua – sal, esto lleva a concluir que se ignora que la primera es una disolución molecular mientras que la segunda es de tipo iónico. En una disolución de alcohol y agua, aquellos profesores que mencionan las moléculas del agua establecen que vibran alrededor de su posición. A diferencia de las moléculas de los sólidos que no tienen movimiento, las de los líquidos, siempre se están moviendo siendo ésta una de las razones por las que fluyen. El movimiento de las moléculas está así relacionado con la propiedad de fluir de los líquidos más que con la naturaleza de partículas de la materia y su teoría cinética. De manera similar, para la mayoría de los profesores el aumento de temperatura no afecta el volumen del líquido (no se expande) y solamente 5 de ellos relacionaron la presencia del calor con el movimiento de las partículas y su separación.

En el mismo estudio el tamaño de las moléculas de vapor de agua varía con la temperatura, con el calor las moléculas se expanden por lo que el vapor de agua consiste de moléculas muy grandes. En el caso de los gases, 4 estudiantes piensan en la existencia de espacios vacíos. También establecen la relación de menor a mayor movimiento de sólidos a gases. El movimiento azaroso de las moléculas se confunde con el movimiento Browniano.

2.2.5 Comentarios generales sobre la materia es discreta

En los estudios que muestran las ideas de los estudiantes, sobre partículas, puede generalizarse que existen ciertos elementos que no les permiten estructurar el modelo cinético de partículas. Estos elementos son:

- La existencia de espacio vacío entre las partículas. El espacio entre las partículas en general no es considerado como vacío, sino ocupado por alguna sustancia que puede ser aire, agua, rocas, esto es, del mismo material que se está describiendo. Aun en el caso de los gases, en las explicaciones de cambio de estado, y en las disoluciones, que parecen ser los temas más sugerentes de la idea de materia formada por partículas, la existencia del espacio vacío representa un obstáculo conceptual para los estudiantes.
- Movimiento intrínseco de las partículas. El movimiento de las partículas para la mayoría de los estudiantes no existe. En algunos casos puede considerarse su existencia pero solamente para los gases, ya que para los líquidos y los sólidos resulta poco aceptado por los estudiantes. El movimiento de las partículas no

se asocia en lo general con el estado físico de la materia o la presencia de calor.

- Las partículas tienen en general propiedades similares a las macroscópicas. Esto es se trasladan las propiedades que se conocen en el ámbito macroscópico al microscópico. Dentro de este modelo de pensamiento la naturaleza de las partículas es la causa de la constitución de la materia. Es por ello que se piensa que son las partículas las que se dilatan, contraen, congelan, calientan etc., cuando el problema que se presenta se relaciona con algún fenómeno macroscópico, por ejemplo, la dilatación de los objetos en presencia de calor.
- La sobreestimación del tamaño de las moléculas y átomos. El tamaño de las partículas es lo suficientemente grande para ser observadas y pesadas con instrumentos y métodos utilizados en el mundo macroscópico.
- Con estas características resulta natural que aquellos que piensan en partículas construyan un modelo de materia continua en el que las partículas estén inmersas. Para aquellos alumnos que mencionan la existencia de moléculas y átomos, éstos toman todas las propiedades macroscópicas de las sustancias y son consideradas como objetos concretos y sólidos. Las moléculas tienen ciertos arreglos para explicar la forma en la que se mantienen unidas. Las moléculas están formadas de átomos, para algunos de estos estudiantes, en el estado sólido deberá haber más átomos porque están más cercanos.
- Las moléculas tienen distinto tamaño y forma dependiendo de la fase en la que se encuentran. El concepto de enlace no tiene significado para los estudiantes ya que para ellos el arreglo que puedan presentar las sustancias no tiene relación con la existencia de enlaces. Las moléculas se mantienen unidas gracias a agentes externos como el calor, gravedad, presión, etc., que constituyen, además, los conceptos físicos que utilizan macroscópicamente.

Los modelos atómicos más aceptados son: aquellos que representan esferas sólidas, un sistema solar análogo al solar, una ciruela pasa, o algo vivo como una célula. Aquellos que consideran un modelo de órbitas, piensan que los electrones son objetos sólidos que se mueven en las órbitas como si se tratase de caminos establecidos. En el modelo de nube electrónica, esta característica de objeto sólido se mantiene al establecer una analogía con una red en la que están colgados los electrones.

Los elementos que se distinguen siempre en el modelo de los átomos son: la frontera, representada por la corteza, superficie o concha y el núcleo, que por lo

general se considera duro y compacto. Entre la corteza y el núcleo, para algunos se encuentra formada la misma sustancia de la que forman parte.

2.3 Comentarios finales

Numerosos estudios muestran que estudiantes de distintas edades desde niños de educación básica hasta universitarios mantienen una concepción continua de la materia. Sin embargo, algunos estudios muestran que de manera simultánea y ante la presión del investigador sobre una explicación de la constitución de la materia, algunos estudiantes expresan la existencia de un modelo de partículas.

Al inicio, el uso espontáneo del modelo de partículas es escaso, los estudiantes de educación elemental (primaria) mantienen un modelo continuo de la materia, en todas sus explicaciones sobre la estructura de la materia. Escasos son los estudiantes quienes utilizan un modelo de partículas y tan sólo lo hacen para explicar lo que sucede en una disolución. El aire no es visto como sustancia por los niños, quienes mantienen como criterio de identificación de materia que debe ser vista o sentida para poder existir. A partir de este criterio es que surgen dos conceptos de aire, el que está encerrado dentro de un recipiente y que, para estos niños, no existe porque no es percibido de ninguna forma y el que está fuera, que puede existir si se siente cuando hay viento.

Con la edad y la instrucción los alumnos recurren con mayor frecuencia a interpretaciones de tipo discontinuo. A partir de la secundaria los estudiantes usualmente utilizan en modelo continuo de la materia para referirse a fenómenos dentro de un contexto macroscópico y que están relacionados con fenómenos cotidianos, sin embargo, como se muestra a lo largo del capítulo, pueden ser inducidos a través de preguntas a interpretaciones basadas en la teoría de partículas.

Lo anterior sugiere la presencia de dos modelos de la materia, los alumnos utilizan aquel con el que se encuentran más familiarizados que es el modelo continuo. El modelo de partículas llega a ser tan vago, que podríamos decir que está constituido por un cúmulo de partículas en el que no se establecen aún sus características y sus formas de interrelación. Más lejos aún se encuentra la posibilidad de establecer la conexión con el mundo macroscópico, que no sea el traslado de las propiedades macroscópicas, que los estudiantes conocen, a las microscópicas. Lo que observamos en el tratamiento que los estudiantes hacen es que utilizan dos modelos de la materia, de los dos modelos el continuo y sus propiedades físicas como peso, volumen, masa, fuerza, les son más familiares que el modelo discreto y cinético de la materia del que conocen la existencia de partículas, en el que desconocen las reglas de interacción definidas por el modelo. Si bien ninguno de los dos modelos son bien conocidos como tales, el primero les

resulta más familiar y una serie de ideas alternativas han sido construidas alrededor de cada una de las características físicas.

Con lo antes expuesto tal parecería que los estudiantes trasladan su conocimiento del modelo continuo al discreto bajo la premisa de tratarlo como al primero. Lo anterior nos lleva hacia el problema planteado por Selley¹⁶⁶ ¿Pueden tratarse las moléculas y los átomos como una sustancia?

Los dos modelos corresponden, como Selley¹⁶⁷, menciona a dos distintas categorías con distinto nivel teórico y que juegan un papel diferente en la teoría de la materia. Los conceptos de la física clásica y la propia definición de materia fueron construidos durante los siglos XVI y XVII. Los conceptos como, partícula, energía mecánica, fuerza, masa, aceleración, peso, etc ..., constituyen el núcleo teórico de la mecánica clásica, pero lo más importante es que en todos ellos de manera implícita está presente una concepción continua de la materia. Por su parte, la construcción de los conceptos centrales de la teoría cinético molecular construida durante los siglos XIX y principios del siglo XX se desarrollaron a partir del rompimiento de una concepción continua de la materia y la energía con lo que se llega al establecimiento de la mecánica cuántica. Dado que se trata de dos modelos diferentes es necesario entonces establecer la relación epistemológica que existe entre la teoría y el modelo. Este es parte del problema al que se enfrenta en el tratamiento que los estudiantes hacen con el modelo de partículas. Ellos no reconocen las características de cada uno de ellos y cuál es su relación epistemológica. Lo expuesto hasta este momento nos lleva a observar que también en la ciencia y en su historia los dos modelos de la materia están presentes de forma simultánea.

¹⁶⁶ Selley N J , (1978) *Art cit*

¹⁶⁷ Selley N J , (1978) *Ibid*

Capítulo 3

Metodología

Si se analiza de manera global el desarrollo de la historia del concepto de estructura de la materia se encontrará que siempre están presentes dos representaciones de la misma: la continua y la discreta. En ambas se tienen elementos que justifican su existencia y la razón del rechazo de la otra. Durante periodos muy concretos una de las dos posiciones tiene mayor apoyo de la comunidad científica que la adopta y sobre ella borda teorías, experimento e hipótesis que la fortalecen, esto significaría, como señala Kuhn, el desarrollo de una ciencia normal alrededor de lo que él denomina paradigma. Toda la construcción del pensamiento científico gira alrededor de esta idea y tan solo un pequeño grupo de la misma comunidad construye una visión distinta que difiere del paradigma dominante

Por ejemplo, se puede encontrar en la ciencia griega la posición atomista de Demócrito y Epicuro que corresponde a un periodo, que le permite su desarrollo y adopción, en el que dos premisas fundamentales están presentes, la aceptación de la existencia del vacío y la existencia de partículas que forman todos los cuerpos, las características fundamentales de estas partículas son la forma, el tamaño y el peso. Estas ideas serán duramente criticadas después por Aristóteles cuya visión integradora no le permite aceptar la existencia de las partículas principalmente por la imposibilidad de aceptar la existencia del vacío. Para Aristóteles todo es movimiento y forma y son éstas las dos posibilidades de conocer la naturaleza. La materia es, para Aristóteles, infinitamente divisible y por tanto continua. El predominio de la visión de Aristóteles sobre el pensamiento científico duró varios siglos, en los que algunos pensadores de la naturaleza contrarios a esta visión, hicieron intentos de demostrar la existencia del vacío, concepto fundamental en la negación de la existencia de las partículas para Aristóteles.

A partir de la demostración del peso del aire y de la existencia del vacío toda una interpretación se desarrolló. En este periodo, la construcción de la física se fortalece y se construyen los fundamentos teóricos que perduran, en el aspecto clásico, hasta nuestros días. Con la existencia del vacío se empieza a hablar de partículas de gas en movimiento, mismas que implican que la constitución de la materia sea pensada como partículas independientes en interacción. Algunos problemas de esta interpretación, están en la explicación de la interacción de las partículas en la constitución de la materia estable. La construcción del concepto de fuerza y la necesidad de definir el concepto de masa en la primera y segunda ley de Newton son dos de los conceptos que dan coherencia al programa racional de la física. Cabe mencionar que, a diferencia de los griegos, la definición de masa,

constituye una primera definición del concepto de materia. Esta cantidad, definida a partir de la inercia de un cuerpo, es una cantidad continua, esto es, la concepción de materia que subyace es continua, entendiéndose con esto que la materia puede ser infinitamente divisible, idea que está de acuerdo con la visión de Aristóteles. Las partículas dentro de esta etapa de desarrollo de la física, representaban pequeños corpúsculos de materia en movimiento que se movían por la presencia de fuerzas de tipo gravitacional o eléctrico.

Otra perspectiva sobre la materia es la de Dalton que se opone a la de Newton y en la que no se retoma el programa mecánico de la física. Para Newton, los compuestos se forman por agregación de partículas que son característicos de cada elemento, mientras que, para Dalton las partículas están definidas como átomos y constituyen la mínima cantidad de materia de un mismo elemento, pero con diferencias entre ellos como es su peso. En ambos casos los átomos son indivisibles. A partir de este momento la aceptación de la existencia de los átomos se presenta como una idea conveniente, si bien, no como una realidad para la química y la física. La construcción de moléculas y compuestos como sistemas de átomos formó la nueva visión de la constitución de los compuestos. Como se ha mencionado, aceptar la existencia del átomo no fue fácil y llevó a considerarlos como una idea operativa conveniente para la interpretación de variados fenómenos de índole química, sin embargo, la visión de la materia en estos casos siguió siendo continua.

Simultáneamente el desarrollo de la física se daba; por un lado, una explicación de la materia continua en donde la masa y la gravitación explicaban la inmutabilidad de la materia y por el otro la teoría cinética de los gases mostraba evidencias de la estructura de partículas de la materia, lo que dio pie, a la formulación de distintos modelos corpusculares.

Dos son los aspectos que contribuyen en la construcción de la física actual del átomo: la discrecionalidad de la energía propuesta por Planck, en la que energía se cuantiza, durante un proceso de emisión del cuerpo negro; y el descubrimiento del electrón que rompió con la idea de un átomo indivisible y que llevó a la formulación de estructuras de los átomos que antes se habían considerado como indivisibles cantidades de sustancia. La construcción de la física y química cuánticas cimentaron el formalismo teórico de la teoría atómica actual. Sin embargo, la física clásica está reservada para las explicaciones del mundo macroscópico mientras que los fenómenos atómicos son aquellos que pueden ser abordados por las teorías cuánticas.

En la historia de la química Jensen¹ reconoce tres grandes revoluciones:

- La primera revolución (1770-1790): La composición molar. Esta revolución se inicia con la visión macroscópica o molar y corresponde a los trabajos realizados por Lavoisier cuando se inician las investigaciones sobre gases y sus relaciones con las reacciones químicas. En esta época se presentan las confrontaciones para superar la teoría del flogisto en las explicaciones sobre fenómenos como la combustión y la respiración. En este periodo aparece la teoría del calórico para los estados de la materia de Black, Crawford e Irving. De igual manera aparecen las teorías de calcinación y causticidad.
- La segunda revolución (1855-1875): La estructura y composición molecular. En esta revolución se destacan las contribuciones sobre los conceptos de valencia, estructura molecular y la determinación exitosa de los pesos atómicos y moleculares, que permiten la conclusión de la clasificación de los elementos en la tabla periódica de Mendeleev. En este periodo el concepto de átomo retomado por Dalton se incorpora a la discusión sobre la estructura de la materia que se refleja en el atomismo especulativo del siglo XVII y el análisis gravimétrico que aparecen en el siglo XVIII. La composición de los gases, el estudio de los calores específicos y la taxonomía orgánica junto con el desarrollo de la teoría atómica enmarcan esta segunda revolución.
- La tercera revolución (1904-1924): La estructura y composición electrónica. Durante este periodo la certeza de la existencia del átomo y el descubrimiento del electrón, dan explicación a fenómenos como la espectroscopia, los tubos de descarga, la radiactividad, la electroquímica, la hipótesis cuántica y la explicación de la tabla periódica a partir de la consideración de los electrones de valencia.

Por otra parte Jensen reconoce que la química puede representarse a partir de tres grandes dimensiones: composición y estructura, energía y tiempo; que se pueden aproximar en tres grandes niveles que son: molar, molecular y electrónico, que son coincidentes con las tres revoluciones químicas. Estas dimensiones muestran una estructura lógica de la química. En la tabla 3.1² se presentan las características y los tipos de fenómenos que se abordan en cada dimensión por nivel. Cabe aclarar que el nivel molar se utiliza en vez de la concepción de

¹ Jensen W. B., (1998a) Logic, History, and the Chemistry Textbook. Part I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6) pp 679-687.

Jensen W. B., (1998b) Logic, History, and the Chemistry Textbook Part II. Can We Unmuddle the Chemistry textbook?, *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817-828

Jensen W. B., (1998c) Logic, History, and the Chemistry Textbook Part III. One Chemical Revolution or Three?, *Journal of Chemical Education*, 75(8), 961-969.

² Tomada y traducida de Jensen W. B., (1998) Logic, History, and the Chemistry Textbook Part I. Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75(6), 680

macroscópico o de conjunto y el nivel molecular describe la relación atómico-molecular.

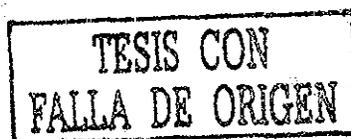
Este trabajo se enmarca dentro de la dimensión de composición y estructura por lo que a continuación se describirán los elementos que caracterizan la dimensión y los niveles correspondientes.

Tabla 3.1 La estructura lógica de la química

	Dimensión composición/estructura	Dimensión energía	Dimensión tiempo
Nivel molar	1 Relativa a la composición de sustancias simples y compuestas, soluciones y mezclas Designación empírica de alomorfismos (estado, color, forma del cristal, α , β , etc.).	4 Entropías calorimétricas y calor de formación Energía libre y constantes de equilibrio	7. Leyes experimentales de velocidad Parámetros experimentales de Arrhenius y o entropías y calores de activación
Nivel molecular	2 Fórmulas absolutas y estructurales Racionalización de alomorfismos como variaciones tanto en la composición absoluta (polímeros) como en la estructura (isómeros).	5. Interpretación molecular de la entropía. Interpretación de calor de formación en términos de calores de atomización, energía promedio de enlaces, etc Mecánica molecular.	8. Mecanismos de reacción molecular Perspectiva molecular de entropías de activación y complejos activados
Nivel electrónico	3 Fórmulas electrónicas (estructuras de Lewis y configuraciones electrónicas) Variaciones tanto en la composición electrónica o nuclear (iones e isótopos) o estructura (estados excitados).	6. Cálculos de la energía basada en la estructura electrónica Interpretación de espectros. Cálculo de calores de atomización, entropías espectroscópicas, etc	9 Mecanismos de reacción iónicos y fotoquímicos. Efectos isotópicos Cálculo de activación de energías Índices electrónicos de reactividad

Jensen señala en la dimensión composición/estructura que por composición entiende toda la información relacionada con la clase y número de átomos presentes en una molécula Mientras que por estructura se indica todo lo relacionado con la conectividad y el arreglo espacial de los átomos de una molécula. En la dimensión electrónica toda la materia está formada de un pequeño conjunto de partículas eléctricas (electrones, protones y neutrones) en donde por electrónico se refiere a los electrones y por nuclear a los protones y neutrones.

Las investigaciones que se han realizado con los alumnos muestran la presencia de distintos modelos de materia que pueden ser agrupados en: materia continua y homogénea y la otra en materia discreta. Estudiantes de distintos niveles escolares muestran en sus explicaciones el uso de estos modelos Por un lado el



continuo, que resulta cercano a su experiencia cotidiana, pero también modelos discretos como posibles explicaciones de fenómenos como las disoluciones, cambios de estado, estados de la materia, etc., y que obedecen en gran medida a la información recibida a lo largo de sus años de formación escolar

En la historia de la estructura de la materia y en las investigaciones sobre ideas previas de los estudiantes se encuentran los dos modelos aplicados a contextos y situaciones específicas. De lo anterior surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Los distintos modelos de representación de estructura de la materia, que aparecen en la historia, son también utilizados por los estudiantes? ¿Tienen los estudiantes más de un modelo de representación de estructura de la materia? ¿Dependen los modelos de representación de los estudiantes del contexto fenomenológico que plantean las preguntas? ¿Dependen los modelos de representación de los estudiantes del tipo de lenguaje que se utiliza al preguntar? ¿Cambian los modelos de representación de los estudiantes con la escolaridad?

Para contestar estas preguntas se diseñó la metodología de investigación. En ella se toman en consideración los resultados de las investigaciones con estudiantes y los modelos que se han presentado en la historia de la estructura de la materia. En particular se desarrollaron las categorías de análisis de la representación discreta y continua de la materia. A partir del trabajo de Andersson³ se construyeron las categorías para la representación continua, y en la elaboración de las categorías discretas se tomaron en cuenta los distintos niveles de los aspectos de composición y estructura que desarrolla Jensen⁴ con base en las tres revoluciones de la química antes presentadas. A continuación se presenta la metodología de investigación

3.1 Diseño de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron dos tipos de instrumentos: a) cuestionarios que se aplicaron al total de una muestra representativa de estudiantes de la carrera de Química; y b) entrevistas aplicadas a dos estudiantes de cada nivel escolar de la muestra

Se diseñaron dos cuestionarios que fueron aplicados de manera secuencial a todos los alumnos de la muestra en una sola ocasión al inicio del semestre. Las respuestas fueron capturadas y categorizadas para su análisis.

Dos estudiantes de cada semestre de la muestra fueron entrevistados para profundizar sobre su representación de la estructura de la materia. La selección de

³ Andersson B, (1990) Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85

⁴ Jensen, W B. (1998,a,b,c) *Op cit*

los alumnos para las entrevistas se basó en dos criterios: que las respuestas mostraran la presencia de los dos tipos de representaciones (continua y discreta); que uno de los dos estudiantes de la muestra presentaran en sus respuestas la posibilidad de incorporar el vacío en sus explicaciones y otros que negaran la existencia del vacío. Las entrevistas fueron audiograbadas y transcritas para su análisis.

3.2 Población

Se seleccionó una muestra de alumnos de primero, tercero, quinto, séptimo y noveno semestres de la carrera de Química de la Facultad de Química de la UNAM. La muestra consistió en un grupo de cada semestre que correspondiera con el currículo de la carrera de Química con excepción del quinto semestre en el que se aplicó el cuestionario a dos grupos. La materia de primer semestre corresponde al tronco común de las diversas carreras que se imparten en la Facultad de Química, todos estos estudiantes son egresados del sistema de Bachillerato y son de primer ingreso por lo que se consideró como muestra al grupo completo independientemente de la carrera que a la que están inscritos. A todo el grupo le fue aplicado el cuestionario. Por último los alumnos de noveno semestre representan toda la población de estudiantes de Química de este nivel escolar.

La distribución de los alumnos es: 25 de primero, 21 de tercero, 16 de quinto, 21 de séptimo y 23 de noveno semestres. La población de estudiantes de la carrera de Química por generación es de 100 alumnos por lo que la muestra representa por lo menos el 25% de la población general. Los estudiantes de esta carrera cursan la materia de "Estructura de la Materia" durante el segundo semestre, en ella se hace una revisión de los modelos atómicos y se introduce de manera conceptual y formal el modelo cuántico.

3.3. Instrumentos

Se diseñaron dos tipos de instrumentos: cuestionarios y guías de entrevistas.

3.3.1 Cuestionarios

A partir de las investigaciones analizadas en el capítulo 2, se observa que existe cierto tipo de fenomenología que ha sido utilizada para encontrar las ideas sobre estructura de la materia de estudiantes de diversos niveles escolares. Es por ello, que se hizo una selección de preguntas de ciertas investigaciones que, por sus resultados, podían llevar a las ideas de los estudiantes sobre estructura de la materia desde distintas aproximaciones que se acercaran a las ideas de los estudiantes desde el aspecto macroscópico hasta los modelos atómicos pasando

por los modelos moleculares. Por otro lado, la intención de encontrar las coincidencias en el uso de modelos discretos y continuos en las explicaciones de los estudiantes planteó la necesidad de construir dos cuestionarios paralelos en los que el uso de estos dos grandes modelos se encontrarán.

Considerando la experiencia del trabajo de Haidar y Abraham⁵, en el que se muestra que las respuestas de los estudiantes presentan concepciones alternativas distintas dependiendo de si la pregunta se plantea en un lenguaje cotidiano o en un lenguaje científico, se diseñaron dos cuestionarios y una guía de entrevista basada en los problemas de los cuestionarios (ver anexo 1).

Los fenómenos que se abordan en los dos cuestionarios son:

1. Estados físicos de la materia: sólidos, líquidos y gases
2. Cambios de fase
3. Disoluciones
4. Emisión de luz y conductividad eléctrica
5. Modelos atómicos

Cada cuestionario consiste de nueve preguntas abiertas: cuatro corresponden a estados físicos de la materia y cambios de fase; tres abordan el problema de la disolución; y dos están relacionadas con emisión de luz, conductividad eléctrica y modelos atómicos. Tan sólo la pregunta nueve del segundo cuestionario es cerrada pero se solicita justificación de la elección.

En el cuestionario uno, las preguntas sobre los fenómenos son abiertas y el lenguaje es coloquial, mientras que en el segundo se requiere de contestar los mismos fenómenos pero fundamentados en el uso de partículas, moléculas o átomos en las explicaciones así como dibujos que complementen las respuestas. En el segundo cuestionario se pide en todo momento que los estudiantes hagan explícito lo que consideran que se encuentra entre las moléculas, esto con la finalidad de que justifiquen si consideran la existencia del vacío como condición dentro de su representación molecular y atómica. Los materiales sobre los que se elaboraron las preguntas son todos conocidos por los estudiantes, así como que los fenómenos han sido observados cotidianamente.

Se tomaron como punto de partida para el diseño de los dos cuestionarios, algunas preguntas utilizadas en las investigaciones de: Novick y Nussbaum⁶ en relación con el estado gaseoso; Haidar y Abraham, sobre las disoluciones;

⁵ Haidar A. Abraham M., (1991) A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (10), pp 919-938

⁶ Novick S., y Nussbaum J., (1978) Junior High school pupils' understanding of the particle nature of matter: an interview study. *Science Education*, 62(3), pp 273-281

Posada⁷ sobre la conductividad eléctrica de los metales; Harrison y Treagust⁸ en la representación de los modelos atómicos; y Bodner⁹ en la explicación del proceso de evaporación del agua. A estas preguntas se incorporaron otras que tienen que ver con la naturaleza de la materia y sus características.

En los dos cuestionarios las cuatro primeras preguntas se refieren a cambios de estado, la primera pregunta corresponde a calentamiento de un gas, la segunda al calentamiento de agua, la tercera comprende la descripción de cambio de sólido a líquido y gas; por último la cuarta es un proceso de sublimación. Las tres preguntas siguientes están referidas al proceso de disolución, en este caso se trata la disolución de azúcar y sal en agua y la mezcla de gis con agua. Las últimas dos preguntas están referidas a hacer explícito el modelo atómico de la materia, la primera pregunta de este grupo consiste en explicar la emisión de luz cuando se calienta un gas o sustancias que son combustibles, la última pregunta de los dos cuestionarios es distinta, en el primero la pregunta enfoca el problema de la conductividad en los metales mientras que en el segundo cuestionario se trata de seleccionar y justificar el modelo atómico de preferencia. Esta última pregunta se encuentra en un trabajo de investigación sobre modelos atómicos de Harrison y Treagust¹⁰ y tiene la finalidad de identificar cuáles son los modelos que el estudiante identifica como elemento de representación de la estructura atómica. Los modelos que se presentan en esta pregunta corresponden a distintas representaciones de los modelos atómicos, mismas que a continuación se describen: El modelo 1 representa el modelo de Bohr, el 2 corresponde al modelo de Bohr-Sommerfeld; el modelo 3 es el modelo de Bohr-Sommerfeld relativizado; los modelos 4 y 5 son representaciones de modelos cuánticos; el modelo 6 hace alusión al modelo de Dalton y los modelos 7 y 8 representan otras representaciones cuánticas del modelo atómico.

Validación de cuestionarios

Los dos cuestionarios fueron analizados por dos expertos para ver su coherencia y consistencia. Para determinar si las preguntas podían ser contestadas por los estudiantes se consultó a profesores de física y química quienes contestaron el cuestionario y expusieron sus opiniones sobre las preguntas. Por último, se aplicaron los cuestionarios a un grupo de segundo semestre de la licenciatura de la Facultad de Química para analizar el tipo de respuestas que se podían obtener.

⁷ Posada J. M., (1997) Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and their Electric Conductions: Structure and Evolution. *Science Education*, 81, pp 445-467

⁸ Harrison A. G., y Treagust D., F., (1996) Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), pp 509-534

Harrison A. G., y Treagust D., F., (2000) Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*. 84, pp 352-281

⁹ Bodner G. M., (1991) I have found you an argument. The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemical Education*, 68 (5), pp 385-388

¹⁰ Harrison y Treagust (2000) *Ibid*

De los resultados de la validación de los cuestionarios se modificaron algunas de las preguntas para hacerlas más claras a los estudiantes así como el número de preguntas que quedó finalmente en el cuestionario.

3.3.2 Entrevistas

Las entrevistas siguieron la secuencia y los problemas planteados en los cuestionarios buscando en todo momento una mayor explicación sobre las ideas que los estudiantes habían contestado durante la aplicación de los cuestionarios. Los conceptos sobre los que se interrogó a los estudiantes fueron:

- ¿Qué existe entre las moléculas?
- ¿Qué ocurre durante los cambios de fase?
- ¿Qué diferencia existe entre las tres fases de la materia?
- ¿Qué diferencia existe entre la disolución del azúcar en agua y la de sal en agua?
- ¿A qué se debe que el gis no se disuelva en el agua?
- ¿Por qué cada compuesto al calentarlo emite colores característicos?
- ¿Cómo se lleva a cabo la conducción de la electricidad en los metales?
- ¿Por qué seleccionaron un modelo atómico?

Durante las entrevistas las preguntas se formularon con base en una revisión más detallada del tipo de representación molecular y atómica que los estudiantes tenían sobre los distintos problemas que se habían presentado en los cuestionarios. Las entrevistas se llevaron a cabo al final del semestre, mientras que la aplicación del cuestionario se aplicó al inicio, es por ello, que en algunos casos los estudiantes explican que han cambiado su representación de los fenómenos. Cada entrevista tuvo una duración entre 60 y 75 minutos, todas ellas fueron audiograbadas y después transcritas para su análisis (anexo 2). Se entrevistaron dos estudiantes por semestre.

3.4 Categorías de análisis

Las dos grandes representaciones que aparecen en la historia sobre la materia podrían dividirse dentro de la continua y la discreta o de partículas. Las respuestas de los estudiantes muestran la existencia de estas dos grandes representaciones mismas que han sido analizadas y documentadas en el capítulo 2.

3.4.1 Categorías para analizar la representación continua

La variedad de modelos que muestran estas investigaciones llevó a Andersson¹¹ a proponer ciertas categorías para entender la transformación de modelos de los estudiantes en función de aquello que consideran sucede durante el fenómeno que se estudian. En este trabajo se retomaron tres de sus categorías (1, 4 y 6) y se definieron tres más (2, 3 y 5) que se consideraron necesarias para la clasificación de las ideas de los estudiantes que tienen una representación continua.

Las categorías que se definieron a partir de las respuestas de los estudiantes para el análisis de la representación continua de la materia son:

1. *Interacción química o generación de una nueva sustancia*: Esta categoría indica la formación de una nueva sustancia por la combinación de otras. Ej.: Al calentar el yodo ocurre una combustión.
2. *Distribución de la materia*: En esta categoría se incluyen conceptos o ideas como el de densidad. Ej.: El aire sube a la superficie del globo y por eso sube.
3. *Conservación de la materia y del equilibrio*: En este caso se incluyen las ideas que establecen una comparación entre distintas variables para llegar a un estado de equilibrio o conservación de la materia. Ej.: El aire fluye al globo para lograr un equilibrio entre la presión del globo y el recipiente.
4. *Desplazamiento*: En este caso el fenómeno es causa del movimiento de la sustancia. Ej.: Las burbujas son de aire dentro del agua, al hervir el agua se mueve y el aire se desplaza.
5. *Características de la materia*: Corresponde a todas aquellas ideas en las que las propiedades de la materia son la causa del fenómeno. Ej.: Sólo el hidrógeno si se calienta emite esos colores.
6. *Modificación*: Esta categoría implica que la sustancia modifica sus características pero sigue siendo la misma. Ej.: El gas se dilata y expande por aumento de energía interna, movimiento y presión; los líquidos se evaporan por el calor del sol.

3.4.2 Categorías para analizar la representación discreta

La mayoría de las respuestas discretas aparecen como respuestas del cuestionario 2. La representación discreta hace referencia a partículas, moléculas, átomos y conceptos relacionados con un modelo de partículas y que corresponderían a distintos momentos de las revoluciones químicas de Jensen así como a los tres niveles que propone para la composición y estructura de la química.

¹¹ Andersson B., (1990) *Op cit*

Para el análisis de las ideas sobre estructura de la materia se construyeron subcategorías que indican la presencia de distintos modelos históricos del modelo atómico: La categoría I está referida al nivel molar (primera revolución química); las categorías II y III se identifican con el nivel molecular y presentan relación con la segunda revolución de la química; las categorías IV y V corresponden al nivel atómico (electrónico para Jensen) y estarían ligadas a los modelos utilizados durante la tercera revolución de la química. A continuación se definen las categorías para la representación discreta tomados de las respuestas de los estudiantes:

- I. *El nivel molar.* La sustancialización lleva a la conclusión del uso de partículas en sus representaciones. Los estudiantes piensan la materia como granos que se dilatan, contraen, cambian de estado, se agrupan y empujan o reacomodan. Las partículas tienen propiedades macroscópicas. Ej.: "Con el aumento de calor las moléculas tienden a expandirse y ocupar más espacio por eso al no tener espacio suficiente en el recipiente el globo se expande".
- II. *El nivel molecular.* La molécula se considera como la unidad que se conserva durante las transformaciones. Molécula como una partícula material cuyo comportamiento está gobernado por las leyes de la mecánica. En este caso los estudiantes se explican los fenómenos utilizando la idea de moléculas como objetos compactos que tienen movimiento, las explicaciones se basan en cambios en el orden y separación de las moléculas. Ej.: "En el estado gaseoso el conjunto de moléculas de agua tiende a estar lo más separado posible en el estado líquido están en relativo orden pero sin una forma definida, a diferencia del sólido".
- III. *El nivel de la estructura molecular.* La molécula sigue siendo considerada como unidad básica de materia pero se incorporan elementos teóricos de interpretación como: movimiento-energía y arreglos de interacción. Las explicaciones en este caso implican el uso del concepto de energía cinética y la presencia de enlaces o fuerzas intermoleculares que en muchos casos se representan como objetos que unen las moléculas. Ej.: "En el estado sólido hay una red cristalina o sea un arreglo compacto de forma definida de moléculas de yodo en donde participa una energía reticular que mantiene a la estructura. Debido al suministro de energía, en el gas, se desordena. El cambio energético vence a la energía reticular lo cual produce una energía cinética y potencial la cual se compensará teniendo que estar la molécula en menor interacción."
- IV. *El nivel atómico.* El átomo es considerado como la unidad básica que se conserva durante las transformaciones, es una partícula material y su comportamiento está regido por las leyes de la mecánica. Las sustancias están formadas por moléculas como el resultado de la combinación de átomos. Ej.: "La sal se disuelve en agua porque se disocia en los iones que la componen, esto es en Na^+ y Cl^- ".

- V. *El nivel de la estructura atómica.* La noción de átomo se considera como unidad básica de materia con categorías de movimiento-energía y arreglos de interacción. El átomo se considera una partícula divisible y con estructura. Ej.: “La corriente se transmite en los metales a través de una corriente de electrones que tienen huecos vacíos en sus orbitales”.

Utilizando las categorías discretas y continuas se llevará a cabo el análisis de las ideas de los estudiantes, de la forma que se describe en el capítulo 4.

Capítulo 4

Resultados de la investigación

En la historia de la estructura de la materia y en las investigaciones sobre ideas previas de los estudiantes se encuentran los dos modelos aplicados a contextos y situaciones específicas. En este capítulo, se presentarán dos grandes apartados (4.1 y 4.2) en la primera se analizarán las ideas de los estudiantes en torno a cambios de estado, disoluciones y dos problemas relacionados con el modelo atómico como son la emisión de luz cuando se quema un gas o un metal y la conductividad eléctrica. A partir de este análisis, se determinarán los modelos de la materia que tienen estudiantes de la carrera de Química de la Facultad de Química de la UNAM. La segunda sección tendrá por finalidad el incorporar los modelos históricos a los modelos ya construidos de los estudiantes. En el apartado 4.3 se presentan los comentarios generales del capítulo.

4.1 La construcción de los modelos de los estudiantes. Resultados y análisis de datos

Los resultados se muestran en cuatro niveles de análisis:

1. Representación continua y discreta de la materia. Por categorías y contexto de la pregunta.
2. Modelos continuos y discretos
3. Representación continua y discreta de la materia
4. Representación de modelos atómicos

4.1.1 Representación continua y discreta de la materia

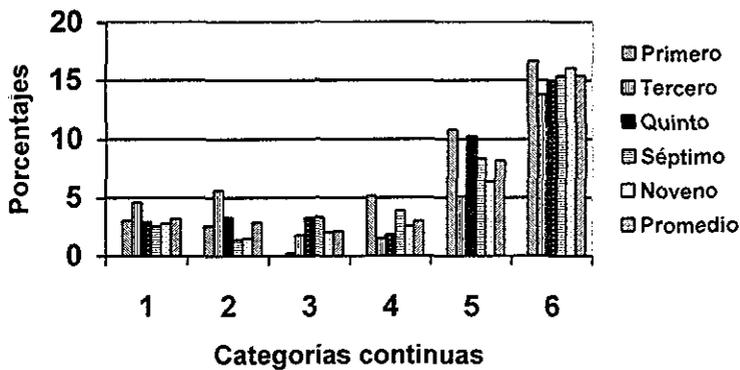
4.1.1.1 Identificación por categorías continuas y discretas por nivel escolar

A cada una de las respuestas de los alumnos, de cada cuestionario se le asignó una sola categoría. En la tabla 4.1 se muestra el porcentaje de las respuestas de los alumnos por semestre y categoría. Estos datos fueron calculados a partir de la frecuencia de respuesta de los estudiantes en los dos cuestionarios.

Tabla 4.1
Representación continua de la materia por categorías

Semestre	Categorías										
	Continuas (%)					Discretas (%)					
	1	2	3	4	5	6	I	II	III	IV	V
Primero	3.1	2.6	0.2	5.2	10.8	16.7	19.3	12.7	4.7	3.3	1.4
Tercero	4.6	5.6	1.8	1.5	5.1	13.8	20.5	17.7	14.8	4.9	2.1
Quinto	2.9	3.3	3.3	1.8	10.3	15.1	15.1	18.0	7.7	5.9	3.3
Séptimo	2.5	1.4	3.4	3.9	8.4	15.4	16.5	19.6	10.4	7	2.8
Noveno	2.8	1.5	2.1	2.6	6.4	16.1	15.4	15.1	14.1	9.2	5.9
Promedio	3.2	2.9	2.2	3.0	8.2	15.4	17.5	16.4	10.4	6.0	3.1

Gráfica 4.1
Categorías continuas

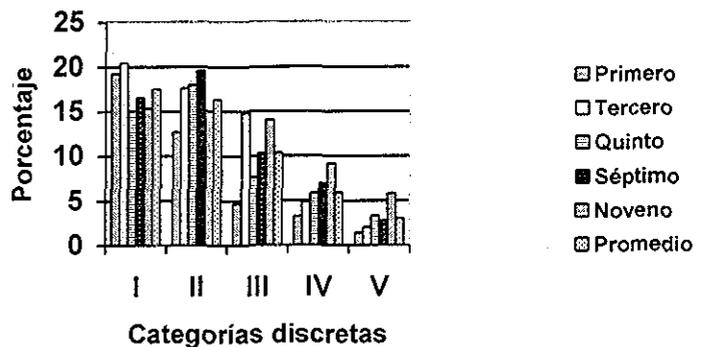


Las gráficas 4.1 y 4.2 corresponden a los datos de la tabla 4.1. En la gráfica 4.1 se observa que no existe gran diferencia entre los porcentajes obtenidos de los cinco semestres escolares investigados, esto implica que la frecuencia de uso de categorías como modificación y características de la materia resulta favorecido por todos los

estudiantes, mientras que categorías como transmutación, distribución de la materia, conservación de la materia y equilibrio; y desplazamiento son menos utilizadas en las explicaciones de los estudiantes de todos los niveles.

La gráfica 4.2 muestra los porcentajes de respuestas discretas de los estudiantes de los cinco semestres

Gráfica 4.2
Categorías discretas



investigados. En esta gráfica se observa que la mayor frecuencia de respuestas en los cinco semestres escolares corresponde al nivel molar (I) y a la primera sección del nivel molecular (II), el segundo nivel molecular (III) es el que presenta mayor diferencia entre los estudiantes de los distintos semestres escolares siendo menores para los primeros semestres y mayores para los de tercero, quinto, séptimo y noveno semestres. Las últimas categorías tienen un porcentaje mucho menor en todos los semestres y las diferencias entre ellos son pequeñas. Sin embargo, puede observarse la presencia de una cierta tendencia en las categorías de respuestas de los estudiantes, a favor de los últimos semestres.

4.1.1.2. Identificación de categorías continuas y discretas por contexto de la pregunta y nivel escolar

Los temas del cuestionario corresponden a distintos temas que pueden ser agrupados en tres diferentes contextos referidos a:

1. Estados físicos de la materia y cambios de estado
2. Disoluciones
- 3 Modelos atómicos de la materia. Emisión de luz y conductividad eléctrica.

En las tablas 4.2, 4.3 y 4.4 se presentan las frecuencias de respuestas de los estudiantes por categorías, semestres y cuestionarios. En la tabla 4.2 se muestran las preguntas de la 1 a la 4 que corresponden al contexto de estados físicos de la materia y cambios de estado; en la tabla 4.3 las preguntas de la 5 a la 7 que corresponden al problema de las disoluciones y en la tabla 4.4 las respuestas de las preguntas de la 8 a la 9 que corresponden a problemas de emisión de luz y conductividad eléctrica.

4.1.1.2.1 Estados físicos de la materia y cambios de estado

En la tabla 4.2 se muestra la frecuencia de respuestas de los estudiantes para este grupo de preguntas. Esta tabla presenta la combinación de categorías de los dos cuestionarios que corresponden a situaciones análogas (ver anexo 3 para valores por grupos de preguntas).

En los tres primeros semestres, las preguntas 2 y 4 son las que presentan porcentajes de estudiantes sin contestar, en los dos cuestionarios. El número de estudiantes que contestaron el primer cuestionario y no lo hicieron en el segundo es mayor. Los estudiantes expresaron que el segundo cuestionario les pareció más complicado por las indicaciones que hacían énfasis en el uso de partículas. La pregunta 3 del cuestionario 1 fue contestada por todos los estudiantes no así la misma pregunta del cuestionario 2 (para ver porcentajes por grupos de preguntas véase el anexo 3)

A continuación se analizará por semestre el porcentaje de respuestas por categoría y semestre.

Primer semestre

Este bloque queda representado por la combinación entre explicaciones, en el nivel molar, molecular y de estructura molecular, sobre modificación de la materia en el cuestionario 1 y en el cuestionario 2. Es mayor el porcentaje de estudiantes que combinan las respuestas de modificación de la materia con el nivel molecular, en donde se considera que las partículas no tienen movimiento y la diferencia en los estados de la materia se encuentra en la separación y distribución de las partículas (moléculas)

Un menor porcentaje de alumnos, de este semestre, muestra el mismo tipo de explicaciones en los dos cuestionarios y corresponden a las categorías de: modificación de la sustancia (7%), nivel molar (8%), nivel molecular (4%) y nivel de estructura molecular (3%).

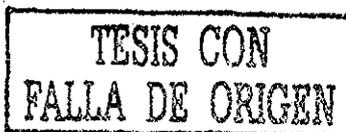
Un porcentaje muy bajo de alumnos (entre 2 y 3 %) utiliza el nivel atómico para expresar sus ideas y en todos los casos (excepto un 1%) los estudiantes utilizan una combinación de categorías continuas, como el desplazamiento y la modificación de la materia. Como se verá más adelante, los alumnos expresan conceptos vinculados al nivel atómico pero de manera equivocada y poco estructurada.

Como puede observarse es mayor el porcentaje de estudiantes que dejan sin contestar preguntas del cuestionario 2.

Tabla 4.2

Porcentajes de respuestas por categorías y cuestionarios para las preguntas correspondientes a los estados físicos de la materia y cambios de estado.

Cuestionario 2															
Cuestionario 1	Sem		s/c(%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	Tota		
													1		
Cuestionario 1	1°	Continuas	S/c	5						1	3			9	
			1							1	1			2	
			2							1					1
			3							1					1
		4	2						1	1	1	3		8	
		6	2				1	7	11	23	10	1		55	
		Discretas	I	1					1		8	1	1		12
			II	1								4	2		7
	III											3		3	
	IV								1	1				2	
	3°	Continuas	S/c	2.2		1.1							2.2		5.4
			1	1.1						1.1		1.1			3.3
			2						1.1		1.1				2.2
			3							1.1	3.3	1.1			5.4
		4								1.1				1.1	
		6	1.1		4.4		1.1	2.2	5.4	13.0	20.7			48.9	
Discreta		I	1.1		1.1				1.1	7.6	1.1	1.1		13.0	
		II			1.1				1.1	1.1	6.5	2.2		12	
	III										8.7		8.7		
	IV														
5°	Continuas	S/c	4.7					1.6			3.1			9.4	
		1							1.6	1.6				3.1	
		2			1.6		1.6				1.6			4.7	
		3								4.7	4.7			9.4	
	4	1.6						1.6	1.6				4.7		
	6	1.6		6.3			1.6	9.4	17.2	15.6			51.6		
	Discreta	II									11			9.4	
		III	3.1		1.6						1.6			6.3	
IV															
S/c										2.4			2.4		
7°	Continuas	1		1.2										1.2	
		2			1.2						1.2			2.4	
		3				1.2		1.2	2.4	4.8	2.4			11.9	
		4	1.2				1.2		3.6	2.4				8.3	
	6	2.4		1.2			4.8	9.5	21.4	11.9			51.2		
	Discreta	I	1.2					1.2		6	6			14.3	
		II			1.2					1.2	1.2	1.2		4.76	
		III										3.6		3.6	
IV															
9°	Continuas	s/c							1.1	1.1	1.1		3.3		
		1	3.3	1.1					3.3	1.1	1.1		20.7		
		3	1.1			1.1			2.2	1.1	2.8		7.6		
		4					1.1	1.1	1.1	1.1	1.1		4.4		
	6	2.2		4.4			4.4	7.6	9.8	9.8		25			
	Discreta	I			1.1					9.8		6.5		17.4	
III		1.1	1.1	6.5									8.7		



Tercer semestre

En este bloque puede observarse la misma combinación de categorías continuas y discretas del semestre anterior. Los porcentajes, sin embargo, indican un mayor uso de los niveles molecular (13%) y de estructura molecular (20.7%) para las respuestas del cuestionario 2 con la categoría de modificación de la sustancia para el cuestionario 1.

En las explicaciones de carácter continuo de la materia puede observarse la combinación de categorías entre modificación y distribución de la materia.

La combinación de conservación y equilibrio de la materia en las respuestas del primer cuestionario están relacionadas con las categorías discretas de los niveles molar, molecular y de estructura molecular.

Es significativo el aumento de estudiantes que utilizan la misma categoría en los dos cuestionarios y como puede observarse la categoría de modificación de la materia presenta el menor porcentaje de ellas (2.9% contra 7.6% para el nivel molar, 6.5% para el nivel molecular y 8.7% para el nivel de estructura molecular). El mayor porcentaje de respuestas con igual categoría se encuentra en el nivel de estructura molecular.

Al igual que en caso anterior es mayor el porcentaje de estudiantes que dejan sin contestar las preguntas del cuestionario 2.

Quinto semestre

En este bloque puede observarse la misma combinación de categorías continuas y discretas de los dos semestres anteriores. Los porcentajes, indican un mayor uso de los niveles molar (9.4%), molecular (17.2%) y de estructura molecular (15.6%) para las respuestas del cuestionario 2 y con la categoría de modificación de la sustancia para el cuestionario 1. Es importante notar que en este semestre en el cuestionario 1 no aparece la categoría molar. Otras combinaciones de categorías continuas y discretas son la de conservación y equilibrio con la del nivel molecular (4.6%) y de estructura molecular (4.7%).

La combinación de categorías continuas que es más utilizada por los estudiantes es la de modificación y distribución de la materia (6.3%).

Las respuestas de los estudiantes que corresponden a la misma categoría discreta en los dos cuestionarios, están en menor porcentaje que en el caso anterior, encontrándose ausente la categoría molar en este caso (1.6% con modificación de la materia y 11% estructura molecular).

En este caso resultan parecidos los porcentajes de los alumnos que dejan sin contestar alguno de los dos cuestionarios. Este semestre presenta el mayor porcentaje de alumnos que dejan sin contestar preguntas de los dos cuestionarios.

Séptimo semestre

Se observa la misma combinación de categorías con mayor porcentaje de respuesta de los alumnos de séptimo semestre. Los porcentajes, indican un mayor uso de los niveles molar (9.5%), molecular (21.4%) y de estructura molecular (12%); para las respuestas del cuestionario 2 y con la categoría de modificación de la sustancia para el cuestionario 1. Otras combinaciones de categorías continuas y discretas son la de conservación y equilibrio con los tres primeros niveles de categorías discretas (2.4% en el nivel molar, 4.8% en el nivel molecular y 2.4% en el nivel de estructura molecular) y de estructura molecular (4.7%).

Entre las combinaciones de categorías discretas distintas se encuentran la molar y la molecular (6% y 1.2%) y entre la molecular con el nivel de estructura molecular (1.2%).

Las respuestas de los estudiantes que corresponden a la misma categoría están en menor porcentaje aun que en el caso de las respuestas de estudiantes de quinto semestre, (4.8% para la categoría de modificación de la materia, 6% para el nivel molar, 1.2% para el molecular y 3.6% para el nivel de estructura molecular). Cabe resaltar que, éste es el primer semestre en el que aparecen respuestas del nivel de estructura molecular en los dos cuestionarios.

En este caso los estudiantes dejaron sin responder ligeramente más preguntas del primer cuestionario que del segundo.

Noveno semestre

Las respuestas de este semestre tienen un mayor porcentaje en tres combinaciones:

- a) Nuevamente la categoría continua de modificación de la materia en el primer cuestionario con categorías discretas de los tres primeros niveles (7.6% para el nivel molar, 9.8% para el molecular y 9.8% para estructura molecular);

- b) La categoría continua de interacción química o generación de una nueva sustancia con los tres primeros niveles discretos (3.3% para el nivel molar, 1.1% para el molecular y 12% para el de estructura molecular); y
- c) La categoría de conservación y equilibrio con las tres primeras estructuras discretas (2.9% para el nivel molar, 1.1% para el nivel molecular y 2.8% para el de estructura molecular).

Entre las combinaciones de categorías continuas se tiene la combinación de las categorías de modificación y distribución de la materia con un 4.4%. Entre las combinaciones de categorías discretas se observa la combinación de categoría molar con la de estructura molecular con un 6.5%.

Las respuestas de los estudiantes que corresponden a la misma categoría están en menor porcentaje aun que en el caso de las respuestas de estudiantes de séptimo semestre y la categoría molecular en este caso está ausente, (4.4% para la categoría de modificación de la materia, 9.8% para el nivel molar, y 6.5% para el nivel de estructura molecular).

Al igual que en el caso de los estudiantes de séptimo semestre es mayor el porcentaje de respuestas sin contestar que aparecen en el primer cuestionario que en el segundo.

Comentarios generales del contexto estados físicos de la materia y cambios de estado

Las respuestas de este bloque son una combinación de la categoría de modificación de la materia en el cuestionario 1 con respuestas de la misma categoría y de categorías discretas de los niveles molar, molecular y de estructura molecular. En los semestres del tercero al séptimo, se observa la presencia de otras combinaciones de categorías continuas como son distribución de la materia y conservación y equilibrio con las mismas categorías discretas anteriores. El noveno semestre, presenta el uso de categorías del nivel de estructura molecular en el cuestionario 1, con respuestas continuas sobre distribución de la materia en el cuestionario 2, este semestre tiene una mayor dispersión en las combinaciones de respuestas de los alumnos.

En los diagramas 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran los porcentajes de mayor valor por nivel escolar y tipos de respuestas. En el diagrama 4.1 se presentan las respuestas que están dentro de las categorías continuas para los dos cuestionarios, en el diagrama 4.2 las respuestas que representan una combinación de categorías continuas y discretas en los dos cuestionarios y en el diagrama 4.3 los alumnos cuyas respuestas son siempre discretas en los dos cuestionarios.

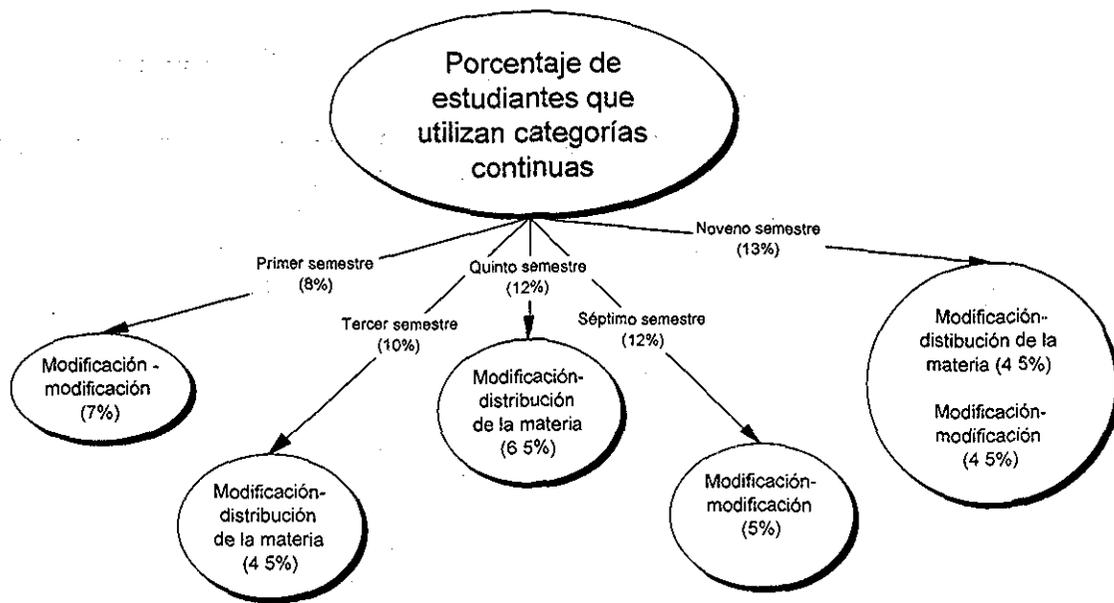


Diagrama 4.1. Porcentajes de estudiantes que utilizan categorías continuas.

En el diagrama 4.1, puede observarse que aquellos estudiantes que utilizan únicamente categorías continuas para responder utilizan de manera preferente la categoría de modificación-modificación. La otra combinación de categorías fue la modificación-distribución de la materia, esta combinación aparece en tercero, quinto y noveno semestres.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

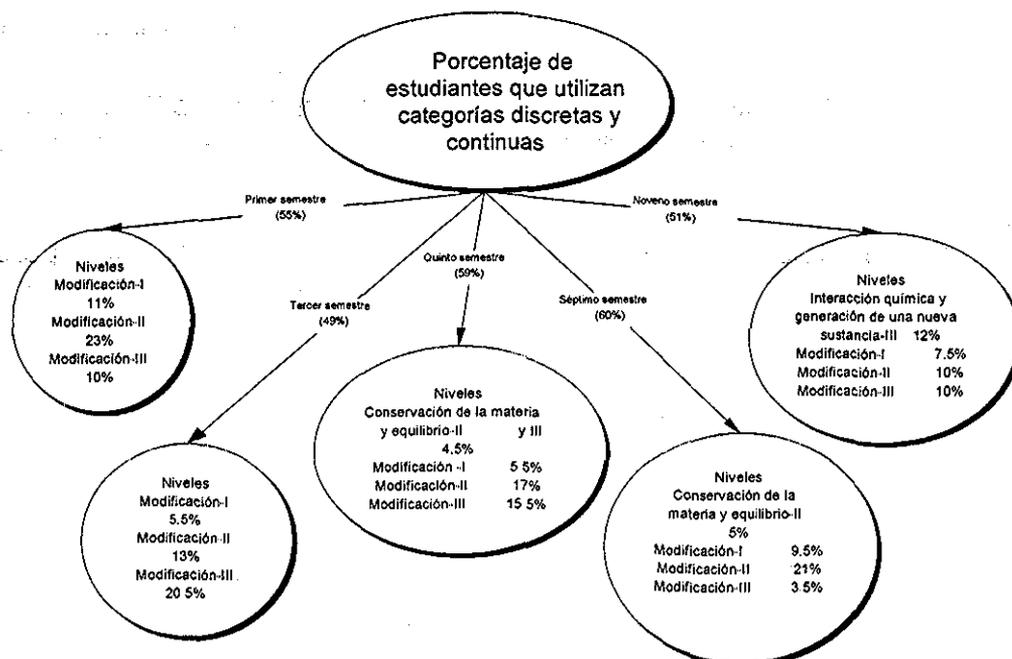


Diagrama 4.2 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías continuas en un cuestionario y discretas en el otro.

En el diagrama 4.2, cuando los estudiantes responden con categorías discretas en uno de los cuestionarios y continuas en el otro, resalta que la categoría continua de modificación está presente en todos los semestres y que recorre los tres primeros niveles de las categorías discretas.

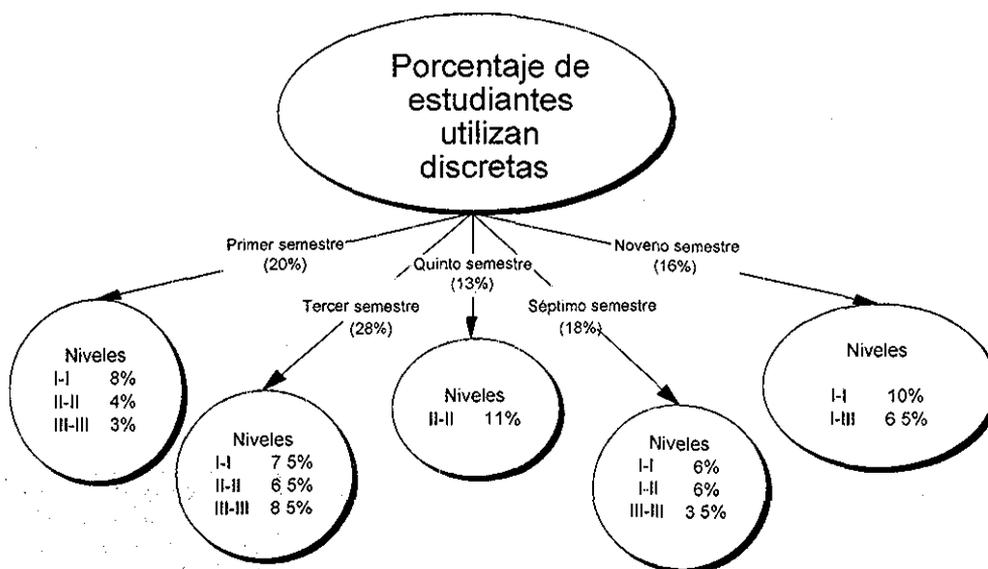


Diagrama 4.3. Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías discretas en los dos cuestionarios

En el diagrama 4.3, si los estudiantes responden con categorías discretas en general el mismo nivel en la categoría se mantiene en los dos cuestionarios, lo que habla de consistencia en el tipo de respuestas. Resalta, sin embargo, que en séptimo y noveno semestre se encuentren combinaciones entre el nivel I y los niveles II y III. Para dar respuesta al segundo cuestionario, en estos últimos casos, se utilizó un mayor nivel de complejidad en las explicaciones.

4.1.1.2.2 Disoluciones

En la tabla 4.3, se muestran las frecuencias de respuestas de los estudiantes para el grupo de preguntas correspondientes a las disoluciones. En esta tabla se presentan la combinación de categorías continuas y discretas de los dos cuestionarios ya que las preguntas corresponden a situaciones análogas y las explicaciones físicas del fenómeno son las mismas para cada par de preguntas (en el anexo 3 pueden observarse estos valores por contexto).

Para este grupo de preguntas en el cuestionario 1 está ausente únicamente el nivel de la estructura atómica mientras que en el cuestionario 2 la categoría ausente es la de interacción química o generación de una nueva sustancia. La mayoría de preguntas sin contestar se encuentra en el cuestionario 1 en todos los semestres (26.7%, 5.8%, 25%, 11.1% y 11.6% de primero a noveno semestre respectivamente), siendo mayor este valor para primero y quinto semestres. A continuación se presentan una síntesis de los resultados de este grupo de preguntas por semestre.

Primer semestre

Las respuestas que tienen un mayor porcentaje son: las combinaciones de la categoría continua de características de la materia con la discreta del nivel molar (16%) y la distribución de la materia con el nivel molar (8%). En el caso de la combinación de dos categorías discretas se encuentra el nivel molar para el cuestionario 1 y el molecular para el cuestionario 2 con un 6.7%.

Las categorías de las respuestas que conservan la misma categoría en los dos cuestionarios son: características de la materia (6.7%), modificación de la materia (1.3%), nivel molar (4%), nivel molecular (1.3%) y el nivel atómico (2.7%).

Tabla 4.3
Porcentajes de respuestas por categorías, cuestionarios para las preguntas correspondientes a las disoluciones.

		Cuestionario 2														
		S e m	s/c (%)	2 (%)	3 (5)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Tota I (%)		
Cuestionario 1	Conti-nuas	1°	s/c	6.7					5.3						12	
			2	1.3					8	1.3		2.7			13.3	
			4						4							4
			5	9.4				6.7	2.7	16	4	1.3	2.7			42.7
			6	5.3					1.3							6.7
			I	2.7						4	6.7			1.3		14.7
			II							1.3	1.3					2.7
	Discre-tas	3°	IV	1.3									2.7		4	
				s/c										3		2.99
				2		3				10.2	1.5					14.5
				3								1.5				1.5
				5	1.5				1.5	1.5	4.4	5.8	1.5			15.9
				6	1.5					1.5	1.5					4.4
				I	1.5						10.2	4.4	7.3			
	Discre-tas	5°	II	1.5							11.6	4.4	1.5		18.9	
				III							2.9	4.4			7.3	
				IV							1.5			8.7	1.55	11.6
				s/c						2.1						2.1
				3			2.1								2.1	4.2
				5	18.8						22.9	6.3				47.9
				6							4.2		0.			4.2
	Discre-tas	7°	I	4.2						8.3					12.5	
				II						4.2	8.3	2.1			14.6	
				III						2.1		2.1			4.2	
				IV	2.1						2.1			6.3	10.4	
				s/c	3.2											4.8
				1			1.6									1.6
				4				1.6								1.6
Discre-tas	9°	5	4.8				3.2		14.3	11.1	3.2	1.6		38.1		
			6					1.6	1.6			1.6		4.8		
			I	1.6						1.6				3.2		
			II	16					16	12.7	3.2	1.6		20.6		
			III							4.8	4.8	3.2		12.7		
			IV	4.8								3.2	4.8	12.7		
			s/c	2.9					1.5		5.8				10.2	
Discre-tas	Conti-nuas	2							1.5					1.5		
			5	1.5				4.4		4.4	11.6			21.7		
			6	1.5						1.5	1.5			4.4		
			I	1.5						2.9				4.4		
			II	2.9						1.5	18.8		1.5	24.6		
			III							1.5		5.8		7.3		
			IV	1.5					1.5	1.5	2.9		18.8	26.1		

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tercer semestre

En este semestre las respuestas que son la combinación de categorías continuas y discretas en los dos cuestionarios son: distribución de la materia y el nivel molar (10.2%) y características de la materia y el nivel molar (4.4%). Hay también respuestas que muestran una combinación de categorías discretas como son: el nivel molar y el nivel molecular (4.4%), el nivel molar y el de estructura molecular (7.3%) y el nivel de estructura molecular y el nivel atómico (4.4%).

En este caso un alto porcentaje de respuestas están en la misma categoría discreta pero con distinto nivel: el nivel molar, 10.2%; el nivel molecular, 11.6%; el nivel de estructura molecular, 4.4%; y el nivel atómico, 8.7%.

Quinto semestre

En este semestre las respuestas que combinan categorías continuas y discretas en los dos cuestionarios son: características de la materia y el nivel molar (22.9% que es el porcentaje más alto de toda la muestra en esta categoría), características de la materia y el nivel molecular (6.3%) y modificación de la materia y el nivel molar (4.2%).

Entre las respuestas que presentan una combinación de categorías discretas se encuentra estructura molecular y el nivel molar (4.2%).

Las categorías que se conservan como respuesta en este bloque son: el nivel molar (8.3%), el nivel molecular (8.3%), el nivel de estructura molecular (2.1%) y el nivel atómico (6.3%).

Séptimo semestre

Nuevamente la combinación de categorías continuas y discretas de características de la materia con el nivel molar (14.3%), el nivel molecular (11.1%) y el nivel de estructura molecular (3.2%) están presentes. La combinación de categorías discretas corresponde a: el nivel molecular y el de estructura molecular (3.2% y 4.2%) y el de estructura molecular con el nivel atómico (3.7% en los dos casos).

Las categorías que se mantienen constantes en las respuestas de este grupo de preguntas son: el nivel molecular (12.7%) el nivel de estructura molecular (4.8%) y el nivel atómico (4.8%).

Noveno semestre

La combinación de categorías continuas y discretas es la que corresponde a características de la materia con el nivel molar (4.4%) y con el nivel molecular (11.6%).

Las categorías que se mantienen constantes en las respuestas de este bloque de preguntas son: características de la materia (4.4%), el nivel molar (2.9%), el nivel molecular (18.8%), el nivel de estructura molecular (5.8%) y el nivel atómico (18.8%).

Comentarios sobre el grupo del contexto de disoluciones

De acuerdo al porcentaje de respuestas, éstas cambian de categorías de acuerdo al semestre, así en primero el mayor número de respuestas está en nivel molar, conforme avanzan los semestres se amplían las respuestas hacia los niveles moleculares y el atómico en los dos cuestionarios. Es también importante considerar que la categoría continua que aparece en las respuestas del cuestionario 1 es la que se refiere a las características de la materia y que el porcentaje aumenta en los niveles de estructura molecular y atómico en los dos últimos semestres escolares.

En los diagramas 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran los porcentajes de mayor valor para estudiantes que contestan siempre con categorías continuas o discretas en los dos cuestionarios y los que utilizan categorías continuas en un cuestionario y discretas en el segundo cuestionario.

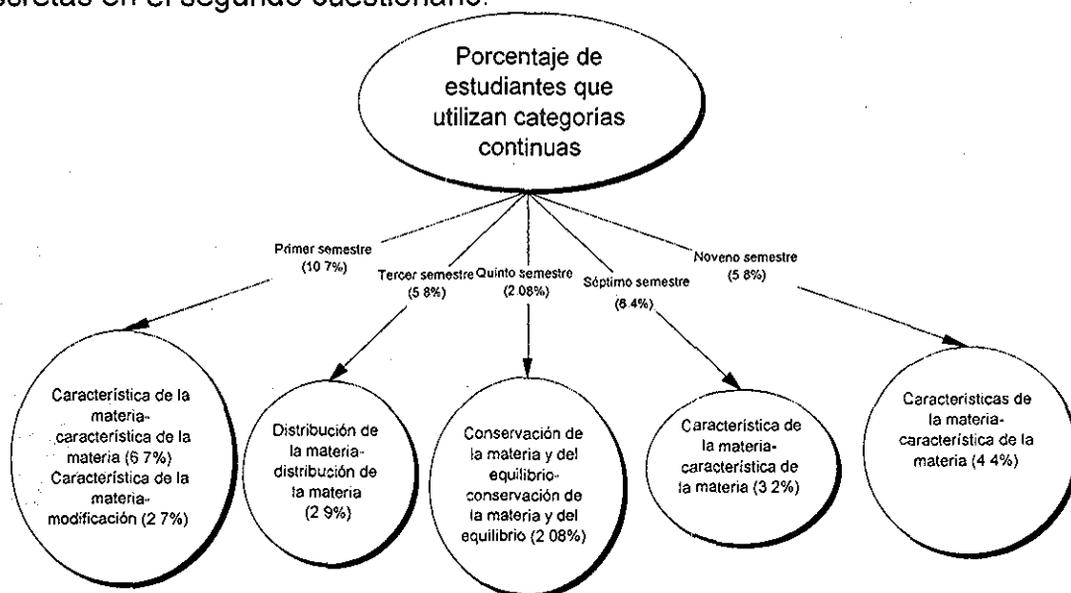


Diagrama 4.4. Porcentaje de estudiantes cuyas respuestas son continuas en los dos cuestionarios

En el diagrama 4.4, se observa que la categoría continua que es utilizada por la mayoría de los estudiantes en todos los niveles es característica de la materia misma que aparece combinada con la de modificación en séptimo semestre. En el primer semestre la categoría utilizada es de distribución de la materia mientras que en noveno combinaciones de conservación de la materia y del equilibrio es más utilizada. En todos los casos las respuestas tienen muy bajos porcentajes lo que indica que la mayoría de los estudiantes al responder las preguntas sobre disoluciones no utilizan únicamente una representación continua de la materia.

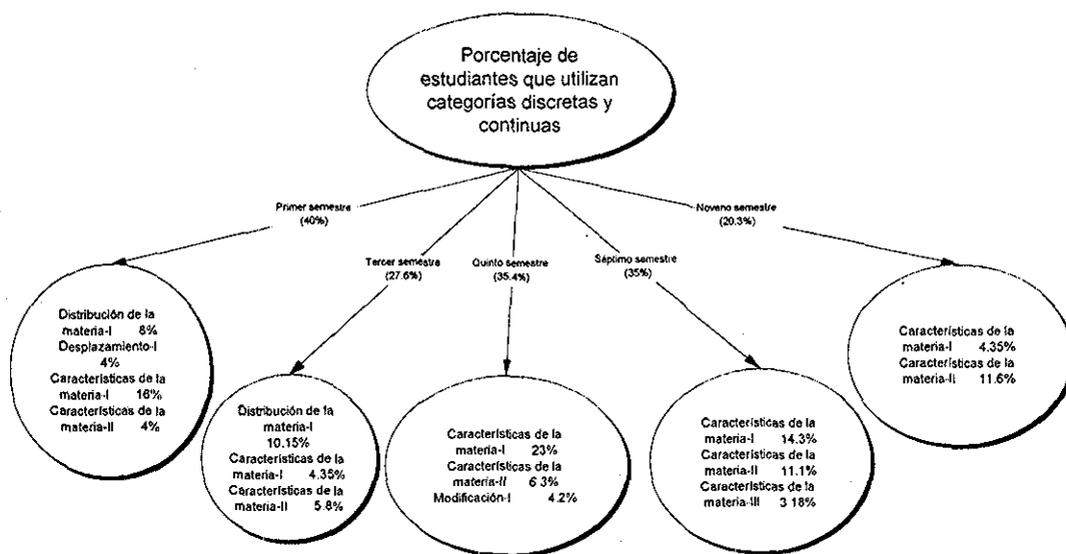


Diagrama 4.5 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías continuas en un cuestionario y discretas en el segundo

En el diagrama 4.5, el porcentaje de estudiantes que utilizan los dos tipos de representación es mayor que el anterior, las categorías continuas que son más utilizadas son características de la materia que se combina con los tres primeros niveles de las categorías discretas. En primer semestre aparecen categorías como: distribución de la materia y desplazamiento combinada con el nivel molar y en el quinto semestre la categoría de modificación combinada con el nivel molar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

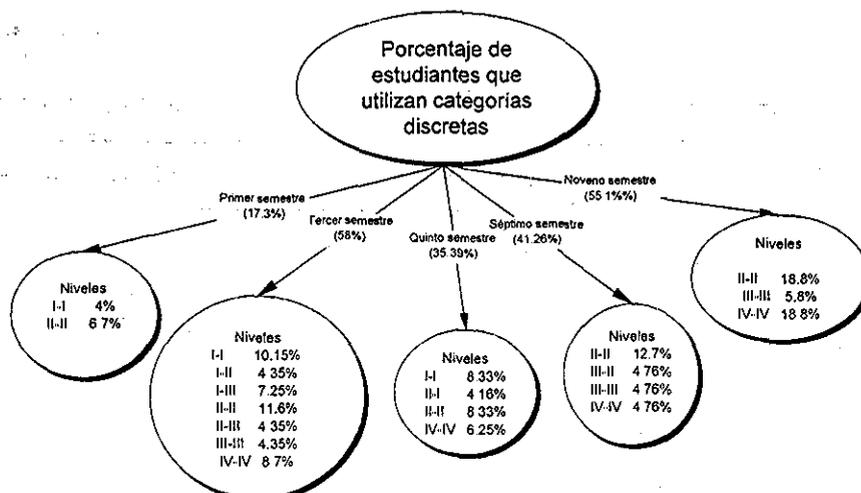


Diagrama 4.6 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías discretas en las respuestas de los dos cuestionarios.

En el diagrama 4.6, con excepción de los estudiantes de primer semestre, un alto porcentaje de ellos, contesta este bloque de preguntas utilizando categorías discretas. Los estudiantes de primer semestre usan únicamente los dos primeros niveles discretos y no presentan combinación de niveles. Un caso particular, por la cantidad de combinaciones en los niveles de respuestas, lo presentan los alumnos de tercer semestre, mientras que en los últimos es notorio que el nivel molar desaparece y aumenta significativamente el porcentaje de respuestas que caen dentro del nivel atómico.

4.1.1.2.3 Emisión de luz y conductividad eléctrica

En la tabla 4.4 se muestran las frecuencias de respuestas de los estudiantes para el grupo de preguntas correspondientes a los modelos atómicos. En esta tabla se presentan la combinación de categorías continuas y discretas de los dos cuestionarios, ya que las preguntas corresponden a situaciones análogas y las explicaciones físicas del fenómeno son las mismas, para cada par de preguntas 8 de los dos cuestionarios y de la pregunta 9 del primer cuestionario (en el anexo 3 pueden observarse estos valores por contexto).

En este grupo el porcentaje de preguntas sin contestar es el mayor. En particular, el primer semestre presenta el 79% de estudiantes que no contestaron en alguno de los dos cuestionarios. En los siguientes semestres el porcentaje, que es ligeramente menor, va del 37.5% para el quinto semestre hasta el 52.2% para el tercer semestre. Los dos últimos semestres analizados (séptimo y noveno semestres) tienen valores de 45.2% y 47.8% respectivamente que continúan siendo muy altos.

Tabla 4.4
Porcentajes de respuestas por categorías, cuestionarios para las preguntas correspondientes a los modelos atómicos

		Cuestionario 2													
		Sem	s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)		
Cuestionario 1	Continuas	1°	s/c(%)	30	2				2					34	
			1 (%)	14	4									18	
			4 (%)	16					2					18	
			5 (%)	8				4						12	
			6 (%)							2				2	
			I (%)	6	2				2					10	
	Dcretas		V (%)	2									4	6	
	Continuas	3°	s/c (%)	2.2									2.2	4.4	
			1 (%)	13.0	6.5						4.4	2.2		26.1	
			2 (%)	2.2										2.2	
			4 (%)	8.7										8.7	
			5 (%)	8.7					4.4					13.0	
			I (%)	15.2	2.2				4.4		4.4	2.2	6.5	34.8	
		Disc		IV (%)		2.2									2.2
				V (%)	2.2	2.2								4.4	8.7
	Continuas	5°	s/c (%)	12.5										12.5	
			1 (%)	6.3	3.1				3.1				3.1	15.6	
			4 (%)										3.1	3.1	
			5 (%)	9.4								3.1		12.5	
			6 (%)	3.1	3.1							3.1		9.4	
			I (%)	6.3	3.1				3.1		3.1			15.6	
Disc			IV (%)							3.1		6.4		12.5	
			V (%)								3.1	3.1	12.5	18.8	
Continuas	7°	s/c (%)	4.8										4.8		
		1 (%)	9.5						2.4	2.4			14.3		
		4 (%)	2.4									2.4	7.1		
		5 (%)	7.1										7.1		
		6 (%)						2.4	2.4				4.8		
		I (%)	16.7							4.8	2.4	4.8	4.8	33.3	
	Disc		IV (%)	4.8								9.5		14.3	
			V (%)	2.4									11.9	14.3	
Continuas	9°	s/c (%)	6.5								2.2		11.7		
		1 (%)	10.9									4.4	15.2		
		4 (%)	6.5						2.2			2.2	10.9		
		5 (%)	4.4						2.2				6.5		
		6 (%)										2.2	2.2		
		I (%)	8.7								2.2	6.5	17.4		
	Disc		IV (%)	2.2								2.2	2.2	6.5	
			V (%)	8.7							4.4	2.2	34.8	32.6	

Es importante considerar que hay categorías continuas y discretas ausentes en las respuestas de los estudiantes de todos los semestres escolares y en los dos cuestionarios. Las categorías continuas que no aparecen son: distribución de la



materia y conservación de la materia y equilibrio; la categoría de desplazamiento está ausente en las respuestas de los estudiantes en el segundo cuestionario. Por su parte, las categorías discretas que no se encuentran son: el nivel molecular y el nivel de la estructura molecular. Lo anterior sugiere que los estudiantes ubican los problemas de conductividad eléctrica y emisión de luz directamente con problemas que están relacionados con modelos atómicos.

Primer semestre

Las respuestas de estas preguntas corresponden a categorías continuas en los dos cuestionarios (16% del total de 21% de las respuestas). Por otro lado, es importante resaltar que las respuestas se ubican en la misma categoría en los dos cuestionarios. Estas categorías son interacción química y características de la materia y una discreta que corresponde con el nivel de la estructura atómica.

Tercer semestre

Las respuestas de los alumnos que combinan categorías continuas y discretas son: interacción química o generación de una nueva sustancia y el nivel molar (4.4%) y el nivel atómico (2.2%); características de la materia y el nivel molar (4.4%).

Los mayores porcentajes de respuesta corresponden a la categoría de interacción química o generación de una nueva sustancia y el nivel molar (4.4%) en el cuestionario 1, e interacción química o generación de una nueva sustancia y el nivel de estructura atómica (6.5%) y características de la materia y el nivel molar (4.4%) para el cuestionario 2.

Las respuestas de los alumnos que coinciden en los dos cuestionarios son: interacción química o generación de una nueva sustancia (6.5%), características de la materia (4.4%), el nivel molar (4.4%) y el nivel de estructura atómica (4.4%).

Quinto semestre

En este semestre el porcentaje de alumnos sin contestar en alguno de los dos cuestionarios es el menor de los cinco semestres investigados, si bien continua siendo muy elevado (37.5%). Sin embargo la dispersión de las respuestas es muy grande. La mayor frecuencia de respuestas se encuentra en las categorías discretas que coinciden en los dos cuestionarios y corresponden al nivel atómico (6.4%) y el nivel de la estructura atómica (12.5%) lo que sugiere que estos alumnos presentan una perspectiva sobre estructura de la materia similar independiente del tipo de pregunta y del contexto en el que se presenta.

Séptimo semestre

En este caso la mayor frecuencia de respuesta en el cuestionario 1 se encuentra en las categorías discretas: el nivel molar, el nivel atómico y el de estructura atómica. En el cuestionario 2 la mayor frecuencia de respuestas se encuentra en los niveles atómicos y de estructura atómica.

Las respuestas que se encuentran en la organización de categorías continuas y discretas corresponden a la categoría de modificación y el nivel molar (4.8%). Las respuestas que coinciden en los dos cuestionarios son: modificación (2.4%), el nivel molar (2.4%), el nivel atómico (9.5%) y el nivel de estructura atómica (11.9%).

Noveno semestre

En este caso se resalta que la mayoría de las respuestas se encuentran en el nivel de estructura atómica en las respuestas de los dos cuestionarios. Es significativo que el 34.8% de las respuestas de los estudiantes coinciden en esta categoría en los dos cuestionarios. La combinación entre el nivel molar y el nivel de estructura molecular (6.5%, 4.4%) resulta ser la más frecuentemente utilizada por los estudiantes.

Lo anterior implica que la respuesta de los estudiantes de éste semestre resulta ser menos dispersa y ubicada dentro del nivel de estructura atómica.

Comentarios sobre el grupo del contexto modelos atómicos de la materia

En este grupo se resaltan dos puntos: por un lado la alta frecuencia de preguntas sin responder en todos los niveles y por el otro, la diferencia en el tipo de categorías en las respuestas de los alumnos de los distintos niveles escolares. Los alumnos de séptimo y noveno semestre presentan una mayor coincidencia en las respuestas de los dos cuestionarios.

En los diagramas 4.7, 4.8 y 4.9 se presentan los porcentajes de mayor valor que corresponden a las respuestas solo continuas o discretas en los dos cuestionarios y aquellos cuya respuesta es continua en uno de ellos y discreta en el otro.

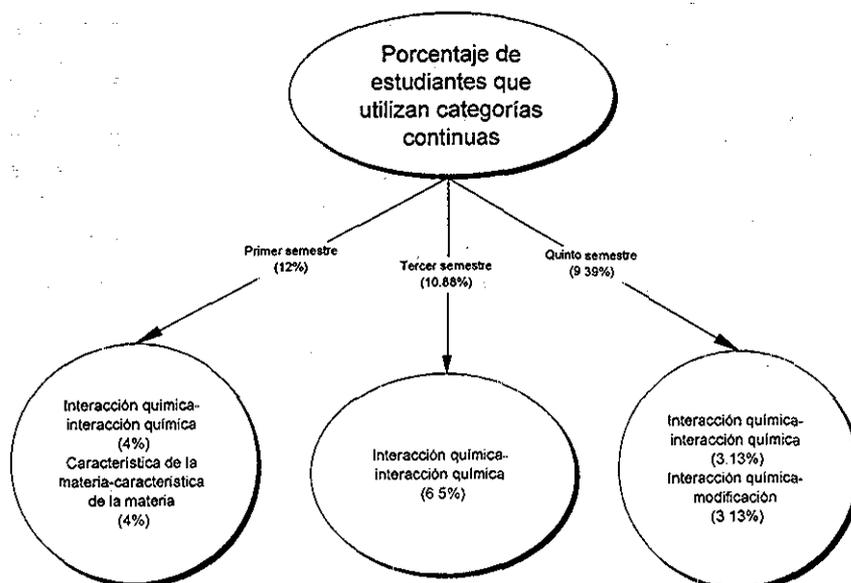


Diagrama 4.7 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías continuas en los dos cuestionarios

En el diagrama 4.7, se observa que en el séptimo y noveno semestres están ausentes en el uso de categorías continuas y que los porcentajes de respuestas con estas categorías son bajos en los tres niveles restantes. Por otro lado, la característica que se utiliza con mayor frecuencia es la de interacción química o transmutación de la materia ya que aparece en los tres semestres que se presentan.

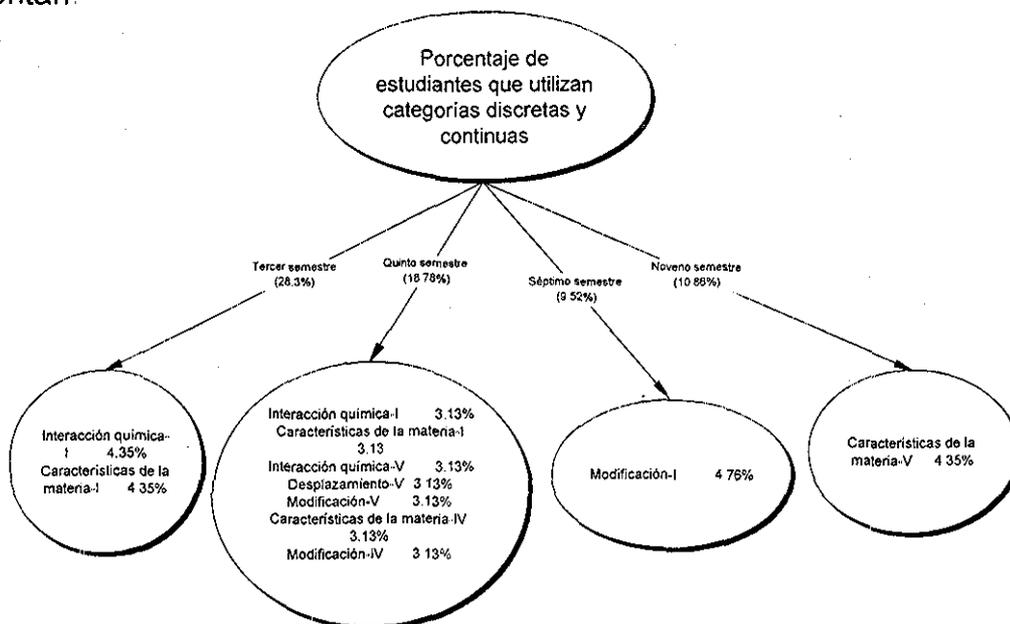


Diagrama 4.8 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías continuas en un cuestionario y discretas en el otro.

En el diagrama 4.8, los estudiantes que utilizan categorías combinadas se resalta en primer lugar la ausencia del primer semestre escolar. Las categorías continuas más utilizadas son las de interacción química y características de la materia, encontrándose en menor cantidad las que corresponden a modificación y desplazamiento. En cuanto a las categorías discretas corresponden a los niveles I, IV y V. Los niveles moleculares están ausentes en las respuestas a este tipo de problemas

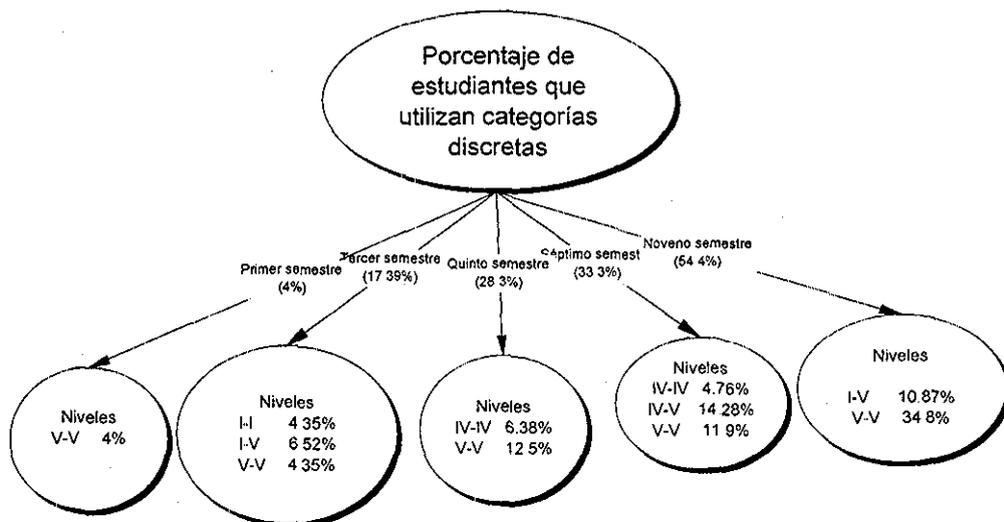


Diagrama 4.9 Porcentaje de estudiantes que utilizan categorías discretas en los dos cuestionarios.

En el diagrama 4.9, los niveles de categorías discretas que se utilizan son el I, IV y V resaltando que están ausentes los niveles moleculares en las respuestas de este tipo de problemas. Con frecuencia los niveles de respuesta son constantes, existen algunas combinaciones entre los niveles de categorías entre ellas las más frecuentes están entre los niveles IV y V y los niveles I y V.

4.1.2 Modelos continuos y discretos

A continuación se expone una síntesis de las ideas de los alumnos por semestre, categoría y contexto. Por cada semestre se presentan dos tablas una para las categorías continuas y otra para las categorías discretas. Cada una de ellas presenta de manera general las ideas expresadas por los alumnos de toda la muestra por semestre y por contexto. Lo anterior implica que las ideas ahí presentadas no corresponden a las ideas expresadas por alguno o todos los alumnos. En general las respuestas de los alumnos son una parte de esta síntesis.

Al final de cada una de estas tablas aparece lo que se señalará como el o los modelos que representan las ideas principales de los alumnos de cada semestre, este modelo fue generado a partir de la información de la tabla y de la frecuencia de respuesta que se muestra en las tablas del inciso 4.1.1 que se presentan por contexto y cuestionarios.

Primer semestre

En las tablas 4.5 y 4.6 se presenta las ideas sobre los temas de cambios de estado, disoluciones, emisión de luz y conductividad eléctrica. En los cuadros se presenta un resumen que representa las ideas expresadas por los estudiantes y que corresponden a la clasificación asignada.

CEC. Modelo continuo de los estados físicos de la materia y cambios de estado

1.CEC La materia cambia de estado por el aumento de temperatura, lo que produce el cambio en algunas magnitudes físicas como su densidad, presión y el volumen. Los gases son menos densos que los líquidos y los sólidos por lo que tienden a subir en forma de burbujas. Los líquidos en presencia de calor pueden presentar movimientos de convección lo que simplemente libera el gas disuelto en el líquido.

CD. Modelo continuo de las disoluciones

1.CD El agua es el disolvente universal por ello la sal y el azúcar se disuelven en ella. El soluto y el disolvente se unen por las características propias de cada uno de ellos, algunas propiedades físicas como su electronegatividad y su densidad pueden ser importantes durante el proceso de disolución. Para algunos alumnos existen otros factores que intervienen en la disolución como son la cantidad, la densidad y el peso del soluto que debe ser menor que del disolvente.

Modelos continuos de la producción de luz en una explosión y la conductividad eléctrica

CL. Emisión de luz

1.CL Si los materiales se exponen a un aumento en la cantidad de calor se queman al entrar en contacto con el oxígeno lo que produce una reacción de la que se desprenden colores.

CCE. Conducción de la electricidad en metales

1.CCE Los metales son buenos conductores de la electricidad ya que tienen carga negativa. Las cargas (electrones en algunos casos) de la batería o pila se mueven de lo positivo a lo negativo.

Tabla 4.5
Categorías continuas
Síntesis de las ideas de los alumnos de primer semestre por contexto y subcategoría

Estados físicos de la materia y cambios de estado		Modelos atómicos de la materia	
	Disoluciones		
1. Interacción química o generación de una nueva sustancia	Con el aumento en la cantidad de calor hay una reacción y esto produce oxidación o se presenta un proceso de combustión.	La mayor cantidad de calor produce una reacción que se identifica por la luz de color. La combustión se considera como una reacción. En algunos casos los gases como el oxígeno o mezclas como la pólvora son los elementos que reaccionan con el calor y producen el color.	
2. Distribución de la materia		La disolución es una relación entre la cantidad de soluto y de disolvente, en general el soluto debe estar en menor cantidad. La forma y la densidad del soluto que debe ser menor que la del disolvente son importantes en la disolución.	
3. Conservación de la materia y del equilibrio	Con el aumento de temperatura hay desprendimiento del oxígeno que está disuelto en el agua.		
4. Desplazamiento	El calor produce en la materia movimiento por convección con lo que se libera o desprende gas que en ocasiones está especificado como oxígeno. Para algunos estudiantes este movimiento es causado por el aumento de volumen y disminución de la presión dentro o fuera de un recipiente. En algunas ocasiones esta disminución se presenta en la cantidad de materia, o bien utilizan el concepto de densidad para establecer algún sistema de equilibrio y explicar la flotación de un globo.	Las explicaciones sobre disolución dependen de peso y densidad del soluto y del disolvente. Si hay diferencia en estas cantidades no hay disolución.	La conductividad en los metales se debe al movimiento de energía o cargas que proviene de una batería o fuente. Este movimiento tiene un sentido de lo positivo a lo negativo. Algunos alumnos hacen la aclaración de que los metales conducen electrones.
5. Características de la materia		La disolución en el agua se lleva a cabo porque el agua es un disolvente universal. Sin embargo el agua no puede disolver al gis por sus características. En el proceso interno de la disolución el disolvente y soluto se unen, en algunos casos se refieren algunas características específicas como son la electronegatividad o la densidad del soluto.	La conductividad en los metales se debe a la presencia de carga negativa en ellos. Los metales son buenos conductores por lo que no se requiere de otra explicación. Los colores se producen por el aumento de temperatura o porque el metal se quema.
6. Modificación	Las explicaciones sobre cambios de estado o la presencia de burbujas de agua y oxígeno durante la ebullición son en algunos casos el resultado directo del aumento de temperatura, en otros se deben a la presencia de variaciones en otras cantidades físicas como son la presión, el volumen, el espacio y la densidad.	La disolución del soluto en el disolvente depende de la solubilidad. El agua deshace al soluto. En algunos casos se justifica la disolución con base en una relación entre el soluto y el disolvente	Con el aumento de calor los materiales reaccionan y producen luz de color.

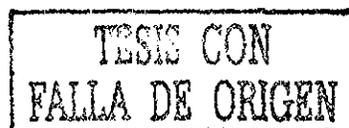


Tabla 4.6

Categorías discretas

Síntesis de las ideas de los alumnos de primer semestre por contexto y categoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
I. El nivel molar	<p>Con el aumento en la cantidad de calor se producen distintos efectos en las moléculas como son: dilatación o expansión, rompimiento (en particular de puentes de hidrógeno), en su peso ya que se hacen más ligeras, se condensan y disminuyen su densidad. Si se presenta rompimiento por lo general se piensa que hay liberación de agua, oxígeno y gas.</p> <p>En general las moléculas son vistas con cierto arreglo, su separación aumenta con el aumento de calor lo que hace que haya menor atracción entre las moléculas y disminuyan algunas características como la densidad y la presión. Otro aspecto importante de resaltar es el movimiento de las moléculas, en algunos casos se considera que las moléculas están estáticas mientras que para otros estudiantes las consideran en movimiento. El movimiento aumenta con la cantidad de calor lo que las hace ocupar mayor espacio. Para algunos alumnos la separación no se presenta entre moléculas sino entre átomos.</p>	<p>La disolución para algunos alumnos es la recombinación o distribución del soluto en el agua. La disolución se lleva a cabo si el número de moléculas de soluto es menor que las de disolvente o bien hay una relación de proporción entre las moléculas del soluto y disolvente.</p> <p>Las moléculas disueltas interactúan atrayéndose como imanes. En la disolución hay un rompimiento de enlaces de las moléculas de agua y del soluto formándose nuevos enlaces en los que las moléculas comparten electrones de acuerdo a su nivel de energía.</p> <p>Algunas de las condiciones para que se lleve a cabo la disolución son: densidad, tamaño y peso del soluto.</p> <p>En la disolución de sal en agua en algunos casos se menciona la presencia de iones de sodio y cloro de la sal que son separados por la acción polar del agua. Para algunos alumnos los enlaces del agua se rompen y cada molécula de agua se une con una de sal. Mientras que para otros los iones de sal y las moléculas de azúcar se intercalan en los huecos del agua. En el caso de la disolución de azúcar en agua, se alude a la similitud de estructuras entre el azúcar (grupos O-H) y el agua (H-O-H).</p>	<p>La conducción de la electricidad es el movimiento de un flujo de electrones, el movimiento tiene una dirección preferente (puede ser del negativo al positivo o en sentido contrario). Los electrones que se mueven salen de la fuente.</p> <p>Los electrones que se mueven están en las últimas órbitas ya que la fuerza de unión es menor.</p> <p>Los colores se producen porque los electrones al recibir mayor energía por efecto del calor suben de nivel energético lo que produce cierta longitud de onda y por tanto cierto color.</p>
II. El nivel molecular	<p>El aumento de la cantidad de calor produce los cambios de estado porque aumenta en las moléculas: separación, energía cinética, movimiento, velocidad y número de choques, por lo que disminuye su fuerza de cohesión y aumentan las fuerzas de repulsión hasta alcanzar distintas densidades y volumen en las distintas fases. En algunos casos se menciona un cambio de estructura de cristal en el sólido a superficie en el líquido y sin estructura en el gas.</p>		
V. El nivel de estructura atómica			<p>La luz de colores se debe a la absorción y emisión de energía que se transmite a los átomos. Mayor calor produce un aumento en la excitación de los electrones que salen y regresan a su estado basal emitiendo una cierta longitud de onda.</p>



Ideas sobre el vacío

En las respuestas de los estudiantes no se hizo explícito si el vacío está presente en su modelo discreto. Sin embargo de sus respuestas se puede inferir que el vacío no está considerado dentro del modelo como una condición necesaria.

DEC. Modelo discreto sobre estados físicos de la materia y cambios de estado

1.1 DEC El aumento de calor produce en las moléculas algunos cambios macroscópicos como son la dilatación, expansión, cambios en su peso, disminución en su densidad y rompimiento de puentes de hidrógeno. Si hay rompimiento se libera agua, oxígeno o algún otro gas. La materia presenta cierto arreglo mismo que cambia con el aumento de temperatura en cuando a separación de las moléculas, el movimiento cambia considerándose en general que aumenta lo que le permite ocupar un mayor espacio y disminuir algunas características físicas como la presión y la densidad.

1.2 DEC El aumento de temperatura implica un aumento en la separación de las moléculas, la energía cinética, el movimiento, la velocidad, el número de choques, disminuye la fuerza de cohesión entre las moléculas y aumentan las fuerzas de repulsión lo que cambia algunas características de la materia como son la densidad y el volumen. Por otro lado, también se menciona la existencia de una estructura cristalina para el sólido, misma que desaparece en el caso del gas mientras que en el líquido se considera como un estado en transición.

DD. Modelo discreto para las disoluciones

1.1 DD La disolución es un proceso de redistribución y combinación entre las moléculas del soluto y las del disolvente. Por ello durante el proceso se rompen los enlaces del soluto y del disolvente y se forman nuevos enlaces entre ellas al compartirse electrones de acuerdo a su nivel de energía. Para que se lleve a cabo la disolución debe haber menos cantidad (número de moléculas) de soluto que de disolvente o bien tener una relación proporcional. Algunos estudiantes consideran que las características del soluto como son su densidad y tamaño resultan importantes para que la disolución se lleve a cabo. En general, el tamaño del soluto disminuye durante la disolución.

1.2 DD En el caso particular de la disolución de la sal la acción polar del agua separa los iones de sodio y cloro de la sal, algunos mencionan que los enlaces del agua se rompen de tal forma que cada molécula de agua se une a un ión de sal o bien para otros los iones se intercalan entre los huecos del agua. El caso del azúcar es distinto ya que la disolución se

presenta por la similitud de las estructuras del azúcar (grupos O-H) y del agua (H-O-H).

Modelo discreto de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

DL Emisión de luz

1.1 DL Los colores de la luz durante una explosión o por efecto del calentamiento de un gas se deben a que los electrones aumentan su nivel energético lo que produce cierta longitud de onda que corresponde al color que se observa.

1.2 DL Para pocos alumnos los colores que se observan durante el calentamiento de un gas se debe a que los electrones absorben energía que se transmite a los átomos lo que produce una excitación en sus electrones que salen y regresan de su estado basal emitiendo cierta longitud de onda.

DCE. Conducción de la electricidad en metales

1. DCE La conductividad eléctrica se debe al movimiento de un flujo de electrones, que salen de la fuente o pila y se transportan por el metal con un sentido de lo negativo al positivo. Para algunos estudiantes este movimiento de electrones es posible ya que los electrones de las últimas órbitas tienen menor fuerza de atracción hacia sus átomos.

Tercer semestre

En las tablas 4.7 y 4.8 se presentan de manera resumida las ideas expresadas de manera general por los estudiantes de tercer semestre.

CEC. Modelo continuo de los estados físicos de la materia y cambios de estado

3 CEC Los cambios de estado se producen por equilibrio térmico al aumentar la cantidad de calor. Algunas características de la materia cambian durante este proceso tales como: aumento de volumen y disminución de la densidad. La sublimación se debe a que el proceso se lleva a cabo en corto tiempo. En la evaporación se libera oxígeno. Pocos alumnos mencionan la existencia de una estructura en el sólido misma que se pierde en el caso de los gases.

Tabla 4.7
Categorías continuas
Síntesis de las ideas de los alumnos de tercer semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
1. Interacción química o generación de una nueva sustancia	El aumento en la cantidad de calor produce una reacción (no cambio de fase) por lo que el yodo se sublima		El aumento de calor quema el metal lo que produce una reacción (puede tratarse de una oxidación) que produce compuestos que se observan como cambios de color. Para algunos alumnos además del calor debe existir un combustible como la pólvora.
2. Distribución de la materia	El aumento de la cantidad de calor produce una expansión del material por lo que ocupa mayor espacio y disminuye su densidad. En algunos casos los cambios de estado son procesos de equilibrio pero siempre utilizando el concepto de densidad.	En la disolución el azúcar se rompe con el agua lo que forma una mezcla. Esta disolución depende de que la densidad del soluto sea menor o igual que la del disolvente.	La conducción de la electricidad en el metal es una distribución de cargas.
3. Conservación de la materia y del equilibrio	El aumento en la cantidad de calor produce mayor volumen y presión por lo que el gas se expande, disminuye su densidad y alcanza su equilibrio con el aire frío externo por lo que el globo o aire se desplazan.	Las fuerzas de unión del soluto son menores que las del disolvente en una disolución.	
4. Desplazamiento	El aumento de calor produce en la materia una mayor expansión o dilatación, ocupa mayor espacio, cambia su densidad y aumenta la presión lo que produce desprendimiento de vapor o movimiento de gases.		La corriente (energía o cargas) se mueve por el metal durante la conducción de electricidad.
5. Características de la materia		La disolución depende de las características de los materiales como son: la polaridad del soluto y del disolvente (debe ser igual para que se lleve a cabo la disolución).	Cada elemento tiene un color característico al estar en contacto con la llama. Los metales tienen estructuras distintas que reaccionan y liberan distintas cantidades de energía. En general se justifica la presencia de distintos colores por las características químicas de los materiales.
6. Modificación	Los cambios de fase son producidos por el aumento en la cantidad de calor. Durante el proceso de evaporación hay liberación de oxígeno. En ocasiones algunos estudiantes mencionan el cambio de estado como fusión o evaporación. En algunos casos los cambios de estado se explican como un proceso de equilibrio térmico que debe producirse ya que el incremento de temperatura debe compensarse. Los cambios que se mencionan con el aumento de temperatura son la expansión del aire, aumento de volumen y presión, así como la disminución de la densidad. La sublimación es el mismo proceso que se alcanza de manera mucho más rápida.	En la disolución el soluto se adhiere al disolvente.	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CD. Modelo continuo de las disoluciones

3. CD La disolución es el rompimiento del soluto que se mezcla (adhiera) con el disolvente ya que las fuerzas de unión del soluto son menores que las del disolvente. Es necesario que la densidad del soluto sea menor o igual que la del disolvente, y que se trate de dos sustancias con la misma polaridad.

Modelo continuo de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

C Emisión de luz

3. CL Los metales y los gases al estar en contacto con la llama se queman o reaccionan (oxidación) produciendo cierto color. Este color se debe a las características químicas de los materiales.

CCE. Conducción de la electricidad en metales

3. CCE La corriente eléctrica se mueve por el metal ya que sus cargas se distribuyen.

Ideas sobre el vacío

Tan solo un estudiante hace explícito lo que considera que existe entre las moléculas, en este caso habla de fuerzas de cohesión y fuerzas de tipo electromagnético, nuevamente el vacío no está presente en los modelos de los estudiantes de este nivel.

DEC. Modelos discretos de los estados físicos de la materia y cambios de estado

3.1 DEC Los cambios macroscópicos de la materia se trasladan a lo microscópico. Al aumentar la cantidad de calor las moléculas líquidas, se hacen gas, se expanden o disminuyen su densidad. Con el aumento en la cantidad de calor hay mayor energía cinética, expansión, separación, presión, colisiones, por lo que disminuye la fuerza de atracción, orden y peso al producirse un cambio de estado.

3.2 DEC El aumento en la cantidad de calor produce mayor energía cinética, separación, repulsión, movimiento caótico, colisiones, velocidad, lo que produce rompimiento de enlaces y disminución de fuerzas intermoleculares por lo que hay una diferencia de presión, volumen y cambios de estado. Los sólidos presentan un arreglo ordenado que disminuye en los líquidos y se pierde en los gases.

Tabla 4.8
Categorías discretas
Síntesis de las ideas de los alumnos de tercer semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
I. El nivel molar	<p>El aumento en la cantidad de calor produce que las moléculas líquidas se transformen en gas y se expandan por lo que son menos densas.</p> <p>Si la cantidad de calor aumenta los enlaces se debilitan o rompen y el cambio de fase incluso la sublimación se lleva a cabo. Cuando hay rompimiento se libera o desprenden moléculas de hidrógeno y oxígeno.</p> <p>Para otro grupo de alumnos el aumento en la cantidad de calor produce un aumento en la energía cinética de las moléculas, por lo que se separan, hay una expansión de moléculas, aumento de presión, mayor cantidad de choques y separación entre las moléculas, también disminuye la fuerza de atracción y el orden entre las moléculas lo que lleva al cambio de estado de fase. En algunos casos el aumento en la separación de las moléculas implica un concepto intuitivo de densidad al decir que habrá menos moléculas sin embargo la relación se establece con el peso y no con la densidad.</p>	<p>El disolvente separa las moléculas o iones del soluto y se combina o une con las del disolvente. El enlace entre soluto y disolvente es más estable que el que hay entre el soluto-soluto y el disolvente-disolvente. Las moléculas de agua solvatan a las de soluto por la energía de los iones.</p> <p>Tan solo algunos estudiantes argumentan que en la disolución hay un proceso en el que las moléculas de disolvente rodean a las de soluto y así las separan rompiendo sus enlaces. En esta recombinación se forman moléculas más complejas con las propiedades del soluto y del disolvente. Los dipolos del agua rompen la interacción ión-dipolo de la sal.</p> <p>El rompimiento de la red cristalina del soluto que se lleva a cabo por igualdad de polaridad del soluto y del disolvente.</p> <p>Para pocos alumnos la disolución es una reacción.</p> <p>En el caso de la sal esta se disuelve porque hay separación de iones de sodio y cloro que se unen con el agua por fuerzas electrostáticas. Para el azúcar las fuerzas intermoleculares son menores. La energía de hidratación es la que tiene la capacidad de romper las fases.</p> <p>Las moléculas de agua por ser polares rodean a los iones y a las moléculas de azúcar a partir de la interacción de cargas parciales entre las moléculas de agua y las del soluto que se unen por la electronegatividad del agua. En estas interacciones se forman puentes de hidrógeno con el oxígeno e hidrógeno del agua. Pocos estudiantes explican que la parte de la molécula de agua δ^+ interacciona con el ión de cloro- y la de δ^- con la parte del sodio +</p> <p>En la disolución el disolvente rompe los enlaces de soluto y se combinan con el disolvente con la forma dipolo-dipolo o ión-dipolo.</p>	<p>Los colores que se producen por el calentamiento de un gas se deben al nivel de energía de los átomos de cada elemento o el rompimiento de moléculas</p> <p>La conductividad eléctrica se produce porque los electrones libres se mueven en el metal, estos electrones transportan la corriente. Los electrones se mueven en dirección determinada en función de la carga. Los electrones salen de la batería. La conducción de la electricidad se da cuando hay una diferencia de potencial.</p>
II. El nivel molecular	<p>El aumento de cantidad de calor produce en la materia mayor energía cinética de sus moléculas, separación entre ellas, movimiento caótico, colisiones, repulsión, velocidad, expansión, rompimiento de enlaces, menor fuerza de enlace, orden y disminución en la fuerza de atracción intermolecular lo que produce una diferencia de presión, aumento de volumen y cambios de estado. Este cambio de fase implica modificaciones en el arreglo de la materia disminuyendo el orden conforme cambia de sólido a líquido y gas.</p>		

Continuación tabla 4.8

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
<p>III. El nivel de estructura molecular</p>	<p>El aumento de calor en la materia produce una mayor energía cinética, vibración y separación (si bien algunos alumnos mencionan que disminuye este espacio) entre las moléculas así como disminución de fuerzas de interacción que para algunos alumnos es de tipo electrostático que implica el rompimiento de la estructura (cúmulos para el caso del agua). Los sólidos tienen una estructura de red y los espacios entre las moléculas están ocupados por electrones que cuando se rompen los enlaces cambian su estado basal por lo que puede ser que los materiales cambien de color.</p>		
<p>IV. El nivel atómico</p>		<p>En la disolución las fuerzas entre los átomos de sodio y cloro son menores que los que tiene el agua sobre la sal, se considera que el agua separa los compuestos ionizados.</p>	<p>Las explicaciones sobre la emisión de luz de colores se explica como un cambio de nivel de mínima a otro de máxima energía. Cada color corresponde a un cierto nivel energético.</p> <p>La conductividad se explica como los electrones que chocan por un lado y salen por el otro.</p>
<p>V. El nivel de estructura atómica</p>			<p>La luz se produce al calentar el hidrógeno ya que los átomos se excitan por el aumento de energía, por ello el electrón pasa a una órbita mayor y al regresar a sus estado basal emite fotones que dan luz de color. En algunos casos se argumenta que el cambio de nivel produce cierta longitud de onda que corresponde a un color característico. Otros estudiantes mencionan que el aumento de energía desestabiliza al electrón y por ello se desprenden fotones de distintas longitudes de onda.</p> <p>Los metales conducen la electricidad ya que los electrones están deslocalizados y se pueden mover y al pasar a una estructura de valencia los electrones pasan de un átomo a otro lo que forma un flujo de electrones.</p>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.3 DEC El aumento en la cantidad de calor produce mayor energía cinética, vibración, separación y disminuyen las fuerzas de interacción que son de tipo electrostático que se rompen durante el cambio de fase. Los sólidos presentan una estructura de red en donde los espacios intermoleculares están ocupados por electrones que cuando se rompe el enlace cambian su estado base.

DD. Modelos discretos de las disoluciones

3.1 DD La disolución es la unión de moléculas entre el soluto y el disolvente. El disolvente separa las moléculas o iones de soluto y se combina con las del disolvente. El agua solvata o rodea a las de soluto por la energía que hay entre sus iones rompiendo y separando los enlaces (por ejemplo los dipolos del agua rompen la interacción ión-dipolo de la sal). Las moléculas que se forman de esta combinación son más complejas, estables y con las propiedades del soluto y del disolvente. La sal se separa en iones que se unen con las moléculas de agua por fuerzas electrostáticas. Mientras que en el azúcar las fuerzas intermoleculares son menores y hay una energía de hidratación que separa las moléculas.

3.2 DD En la disolución las moléculas de agua rodean a los iones o las moléculas del soluto a partir de interacciones parciales entre ellas, parte de la molécula de agua es δ^+ interacciona con el cloro (-) y la parte con δ^- con la parte del sodio (+). Durante las interacciones se forman puentes de hidrógeno y enlaces dipolo-dipolo o ión-dipolo.

Modelos discretos de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

DL. Emisión de luz

3.1 DL En una explosión o calentamiento de un gas la energía de los átomos del elemento aumenta y se rompen moléculas por lo que se emiten ciertos colores.

3.2 DL Muy poco alumnos explican que al calentar el hidrógeno los átomos se excitan y sus electrones pasan a una órbita mayor, al regresar emiten fotones y observan luz de color que corresponde a una longitud de onda característica. En algunos casos se piensa con el aumento de energía los electrones pierden estabilidad y por ello desprenden fotones de distintas longitudes de onda.

DEC. Conducción de la electricidad en metales

3.1 DCE La electricidad se conduce porque los electrones libres se mueven en el metal, los electrones cambian de un nivel de mínima o máxima energía. Algunos alumnos mencionan que los electrones chocan por un lado del metal y salen por el otro.

3.2 DCE En el metal los electrones están deslocalizados y se pueden mover ya que en su estructura de valencia pueden pasar de un átomo a otro y formar un flujo de electrones.

Quinto semestre

En las tablas 4.9 y 4.10 se presentan de manera resumida las ideas expresadas de manera general por los estudiantes de quinto semestre.

CEC. Modelos continuos de los estados físicos de la materia y cambios de estado

5.1 CEC El aumento de calor produce cambios en las características físicas de la materia como la presión de vapor, la densidad, la presión, el volumen y el peso que se equilibran y producen cambios de fase.

5.2 CEC En general el aumento en la cantidad de calor produce una reacción u oxidación identificada en la sublimación por el cambio de color del gas.

CD. Modelos continuos de las disoluciones

5.1 CD La disolución es un proceso de solvatación en el que se rompen los enlaces del soluto y éste se hidrata. Lo semejante disuelve a lo semejante o bien las dos sustancias deben ser polares para que la disolución se lleve a cabo

5.2 CD La disolución es una difusión del soluto en el disolvente que se logra debido a la concentración del soluto.

Modelo continuo de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

CL. Emisión de luz

5.1 CL La luz se produce por una liberación de longitudes de onda de cada elemento después de una explosión. En la explosión se da un aumento de energía que produce un cambio de nivel energético que al regresar produce colores. Los colores que se observan son los que no se absorben

Ideas sobre el vacío

Cuatro estudiantes de este nivel mencionaron explícitamente lo que a partir de su representación está presente entre las moléculas, en este caso dos mencionan que hay aire, uno que hay espacio y uno que el espacio está vacío.

DEC. Modelos discretos de los estados físicos de la materia y cambios de estado

5.1 DEC Con el aumento del calor las moléculas tienen más energía y movimiento por lo que vibran, aumenta sus colisiones, se separan. Aumentan sus fuerzas de repulsión, disminuyen el orden y la densidad durante los cambios de estado. En la evaporación se libera gas y vapor de agua. Las moléculas se expanden

5.2 DEC El aumento de calor produce que las moléculas tengan más movimiento, energía cinética y potencial, volumen, cantidad de colisiones, mayor distancia de separación y rompimiento de enlaces como puentes de hidrógeno y disminución de fuerzas de Van der Waals. Con el cambio de estado el arreglo cambia para estabilizar el sistema. Los sólidos tienen una estructura cristalina que se pierde en la evaporación.

DD. Modelos discretos de las disoluciones

5.1 DD En la disolución el agua disocia las moléculas de los cristales de azúcar o los iones de la sal rodeándolos y reacomodándose entre los espacios intermoleculares del agua (la distribución es uniforme y más estable energéticamente) con lo que se mantiene el equilibrio electrostático, esto se debe a que la energía de los puentes de hidrógeno son mayores que las del enlace del soluto. Algunas magnitudes físicas como la entropía aumentan. El agua por ser una sustancia polar puede disolver sustancias polares y no polares. Si el soluto es muy grande entonces no puede ocupar los espacios intermoleculares del disolvente y la disolución no se lleva a cabo.

5.2 DD Las moléculas de agua forman dipolos que se orientan con las cargas de los iones por lo que los separan, en la disolución el agua disocia los iones de sal en iones de Na^+ y Cl^- que se acomodan de acuerdo a su carga como O-Na y Cl-H por interacciones ión-dipolo. Este arreglo forma enlaces o puentes de hidrógeno que vencen las interacciones de la red cristalina y forman pares electrónicos.

Tabla 4.9
Categorías continuas
Síntesis de las ideas de los alumnos de quinto semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la material y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
1. Interacción química y generación de una nueva sustancia	La sublimación es un proceso de oxidación o una reacción ya que se observa cambio de color.		Al estallar con la pólvora ciertos metales o poner a la flama el hidrogeno produce luz de color al formarse una reacción con la combustión.
2. Distribución de la materia	El aumento en la cantidad de calor produce una distribución del gas por lo que cambia la densidad y el gas se hace más ligero o más pesado.		
3. Conservación de la materia y equilibrio	Al aumentar la cantidad de calor se producen cambios en cantidades físicas como la presión, el volumen y la densidad lo que lleva a un equilibrio en el sistema por lo que se produce un cambio de fase.	En la disolución se forman fuerzas electrostáticas entre los polos del agua y del azúcar. Para algunos estudiantes se trata de un proceso de difusión entre el disolvente y el soluto, en ambos casos se llega a una concentración.	
4. Desplazamiento	Cuando se aumenta la cantidad de calor se considera que hay un cambio de fase y el gas sube ya que se hace menos denso, el gas se expande y ocupa mayor volumen.		
5. Características de la materia		El agua disuelve al azúcar y la sal porque es polar y rompe los enlaces covalentes del azúcar y los iónicos de la sal. Si un soluto no es soluble en agua esto se considera como una característica propia de cierto tipo de sustancias como los carbonatos. Las explicaciones también se centran en la ausencia de fuerzas suficientemente grandes para vencer la unión de soluto.	El hidrogeno y todos los elementos tienen ciertas características que les permite producir algunos colores cuando absorben cierta cantidad de energía. Los metales siempre son buenos conductores de la electricidad y el calor.
6. Modificación	El aumento de calor produce un cambio de estado. En algunos casos el cambio en alguna cantidad física como la presión de vapor, la densidad, la presión, el volumen o el rompimiento de puentes de hidrogeno en el gas.	La disolución se llevara a cabo siempre que el soluto y el disolvente sean polares o no polares ya que lo semejante disuelve a lo semejante. La disolución de azúcar y sal en agua se realiza ya que debe existir cierta energía de solvatación, en el que se rompen los enlaces de soluto que son más débiles y por esto se hidrata.	La luz se produce como una liberación de longitudes de onda de cada elemento después de una explosión. El aumento de energía produce un cambio de nivel energético mayor que al regresar produce colores. En un caso se indica que la luz absorbe ciertas longitudes de onda y que se observa el color que no se absorbe.

Modelos discretos de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

DL. Producción de luz

5.1 DL Los electrones de la última capa absorben energía (de la explosión o el calentamiento) con lo que pasan a otro estado de mayor energía, cuando el electrón regresa a su estado inicial emite luz de cierto color que depende de la energía utilizada en el salto electrónico. Los colores corresponden a cierta longitud de onda.

DCE. Conductividad eléctrica

5.1 CCE Los metales son buenos conductores de la electricidad, la conducción se presenta porque hay transición de iones.

5.1 DCE El metal conduce la electricidad ya que tiene enlaces de electrones en niveles permitidos por los que se conduce la corriente. Los electrones de los átomos del metal pasan de un átomo a otro saltando para conducir la corriente

5.2 DCE En los metales existen tres tipos de bandas: de conducción, aisladora y de valencia. En los metales, que son conductores, la banda aisladora es pequeña. En algunos casos los estudiantes mencionan la existencia de un mar de electrones en la estructura del metal por el que los electrones saltan y se mueven formando la corriente.

Séptimo semestre

En las tablas 4.11 y 4.12 se presentan de manera resumida las ideas expresadas de manera general por los estudiantes de séptimo semestre.

CEC. Modelo continuo de los estados físicos de la materia y cambios de estado

7.1 CEC El aumento en la cantidad de calor presenta cambios en las magnitudes físicas de la materia como son la presión, presión de vapor, volumen y densidad, el gas se expande durante el cambio de estado y se forman burbujas de agua durante la ebullición. El yodo sublima ya que tiene un bajo punto de fusión y se pega a las paredes del recipiente

Tabla 4.10
Categorías discretas
Síntesis de las ideas de los alumnos de quinto semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la material y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
I. El nivel molar	<p>Con el aumento de calor se incrementa la distancia entre las moléculas, hay mayor energía, movimiento, espacio (para algunos alumnos disminuye el espacio entre partículas). Las moléculas se expanden, hay más colisiones y vibración, fuerzas de repulsión y disminuyen el orden, la densidad, fuerza de unión, lo que produce un cambio de estado y se libera gas y vapor de agua durante la ebullición.</p>	<p>En la disolución el agua disocia las moléculas de los cristales de azúcar y sal, rodeándolas. Algunas magnitudes físicas como la entropía se incrementan cuando se lleva a cabo la disolución. En la disolución las moléculas de azúcar o los iones de la sal se acomodan entre los espacios intermoleculares del agua (la distribución puede ser uniforme).</p> <p>El agua es un disolvente polar y puede romper los enlaces de las moléculas del soluto de las sustancias polares y no polares. La energía de los puentes de hidrógeno es mayor que la de la red cristalina por lo que el enlace del soluto se rompe. En algunos casos se considera que las interacciones azúcar-agua son más favorables energéticamente que las de agua-agua o azúcar-azúcar.</p>	<p>Los metales conducen la electricidad ya que sus átomos son núcleos envueltos en una nube electrónica uniforme, cuando el metal se excita sus electrones también lo hacen. La corriente es un paso de electrones que forman un flujo o una reacción en cadena. La conducción se presenta ya que los electrones se mueven en diferentes niveles energéticos, esta transmisión se da por oxido reducción y por una diferencia de potencial. En la conducción de electricidad hay transición de iones.</p> <p>Cuando se aumenta la energía se produce una transición eléctrica que se observa en un cambio de color.</p>
II. El nivel molecular	<p>En los cristales como el yodo se tiene una estructura reticular por lo que se requiere de mayor energía cinética y potencial para romperlos. En algunos casos los sólidos tienen una estructura cristalina que se pierde en el estado gaseoso.</p> <p>El aumento en la cantidad de calor lleva a un mayor movimiento, distancias entre moléculas (separación), energía cinética y potencial, volumen, cantidad de colisiones rompimiento de enlaces que son los puentes de hidrógeno y disminución de fuerzas de Van der Waals, de la densidad y de su energía de unión, lo que lleva modificaciones en el arreglo de sus moléculas que producen el cambio de estado para estabilizar el sistema.</p>	<p>En la disolución hay solvatación por las fuerzas de enlace entre los iones de sal y el dipolo del agua de esta manera se mantiene el equilibrio electrostático. Los pares iónicos en la sal se unen con una molécula de agua formando una molécula que es más estable. En algunos casos se argumentó que la disolución se lleva a cabo siempre que los granos del soluto sean más chicos que los espacios intermoleculares del disolvente.</p> <p>En la disolución el agua disocia (rompe) a la sal en iones Na^+ y Cl^- que se acomodan por su carga en O^-, Na, Cl-H por interacciones ión-dipolo. Las moléculas de agua forman dipolos que se orientan con las cargas de los iones por lo que se separan los iones de la sal. En la disolución se forman enlaces o puentes de hidrógeno venciendo las interacciones de la red cristalina y formándose enlaces con los pares electrónicos desapareados.</p> <p>Para otros alumnos en la disolución se separan los iones de sodio y cloro y la molécula de agua los solvata por la polaridad de las moléculas de agua.</p>	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Continuación tabla 4.10

	Estados físicos de la material y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
IV. El nivel atómico			<p>La producción de luz de ciertos elementos se produce ya que la energía añadida permite que se liberen fotones con una longitud de onda característica que es el color de la luz. Los electrones de la última capa absorben esa energía y con ella pasan a otro estado de mayor energía, cuando el electrón regresa a su estado base emite luz de cierto color que depende de los niveles de energía del salto electrónico. Los colores de la luz corresponden a cierta longitud de onda.</p> <p>Sobre la conductividad eléctrica el metal tiene enlaces de electrones en niveles permitidos por los que se conduce la corriente. Los electrones de los átomos de metal pasan de un átomo a otro saltando para conducir la corriente.</p>
V. El nivel de estructura atómica			<p>La producción de luz de ciertos elementos se debe a que la energía recibida permite al electrón del elemento excitarse y saltar al siguiente nivel energético, este salto depende de la cantidad de energía recibida. Al regresar el electrón emite luz de cierta longitud de onda que corresponde con un determinado color. El color depende de la energía recibida.</p> <p>En los metales se forma un mar de electrones ya que a lo largo de toda la estructura los electrones saltan y se mueven lo que forma una corriente. Los metales tienen tres tipos de bandas de conducción, aisladora y de valencia, la banda aisladora es pequeña en los buenos conductores como son los metales.</p>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CD. Modelos continuos de las disoluciones

7.1 CD El azúcar y la sal son solubles en agua ya que forman grupos O-H que rompen al soluto e interaccionan con el agua. Las interacciones entre soluto-soluto y disolvente-disolvente son menores que las de soluto-disolvente. La disolución de una sustancia depende de su constante de solubilidad que puede modificarse con cambios en la temperatura y la presión. El agua es polar y puede disolver sustancias polares como el azúcar ya que lo similar disuelve a lo similar.

Modelos continuos de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

CL. Emisión de luz

7.1 CL La luz emite porque se libera cierta energía y longitud de onda que es la que se causa la coloración. Esta energía se debe a una reacción, combustión, fricción con el aire u oxidación. Esto se debe a los cambios electrónicos en los metales, a su composición química y a su carácter ácido-base.

CCE. Conductividad eléctrica

7.1 CCE La electricidad se conduce por el metal del polo positivo al negativo, por ella se transfieren los electrones que pasan por el metal.

Ideas sobre el vacío

Las respuestas de 6 estudiantes incluyen sus ideas sobre lo que debe encontrarse entre las moléculas, de ellas en dos se considera que debe haber aire, en una que puede haber aire o vacío, otra niega la posibilidad de que haya vacío y afirma que debe haber aire y tan sólo dos se encuentra la idea de que hay vacío entre las moléculas.

DEC. Modelos discretos de los estados físicos de la materia y cambios de estado

7.1 DEC Al aumentar la cantidad de calor las redes polimoleculares (arreglo definido del agua) cambian a otro menos favorable al producirse un rompimiento de la red cristalina (puentes de hidrógeno) del agua entonces se libera energía en forma de burbujas. Durante este proceso algunas propiedades físicas del agua como la densidad y la presión cambian, aumentan la energía cinética, la cantidad de choques, el movimiento, la velocidad, la vibración y el volumen de sus moléculas (se expanden), el desorden, la separación, espacio, disminuye la rigidez de las moléculas lo

que produce un cambio de fase y que el gas suba y se observen burbujas en la ebullición que se producen por el choque de moléculas.

7.2 DEC El aumento de calor incrementa el desorden de las moléculas y su energía cinética, ocupan más espacio o distancia, presión interna, volumen, aumento de colisiones, velocidad, entropía y hay menor atracción entre ellas (para algunos alumnos esta cantidad aumenta), también crece la densidad, por lo que se separan y se rompen los enlaces (puentes de hidrógeno) lo que rompe la tensión superficial del agua y por ello se producen los cambios de estado. Las burbujas durante la ebullición del agua se forman ya que las moléculas se evaporan y condensan.

DD. Modelos discretos de las disoluciones

7.1 DD La disolución es una solvatación, en donde las moléculas de agua separan o rompen a las del soluto y las envuelven (los carbonos y los hidrógenos forman puentes de hidrógeno o bien separan los iones de la sal) habiendo un reacomodo de moléculas del soluto en el disolvente. En la disolución hay una fuerza electrostática entre soluto y disolvente que es mayor que la existente entre el soluto y el disolvente de manera independiente. Esto es que las moléculas del soluto y del disolvente deben ser afines

7.2 DD En la disolución el agua separa o disocia a la sal en iones que después son solvatados o rodeados por el agua. Las distintas moléculas se orientan por diferencia de cargas a través de interacciones dipolo-dipolo o ión-dipolo. Las interacciones del agua son fuerzas de Van der Waals que rompen a las de sal. Las moléculas polares como las del agua forman enlaces iónicos con los iones de la sal que se solvatan: El ion positivo se rodea de las moléculas de agua del lado del oxígeno y el ion negativo se rodea por los átomos de hidrógeno.

Modelos discretos de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad.

DL. Emisión de luz

7.1 DL Los colores se producen por el movimiento de las moléculas cuando se aumenta la cantidad de calor

7.2 DL Al aumentar la energía se produce un cambio de nivel de energía de los electrones en los átomos lo que produce las coloraciones (para algunos alumnos es en el regreso a su nivel basal en el momento en que se produce luz) ya que la energía saca al electrón de su capa de valencia lo que produce los colores.

Tabla 4.11
Categorías continuas
Síntesis de las ideas de los alumnos de séptimo semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
1. Interacción química o generación de una nueva sustancia	El yodo al ponerse en contacto con el calor se oxida.	Si el agua no tiene la energía necesaria para romper los enlaces del soluto entonces se forma una nueva especie.	La luz de colores se produce por una reacción, combustión, fricción con el aire y el contacto con el oxígeno (por oxidación) y es lo que produce un compuesto que tiene un color característico.
2. Distribución de la materia	Con el aumento de calor la materia se dispersa y se expande lo que cambia su densidad y volumen.		Los metales conducen porque la batería produce iones positivos y negativos que pasan por el <i>circuito</i> y chocan con el <i>foco</i> produciendo energía luminosa.
3. Conservación de la materia y del equilibrio	Con el aumento de la temperatura cambian algunas características físicas de la materia como la presión dentro del recipiente, el volumen y la densidad por lo que para alcanzar un equilibrio con el medio que le rodea se produce el cambio de estado y los gases flotan.		
4. Desplazamiento	Con el aumento de temperatura hay cambios en ciertas cantidades físicas como la presión de vapor, la densidad, el espacio ocupado, lo que produce corrientes de convección que forman burbujas, desprendimiento de vapores, desplazamiento de gases disueltos y cambios de estado.	En la disolución hay interacción entre disolvente y soluto quedando por un lado del agua los iones positivos y por el otro los negativos.	En la conducción de la electricidad pasa la corriente de un polo positivo a uno negativo. En ella se transfieren los electrones que pasan por el metal. Los colores se producen por un desdoblamiento de orbitales, los colores dependen de la magnitud.
5. Características de la materia		La disolución depende de la constante de solubilidad del soluto en el disolvente, pueden influir la presión y la temperatura. Las interacciones entre soluto-soluto y disolvente-disolvente son menores que las de soluto-disolvente por lo que se disuelve.	Los metales al calentarse o recibir cierta cantidad de energía hace que se libere cierta longitud de onda que produce los colores. Los colores se deben a su composición química como a su carácter ácido-base y a los ligantes.
		El agua es polar y puede disolver a las sustancias iónicas o que tienen partes polares como el azúcar ya que lo similar disuelve a lo similar. Si la polaridad es la misma entonces se disuelven. El agua rompe la red cristalina de la sal y la separa en iones. Formando una polaridad iónica.	

Continuación tabla 4.11

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
6. Modificación	<p>El aumento en la cantidad de calor presenta cambios en las magnitudes físicas de la materia como son la presión, presión de vapor, volumen, densidad ya que el gas se expande por lo que se produce un cambio de fase o bien se forman burbujas cuando el agua entra en ebullición.</p> <p>El yodo se sublima porque tiene un bajo punto de fusión (para algunos átomos el sólido con el calor se rompe fácilmente) y se pega a las paredes del recipiente. Algunas de las respuestas son simplemente aseveraciones de que el proceso de sublimación se lleva a cabo y el gas se deposita.</p>	<p>En el caso de la disolución las respuestas son que el azúcar y la sal son solubles porque forman grupos O-H, tienen mayor o menor solubilidad, por las interacciones, o el soluto se rompe e interacciona con el agua</p>	<p>La luz se emite cuando, los materiales, liberan cierta energía y longitud de onda que es la que causa de la coloración.</p> <p>Los cambios electrónicos entre los metales permiten que se libere cierta energía. Los colores absorben cierta frecuencia del espectro magnético que se observan como luz de colores.</p>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

DCE. Conducción de la electricidad en metales

7.1 DCE La conducción de la electricidad en el metal se debe a que hay electrones. Se mueven porque la batería es una bomba de electrones que hace que éstos fluyan por la superficie del metal, los electrones de la bomba empujan a los del metal, como una reacción en cadena. El flujo de electrones se mueve de lo positivo a lo negativo.

7.2 DCE En los metales los electrones de sus últimas capas están móviles, se alinean y se mueven o vibran de tal forma que no se conserva la electroneutralidad del sistema. Para algunos estudiantes aparece la idea de que los electrones no circulan, sólo vibran por eso se conduce la corriente, mientras que para otros se mueven de un extremo a otro. Un alumno señaló la existencia de huecos vacíos en los orbitales de los átomos de los metales, por esos huecos es que pasa la corriente de electrones. Para otros los electrones de valencia del metal chocan unos con otros al aplicar una diferencia de potencial.

Noveno semestre

En las tablas 4.13 y 4.14 se presentan de manera resumida las ideas expresadas de manera general por los estudiantes de noveno semestre.

CEC. Modelo continuo de los estados físicos de la materia y cambios de estado

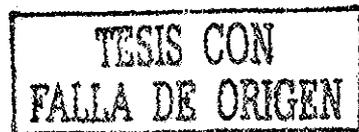
9.1 CEC En los cambios de estado la materia se funde, condensa o entra en ebullición. Durante este proceso se alude a ciertas características físicas de la materia como son la presión, el volumen y la densidad.

CD. Modelo continuo de las disoluciones

9.1 CD En la disolución el aumento en la cantidad de calor cambia la rapidez con la que se disuelve el soluto. El azúcar es hidrofílica y forma puentes de hidrógeno con el agua por lo que se disuelve. La disolución depende de las características del soluto y del disolvente como es que los dos tengan la misma polaridad o que el soluto sea un compuesto iónico.

Tabla 4.12
Categorías discretas
Síntesis de las ideas de los alumnos de séptimo semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
<p>I. El nivel molar</p> <p>Al aumentar la cantidad de calor las redes polimoleculares que son un arreglo definido del agua cambian a otro menos favorable. Con mayor energía se rompen los puentes de hidrogeno del agua y se libera energía en forma de burbujas. En otros casos se menciona que el aumento de calor produce un rompimiento de la red cristalina. Para otros estudiantes con el aumento de temperatura hay mayor formación de puentes de hidrogeno y mayor definición entre las interacciones de las moléculas.</p> <p>Al aumentar la cantidad de calor cambian algunas propiedades físicas del agua como la densidad y la presión, aumenta la energía cinética, la cantidad de choques, el movimiento, la velocidad, la vibración y el volumen de sus moléculas (se expanden), el desorden, la separación, espacio, (en algunos casos se dice que disminuye la rigidez de las moléculas) lo que produce un cambio de fase y que el gas suba y se observen burbujas en la ebullición. El choque de moléculas produce la formación de burbujas.</p> <p>Si aumenta la cantidad de calor las moléculas prefieren cambiar de la fase sólida a la líquida y después a la gaseosa.</p>	<p>La disolución es una solvatación, en donde las moléculas de agua separan o rompen a las del soluto y las envuelven (los carbonos y los hidrogenos forman puentes de hidrogeno o bien separan los iones de la sal).</p> <p>Algunos alumnos consideran que las moléculas y iones son las que se disuelven.</p> <p>Para que haya disolución las moléculas del soluto y del disolvente debe ser afines o bien debe haber solubilidad entre ellos.</p>	<p>Los colores se producen por el movimiento de las moléculas cuando se aumenta la cantidad de calor.</p> <p>La conducción de la electricidad en el metal se debe a que hay electrones que se mueven porque la batería es una bomba de electrones que hace que éstos fluyan por la superficie del metal (los electrones de la bomba empujan a los del metal), es como una reacción en cadena. El flujo de electrones se mueve de lo positivo a lo negativo. Los electrones de valencia del metal chocan unos con otros al aplicar una diferencia de potencial.</p>	
<p>II. El nivel molecular</p> <p>El aumento de calor incrementa el desorden de las moléculas y su energía cinética, ocupan mas espacio o distancia, presión interna, volumen, aumento de colisiones, velocidad, entropía y hay menor atracción entre ellas (para algunos alumnos esta cantidad aumenta), aumenta también la densidad, por lo que se separan (rompimiento de enlaces) durante el cambio de estado (en algunos casos se considera que las moléculas se evaporan y condensan por lo que se forman burbujas). Se hace mención en algunos casos del equilibrio que se guarda entre los distintos estados físicos.</p>	<p>En la disolución el agua separa o disocia a la sal en iones que después son solvatados o rodeados por el agua. Las distintas moléculas se orientan por diferencia de cargas a través de interacciones dipolo-dipolo o ión-dipolo. Las interacciones del agua son fuerzas de Van der Waals que rompen a las de sal. En algunos casos se menciona que las moléculas polares como las del agua forman enlaces iónicos con los iones de la sal que se solvatan.</p> <p>Para otros estudiantes en la disolución la fuerza electrostática entre soluto y disolvente es mayor que la existente entre el soluto y el disolvente de manera independiente lo que implica un reacomodo de moléculas.</p>		



Continuación de la tabla 4.12

		Modelos atómicos de la materia	
III. El nivel de estructura molecular	Estados físicos de la materia y cambios de estado Por el aumento de temperatura se rompen los puentes de hidrogeno lo que produce mayor energía cinética, hay menor interacción, aumenta la vibración de las moléculas, lo que rompe la tensión superficial del agua y permite los cambios de arreglos entre los estados y por tanto los cambios de estado.	Disoluciones Para algunos alumnos las moléculas de agua presentan una carga parcialmente negativa en el átomo de oxígeno e interacciona por fuerzas ión-dipolo, con lo que las moléculas de agua rodean a las de sal. El ión + se rodea de las moléculas de agua del lado del oxígeno y el ión negativo se rodea por los átomos de hidrogeno.	La luz se observa ya que al aplicar energía se produce un cambio de nivel de energía de los electrones en los átomos lo que produce las coloraciones (para algunos alumnos es en el regreso a su nivel basal en el momento en que se produce luz). En algunos casos estos se consideran como estados de oxidación distintos en los que hay pérdida de energía. La conducción se lleva a cabo por el movimiento de los electrones de los átomos metálicos que permite que esto suceda. Al dar energía a los electrones de las capas externas de los metales se dan transiciones a niveles superiores que al regresar a su estado basal despiden energía en forma de ondas electromagnéticas cuya frecuencia determina en el ojo humano el color. El aumento de energía saca al electrón de su capa de valencia y produce los colores. En los metales los electrones de sus últimas capas están móviles, se alinean y se mueven o vibran de tal forma que no se conserva la electroneutralidad del sistema. Los electrones no circulan solo vibran por eso se conduce la corriente. Para algunos alumnos los electrones se transmiten de un extremo a otro. Un alumno señaló la existencia de huecos vacíos en los orbitales de los átomos de los metales, por esos huecos pasa la corriente de electrones.
IV. El nivel atómico			
V. El nivel de estructura atómica			



Modelo continuo de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad

CL. Emisión de luz

9.1 CL Al calentar el hidrógeno se pasa a distintos estados de transición que se identifican con colores. Este color se produce por la absorción de energía cuantizada y que produce una cierta longitud de onda característica. Las sustancias absorben todos los colores y emiten el que no se absorbe. Los colores dependen de las características químicas y físicas de las sustancias.

CCE. Conducción de la electricidad en metales

9.1 CCE La corriente es un flujo de electrones que va del polo negativo al positivo y es lo que hace que reaccione el tungsteno del filamento y emita luz blanca.

Ideas sobre el vacío

Cuatro estudiantes de la muestra de noveno semestre expresaron que entre las moléculas hay aire u otro medio o bien que los espacios están ocupados por carbono e hidrógeno. Uno de ellos mencionó que hay espacio vacío entre las moléculas.

DEC. Modelos discretos de los estados físicos de la materia y cambios de estado

9.1 DEC Con el aumento en la cantidad de calor produce un mayor movimiento molecular, separación, desorden, energía cinética, expansión, volumen, rompimiento de puentes de hidrógeno, destrucción de estructura (de hexagonal en el sólido hasta perderla en el líquido), las moléculas son más ligeras, hay menor unión molecular, densidad, peso y rigidez de las moléculas, que se reflejan en disminución de la viscosidad del agua. En algunos casos se menciona que las moléculas se expanden, aumentan su energía cinética, en número en el mismo espacio, en el cambio de estado se forma una membrana (líquidos).

Tabla 4.13
Categorías continuas
Síntesis de las ideas de los alumnos de noveno semestre por contexto y subcategoría

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
1. Interacción química o generación de una nueva sustancia	En la sublimación el yodo se oxida al quemarse y estar en contacto con el aire.		La luz se observa cuando un compuesto se ioniza durante una explosión lo que produce un compuesto distinto con su propia coloración. Los metales se oxidan durante la combustión y forman especies y colores distintos. Los colores se producen por la oxidación y los cambios energéticos o de excitación que se alcanzan.
2. Distribución de la materia	El aumento en la cantidad de calor produce que haya más aire caliente, aumente su volumen y disminuya la densidad por lo que el aire sube.	La disolución depende de que el volumen de soluto sea mayor y pueda formar iones	
3. Conservación de la materia y del equilibrio	El aumento en la cantidad de calor produce un aumento en la presión y volumen produciéndose burbujas (estas pueden ser de CO ₂) o cambios de estado para conservar el equilibrio con el exterior.		
4. Desplazamiento	El aumento en la cantidad de calor hace que el aire u oxígeno suban o se desplace formando burbujas al expandirse y ocupar mayor volumen y disminuir su densidad.		La corriente eléctrica se conduce del polo positivo al negativo porque los metales son buenos conductores.
5. Características de la materia		El agua solvata a los iones de la sal por eso se disuelve en agua. El azúcar es hidrofílica y forma puentes de hidrógeno con el agua por lo que se disuelve. Esto es el agua puede disolver a la sal y al azúcar pero no al gis por sus características, estas características (ser solubles) en algunos casos se debe a que los dos son polares (soluto y disolvente) ya que los similar disuelve a lo similar. Los compuestos iónicos pueden ser disueltos en agua.	Los colores que se observan durante una explosión o calentamiento de un gas se debe a las características químicas y físicas de las sustancias. En algunas ocasiones se menciona la oxidación como causa del color. La corriente es un flujo de electrones que va del polo negativo al positivo y es lo que hace que reaccione el tungsteno del filamento y emita luz blanca.
6. Modificación	El aumento en la cantidad de calor produce los cambios de estado cuando la materia se funde, condensa o entra en ebullición. Durante este proceso se alude a ciertas características físicas de la materia como son la presión, el volumen y la densidad.	En la disolución el aumento en la cantidad de calor cambia la rapidez con la que se disuelve el soluto siempre que estos interaccionen	Al calentar el hidrógeno se pasa a distintos estados de transición que se identifican con colores. Este color se produce por la absorción de energía cuantizada y que produce una cierta longitud de onda característica. Las sustancias absorben todos los colores y emiten el que no se absorbe.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.14
Categorías discretas
Síntesis de las ideas de los alumnos de noveno semestre por contexto y subcategoría

Estados físicos de la materia y cambios de estado		Modelos atómicos de la materia	
El nivel molar	<p>El aumento en la cantidad de calor cambia el arreglo de la red cristalina del sólido durante los cambios de estado. En el caso del aire las moléculas se aglomeran y suben como burbujas. En algunos casos se menciona que las moléculas se expanden, aumentan su energía cinética, en número en el mismo espacio, en el cambio de estado se forma una membrana (líquidos).</p> <p>Para otros alumnos el aumento de la cantidad de calor implica un aumento en el movimiento, espacio (separación), vibración, rompimiento de puentes de hidrógeno o de enlaces covalente, menor orden y unión por lo que disminuye la fuerza intermolecular, hay un cambio en la densidad, volumen, presión, se conserva la estructura de las moléculas. Para algunos estudiantes el aumento en la cantidad de calor produce que se rompan los enlaces O-H y se forme un equilibrio con sales y iones liberando oxígeno y CO₂.</p> <p>En el caso de la sublimación hay reducción molecular del yodo al yoduro. Para otros alumnos esto es posible ya que el yodo está en un punto de baja presión.</p>	<p>La disolución es una solvatación, esto es, las moléculas de agua separan y rodean a las moléculas de azúcar y los iones de sal. En este proceso se deshace la red cristalina y los hidrogenos del agua se acercan a los cloros y el lado del oxígeno al sodio. Hay una interacción dipolo-dipolo o en su caso ion-dipolo. Si la energía de la red cristalina es muy alta no se pueden separar los iones y no hay disolución. Si la interacción molecular es covalente el agua no puede romper el compuesto (gis). La molécula de agua que es polar puede disolver a sustancias polares.</p> <p>Para otros alumnos la explicación es que el azúcar es un compuesto con C, H y O en su estructura en ciertos puntos hay compuestos muy electronegativos y forman dipolos que interaccionan con el agua que es un compuesto polar. En la disolución el azúcar tiene momentos dipolares por el grupo carbonilo que provocan interacciones dipolares con el agua. Las fuerzas que actúan durante la disolución son de tipo electrostático y hacen que el sistema tienda al equilibrio.</p> <p>Otros alumnos señalan que en la disolución el azúcar forma puentes de hidrogeno entre los iones del agua y del azúcar debido al gran numero de grupos O-H y C que tiene en su estructura.</p> <p>Algunos estudiantes expresan que en la disolución las moléculas de azúcar quedan atrapadas en las del agua.</p>	<p>Los metales conducen los electrones generados en la pila, estos se alinean a los espacios de los electrones. Los metales tienen una nube electrónica que está deslocalizada de su núcleo por lo que los electrones se pueden mover por una diferencia de potencial y por ello son buenos conductores. Los electrones van del ánodo al cátodo y forman un flujo de electrones que pasan a través de la barra metálica o bien alrededor de toda la superficie del metal. Para algunos alumnos la electricidad pasa de una molécula a otra y del polo positivo al negativo.</p> <p>Los compuestos tienen un color característico por la energía de los electrones de su capa de valencia. Las moléculas emiten distintas longitudes de onda y vemos un color complementario. Los metales de transición tienen varios niveles de energía y al pasar de un nivel a otro emiten energía que se transforma en color.</p>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

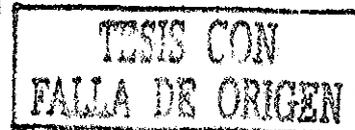
Continuación tabla 4.14

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
II. El nivel molecular	<p>El aumento en la cantidad de calor produce un mayor movimiento molecular, separación, desorden, energía cinética, expansión, volumen, rompimiento de puentes de hidrógeno, destrucción de estructura (de hexagonal en el sólido hasta perderla en el líquido), las moléculas están más ligeras, hay menor unión molecular, densidad, peso y rigidez de las moléculas, que se reflejan en disminución de la viscosidad del agua. El vapor es más ligero, hay menor interacción y rompimiento de enlaces de Van der Waals o puentes de hidrógeno por lo que el gas sube y se presentan cambios de estado al disminuir la rigidez en su estructura. Si el rompimiento de enlaces es brusco entonces hay sublimación. Estos cambios llevan a un aumento en la entropía.</p>	<p>En la disolución de la sal se solvatan los iones rodeándose de moléculas de agua que forman interacciones electrostáticas por las características dipolares del agua. El agua rompe los enlaces iónicos. La molécula de azúcar tiene una parte hidrofílica y forma enlaces de hidrógeno entre los OH del azúcar y los hidrogenos del agua.</p> <p>En la disolución del azúcar se establecen puentes de hidrógeno con el agua en los cinco grupos polares del azúcar como aldehídos hidroxilos que forman esferas de solvatación agua-azúcar que son más estables.</p> <p>En la disolución las moléculas de agua que tienen una polaridad muy alta rodean a las de azúcar que tienen un arreglo cúbico disolviéndola. La fuerza iónica es débil por lo que los iones se rompen por la atracción de la fuerza de las moléculas de agua. La molécula de azúcar tiene una parte polar y una no polar, la polar se une con las moléculas de agua. Los espacios entre las moléculas de agua son lo suficientemente grandes para que las de azúcar ya separadas se introduzcan entre las de agua.</p>	
III. El nivel de estructura molecular	<p>El aumento en la cantidad de calor produce rompimiento de fuerzas intermoleculares y el cambio de una estructura cristalina a otra más sencilla de menor interacción entre las moléculas.</p>	<p>La disolución es una solvatación de los cristales de azúcar y se lleva a cabo por una interacción entre soluto y disolvente a partir de fuerzas de Van der Waals, cohesión, adhesión y iónicas.</p> <p>En la disolución de la sal en agua, se forman esferas de solvatación alrededor del cloruro de sodio que lo separan en iones, el agua termina solvatando los iones, el sodio se une del lado del oxígeno del agua y el cloro del lado del hidrógeno. Esta solvatación se presenta por el momento dipolar del agua que interacciona como cargas formales con las cargas del sodio y el cloro.</p> <p>La sal disuelta en el agua se autoioniza, los iones de sodio y cloro se polarizan por interacciones de hidrógeno (puentes de hidrógeno) facilitando la solubilidad de sal en agua. Los iones de sodio y cloro son más pequeños que la molécula de sal y se mueve fácilmente en la solución acuosa. Cualquier compuesto iónico se disuelve fácilmente en agua.</p>	



Continuación de tabla 4.14

	Estados físicos de la materia y cambios de estado	Disoluciones	Modelos atómicos de la materia
IV. El nivel atómico		En la disolución se rompen los enlaces entre los átomos que mantienen unida la estructura del azúcar.	En el metal hay una red de átomos metálicos que están unidos y rodeados por una nube de electrones que facilita el flujo de la corriente. Por excitación de los estados electrónicos, de cada uno de los iones metálicos al tener energía cambia de estado electrónico lo que se observa como color.
V. El nivel de estructura atómica			El calor excita a los electrones de la capa de valencia del gas o metal de transición y hace que pasen de un estado de energía E1 a otro de mayor E2, al regresar al estado inicial emite luz con cierta frecuencia que está asociada a una longitud de onda en donde se absorben todos los colores menos el que emite. El color depende del número de electrones y del spin del elemento que absorbe un color del espectro visible. Al quemarse los electrones de valencia saltan a otros niveles de energía, según la magnitud del salto es el color que se observa. La energía está cuantizada y los elementos de transición en su capa electrónica presentan orbitales d cuya energía se desdobra y está asociada a una longitud de onda visible por lo que los movimientos de sus electrones producen color. En la pila los iones se disocian que viajan hacia los polos, la corriente es el flujo de electrones que son cargas negativas que van del polo negativo al positivo. En la barra metálica desfilan a los electrones del metal, en donde los átomos están acomodados como fichas de domino. La unión metálica se lleva a cabo en la capa mas externa de los átomos y los electrones de dicha capa tienen mayor movilidad lo que permite la conducción de electrones en los metales. En los metales los electrones de sus átomos están muy dispersos y forman un mar de electrones, los electrones de la corriente los golpea, éstos se desplazan moviendo más electrones y generando un flujo de ellos. Los electrones pasan por el metal en su superficie ocupando los orbitales desocupados. Por la diferencia de potencial se induce un flujo de electrones. El metal tiene redes cristalinas en las que los electrones se mueven de un átomo a otro lo que permite que los electrones viajen a través del metal.



9.2 DEC Los cambios de estado se producen por el aumento en la cantidad de calor, durante este proceso cambia el arreglo de la red cristalina del sólido durante los cambios de estado. En el aire las moléculas se aglomeran y suben como burbujas. Las características de las moléculas cambian teniendo un aumento en el movimiento, espacio (separación), vibración, rompimiento de puentes de hidrógeno o de enlaces covalentes, menor orden y unión por lo que disminuye la fuerza intermolecular, hay un cambio en la densidad, volumen, presión, se conserva la estructura de las moléculas. En el caso de la sublimación hay reducción molecular del yodo al yoduro. Para otros alumnos esto es posible ya que el yodo está en un punto de baja presión. El vapor es más ligero, hay menor interacción y rompimiento de enlaces de Van der Waals o puentes de hidrógeno por lo que el gas sube y se presentan cambios de estado al disminuir la rigidez en su estructura. Si el rompimiento de enlaces es brusco entonces hay sublimación. Estos cambios llevan a un aumento en la entropía.

DD. Modelos discretos de las disoluciones

9.1 DD La disolución es una solvatación, esto es, las moléculas de agua se separan y rodean a las moléculas de azúcar y los iones de sal. En este proceso se deshace la red cristalina y los hidrógenos del agua se acercan a los cloros y el lado del oxígeno al sodio. Hay una interacción dipolo-dipolo o en su caso ión-dipolo. Si la energía de la red cristalina es muy alta no se pueden separar los iones y no hay disolución. Las fuerzas que actúan durante la disolución son de tipo electrostático y hacen que el sistema tienda al equilibrio. Si la interacción molecular es covalente el agua no puede romper el compuesto (gis). La molécula de agua que es polar puede disolver a sustancias polares. Para algunos estudiantes las moléculas de azúcar quedan atrapadas en las del agua. La disolución es una solvatación de los cristales de azúcar o los iones de la sal y se lleva a cabo por una interacción entre soluto y disolvente a partir de fuerzas de Van der Waals, cohesión, adhesión e iónicas.

9.2 DD En la disolución de la sal se solvatan los iones rodeándose de moléculas de agua que forman interacciones electrostáticas por las características dipolares del agua. En la disolución las moléculas de agua que tienen una polaridad muy alta y rodean a las de azúcar que tienen un arreglo cúbico disolviéndola. El agua rompe los enlaces iónicos. En la disolución del azúcar se establecen puentes de hidrógeno con el agua en los cinco grupos polares del azúcar como aldehídos hidroxilos que forman esferas de solvatación agua-azúcar que son más estables. En la disolución de la sal en agua, se forman esferas de solvatación alrededor del cloruro de sodio que lo separan en iones, el agua termina solvatando los iones, el sodio se une del lado del oxígeno del agua y el cloro del lado del hidrógeno. Esta solvatación se presenta por el momento dipolar del agua que

interacciona como cargas formales con las cargas del sodio y el cloro. Los iones de sodio y cloro son más pequeños que la molécula de sal y se mueve fácilmente en la solución acuosa. Cualquier compuesto iónico se disuelve fácilmente en agua.

Modelo discreto de la producción de luz en una explosión y la conductividad de la electricidad

DL. Emisión de luz

9.1 DL Los compuestos tienen un color característico por la energía de los electrones de su capa de valencia. Las moléculas emiten distintas longitudes de onda y vemos un color complementario. Los metales de transición tienen varios niveles de energía y al pasar de un nivel a otro emiten energía que se transforma en color.

9.2 DL El calor excita a los electrones de la capa de valencia del gas o metal de transición y hace que pasen de un estado de energía E_1 a otro de mayor E_2 , al regresar al estado inicial emite luz con cierta frecuencia que está asociada a una longitud de onda en donde se absorben todos los colores menos el que emite. El color depende del número de electrones y del spin del elemento que absorbe un color del espectro visible. La energía está cuantizada y los elementos de transición en su capa electrónica presentan orbitales d cuya energía se desdobla y está asociada a una longitud de onda visible por lo que los movimientos de sus electrones producen color.

DCE. Conducción de la electricidad en metales

9.1 DCE Los metales conducen los electrones generados en la pila que van del ánodo al cátodo, éstos se alinean a los espacios de los electrones y forman un flujo de electrones que pasan a través de la barra metálica o bien alrededor de toda la superficie del metal. Los metales tienen una nube electrónica que está deslocalizada de su núcleo por lo que los electrones se pueden mover por una diferencia de potencial y por ello son buenos conductores.

9.2 DCE En el metal hay una red de átomos metálicos que están unidos y rodeados por una nube de electrones que facilita el flujo de la corriente que son cargas negativas que van del polo negativo al positivo. En la barra metálica desplazan a los electrones del metal, en donde los átomos están acomodados como fichas de dominó. La unión metálica se lleva a cabo en

la capa más externa de los átomos y los electrones de dicha capa tienen mayor movilidad lo que permite la conducción de electrones en los metales.

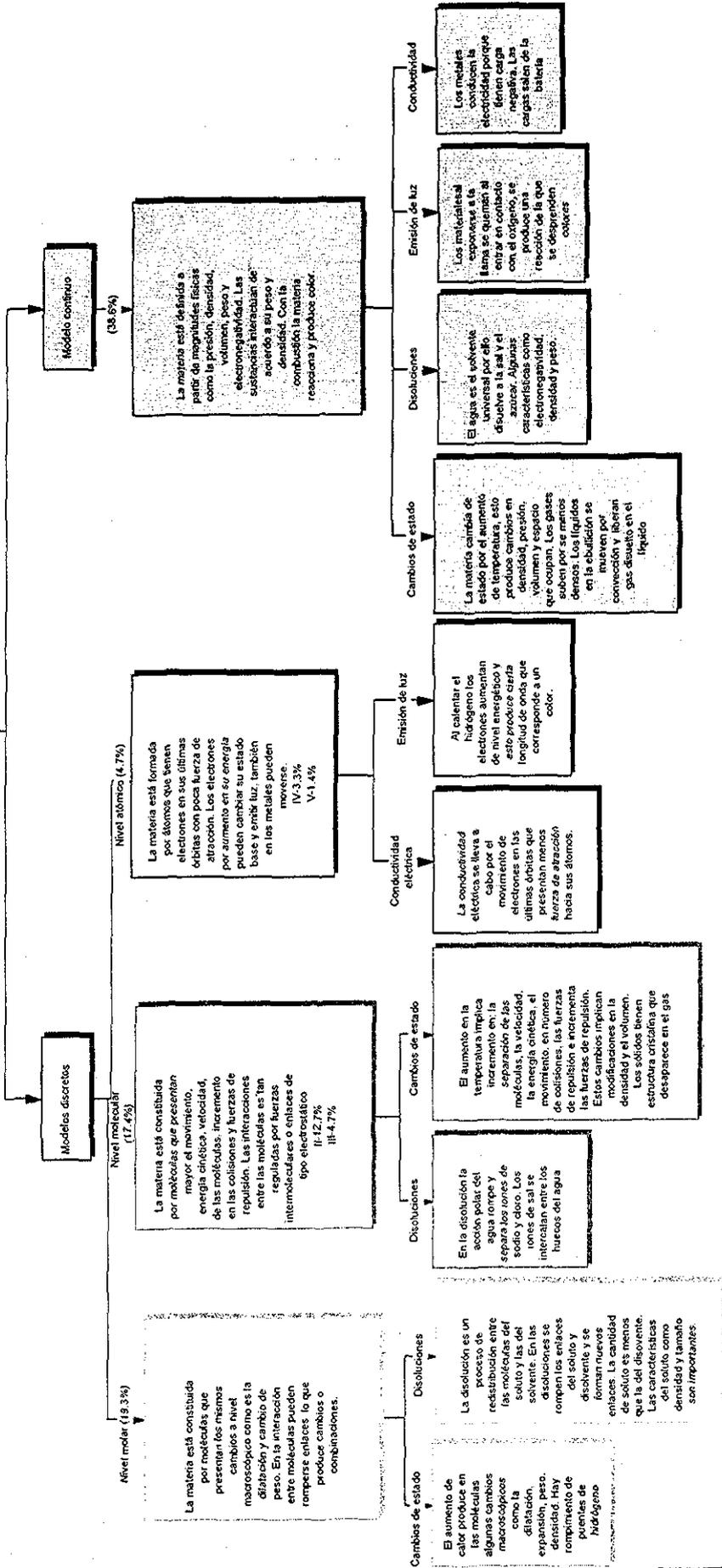
9.3 DCE Los electrones pasan por el metal en su superficie ocupando los orbitales desocupados. Por la diferencia de potencial se induce un flujo de electrones. El metal tiene redes cristalinas en las que los electrones se mueven de un átomo a otro lo que permite que los electrones viajen a través del metal.

4.1.3 Representación continua y discreta de la materia

De los distintos modelos que se presentaron en la sección anterior se construyeron por semestre modelos generales que representan las ideas de los estudiantes de cada nivel. A manera de ejemplo y para ilustrar cada uno de los modelos se han integrado segmentos de las entrevistas de los estudiantes. Las entrevistas transcritas pueden verse en el anexo 2

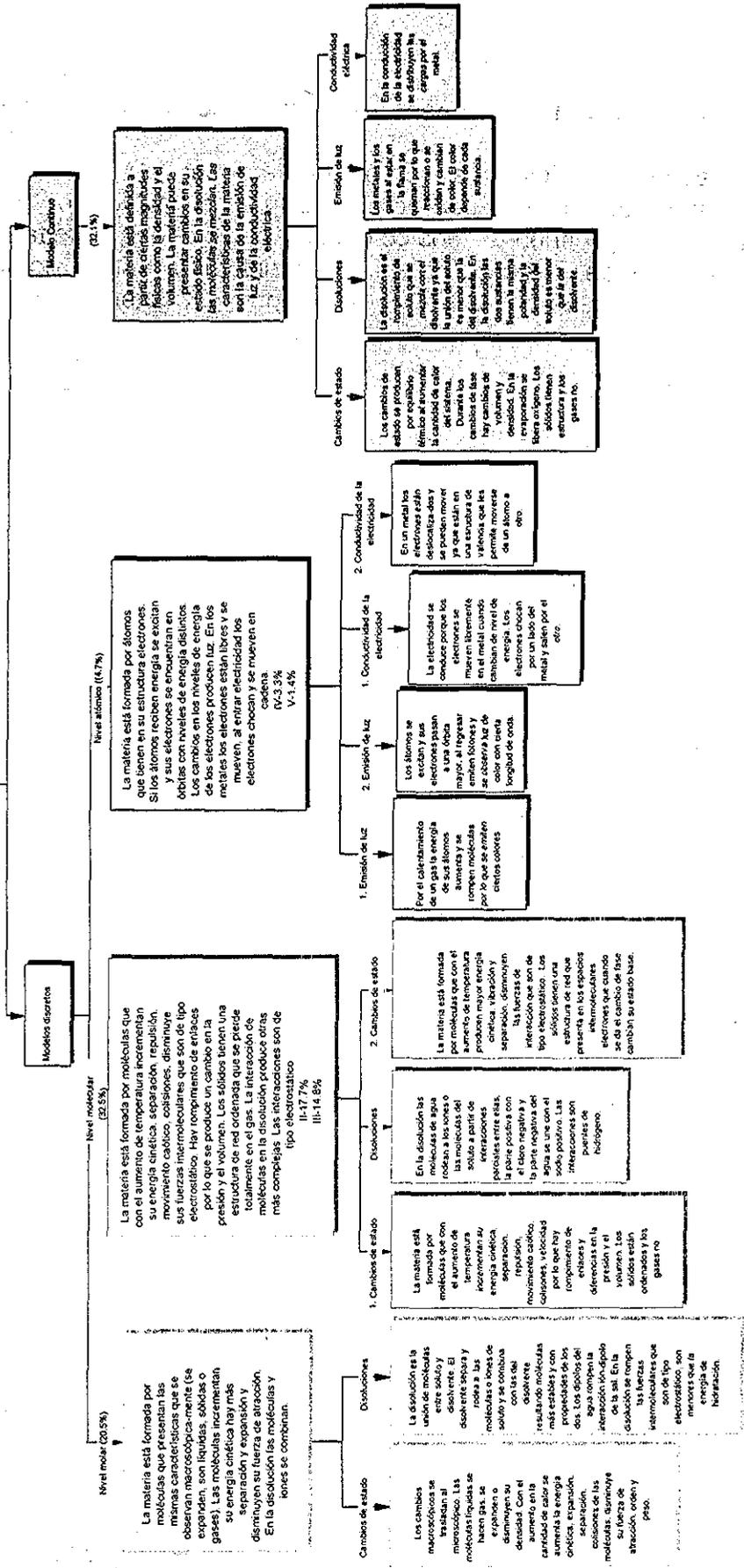
Los diagramas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 muestran de manera general la organización por categorías por semestre de las respuestas de los alumnos. En cada diagrama puede observarse la organización general de los modelos en función de los distintos contextos sobre los que se indagó, así como la generalización de los modelos continuo y discretos construidos a partir de los datos y el porcentaje de respuesta obtenido en los niveles generales.

Diagrama 4.10. Ideas de los estudiantes de primer semestre sobre estructura de la materia



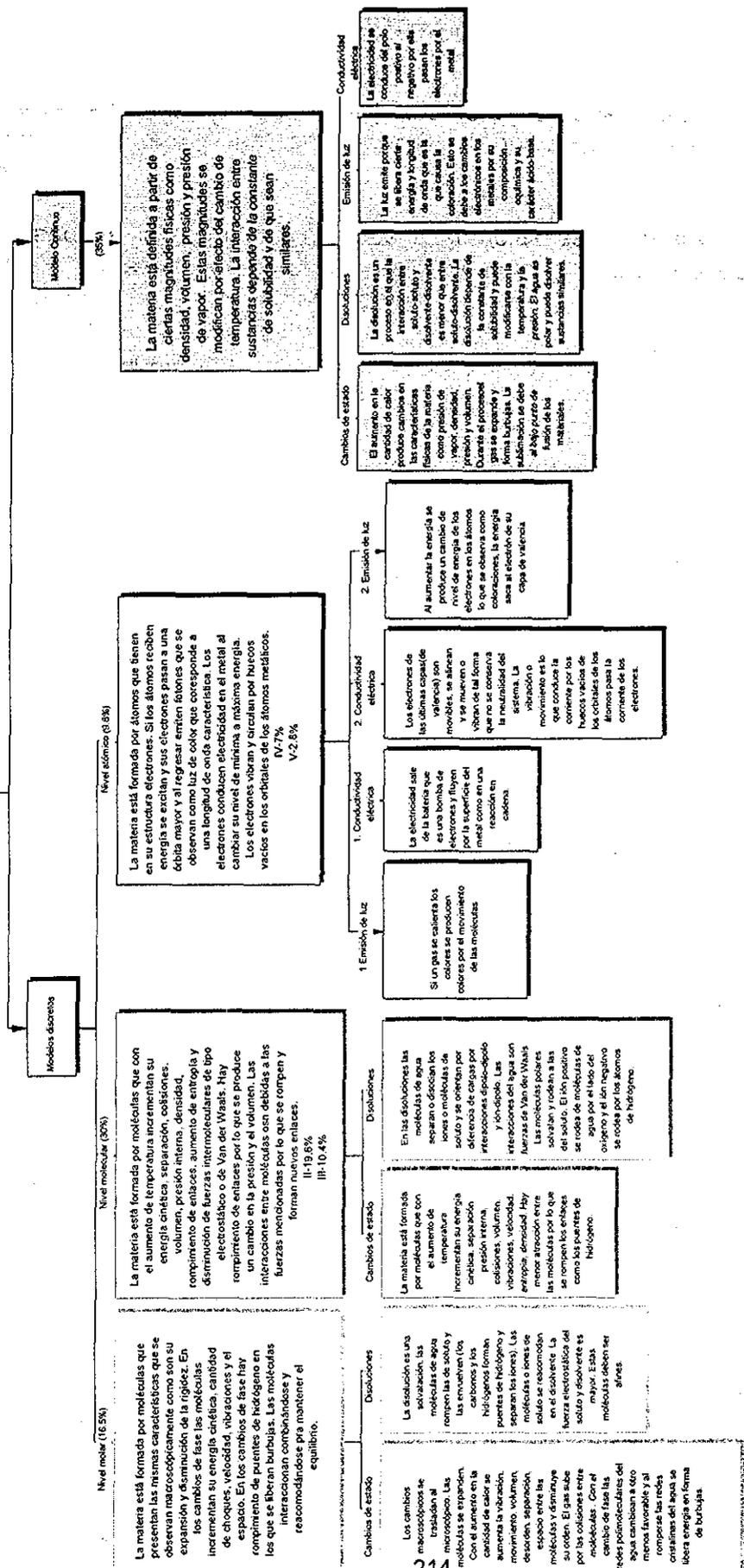
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Diagrama 4.11. Ideas de los estudiantes de tercer semestre sobre estructura de la materia



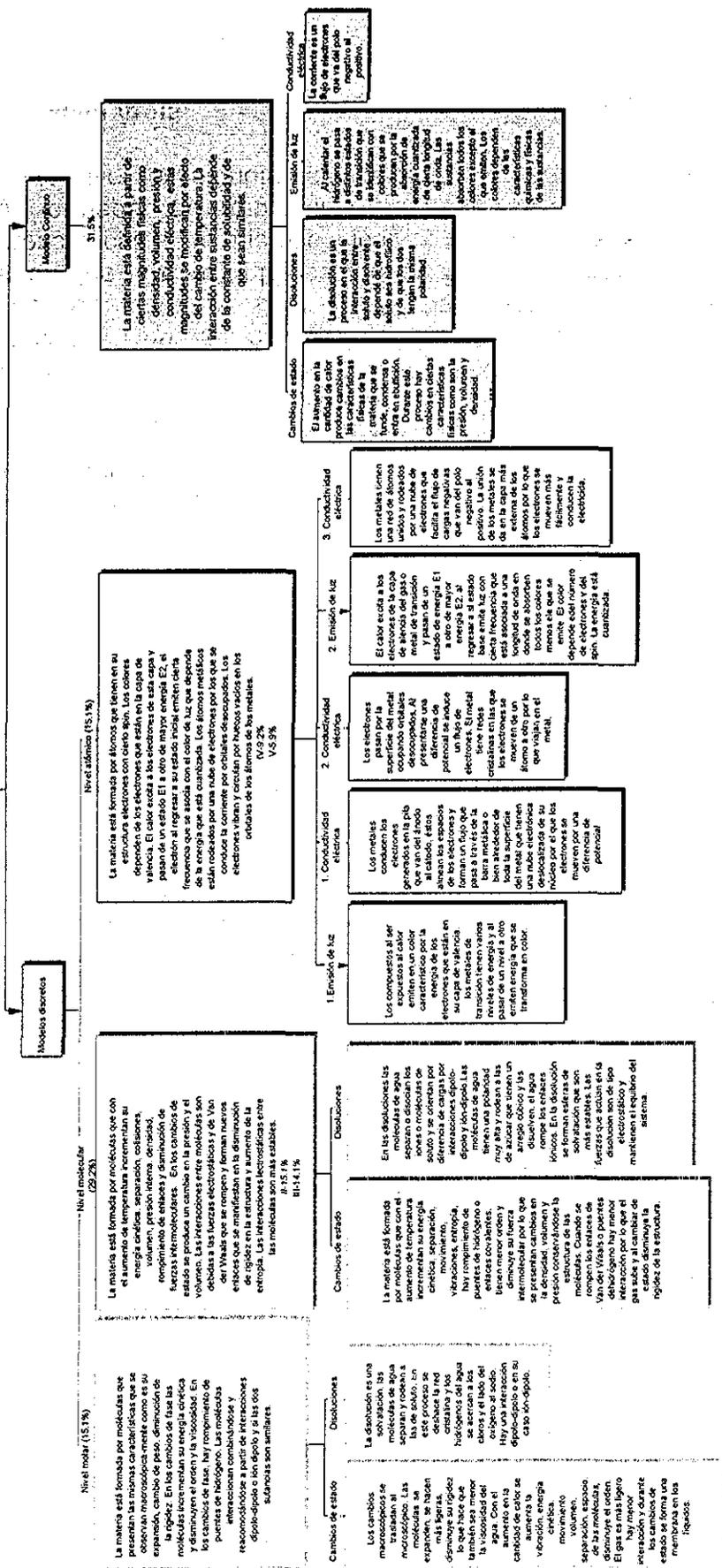
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Diagrama 4.13. Ideas de los estudiantes de séptimo semestre sobre estructura de la materia



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Diagrama 4.14. Ideas de los estudiantes de noveno semestre sobre estructura de la materia



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Síntesis de modelos de representación continua y discreta de la materia

A partir de los cuadros anteriores es posible establecer una representación general de los modelos utilizados por los estudiantes en sus explicaciones sobre los distintos aspectos fenomenológicos. A continuación se hacen explícitos los modelos y las particularidades encontradas dependiendo de los diferentes contextos fenomenológicos a los que dan respuesta.

En cada semestre puede encontrarse un modelo continuo que corresponde a las respuestas de mayor frecuencia en las categorías analizadas. Estos modelos difieren en cuanto a las características físicas que los estudiantes consideran como relevantes para la explicación de los cambios de estado y la descripción de los estados físicos de la materia, a continuación se presentan los elementos generales de los modelos que es posible construir a partir de los modelos ligados al contexto

Modelo continuo

Las características físicas de la materia que siempre son utilizadas por los estudiantes son: presión, densidad y volumen, otras magnitudes físicas que se mencionan peso, electronegatividad, presión de vapor y conductividad eléctrica. Las explicaciones en general son descripciones generales del proceso, tan sólo en las respuestas de los alumnos de tercer y quinto semestre se encuentran explicaciones causales, en ellas los estudiantes utilizan conceptos como equilibrio entre variables. Los alumnos de tercer semestre parten de una noción de estructura en los sólidos misma que se pierde en el caso de los gases como una característica de los estados físicos. La sublimación es interpretada por los alumnos de quinto semestre como una reacción ya que observan un cambio en el color del gas, mientras que los alumnos de séptimo semestre mencionan que se debe a su bajo punto de fusión.

La materia se considera continua y definida por la presión, volumen y densidad. El concepto de densidad es muy utilizado para explicar la flotación de un globo "*por ser menos denso el globo sube*"¹ (estudiante de quinto semestre) o como sinónimo de peso "*se hace más ligero y por eso sube*" (estudiante de noveno semestre) o bien puede ser empujado por aire o agua alrededor "*las burbujas son de oxígeno o gas y suben porque el agua las empuja*" (estudiante de primer semestre). En todos estos casos la representación de la materia es continua y ésta se mueve en conjunto. Los cambios de estado están más identificados con la idea de "*la materia se hace menos viscosa*" (estudiante de tercer semestre), o bien se "*rompen o forman membranas durante los cambios de fase*" (estudiante de tercer semestre). El concepto de "*ligero*" se aplica para explicar las características físicas

¹ Los textos que aparecen en itálicas corresponden a las respuestas de los estudiantes durante las entrevistas y los cuestionarios

que presentan cada uno de los distintos estados de la materia. Las explicaciones son cortas y descriptivas, en general, no hay explicaciones causales en este modelo.

En el caso de la disolución de dos sustancias éstas interactúan *“el azúcar se disuelve en el agua debido a que las interacciones entre el sólido y el disolvente son mayores, que si los tomamos individualmente”* (estudiante de tercer semestre), la interacción (ya sea que se disuelva o no) se presenta por un cambio de peso o densidad de las sustancias, *“el gis no se disuelve porque es más denso que el agua”* (estudiante de tercer semestre), para algunos estudiantes de séptimo y noveno semestres se debe al valor de la constante de solubilidad o bien porque las dos sustancias son similares y con igual polaridad *“el compuesto que forma el gis es no polar y el agua es polar por ello no se forma la solución”* (estudiante de tercer semestre).

Las explicaciones sobre emisión de luz o conductividad de la electricidad son un reflejo de las características propias de las sustancias, mismas que se mantienen siempre independientemente del tipo de interacción. Así, por ejemplo, una sustancia emite luz cuando al ponerse en contacto con el fuego, por el oxígeno, reacciona produciendo colores, *“los metales al oxidarse y ponerse a la flama dan coloraciones”, “son las propiedades químicas de los compuestos lo que permite que se formen los colores”* (estudiante de tercer semestre), algunos estudiantes de séptimo y noveno semestre argumentan que liberan energía y cierta longitud de onda que se observa como color, *“los colores absorben cierta frecuencia del espectro electromagnético y de acuerdo a ello se observan los colores característicos de los elementos”* (estudiante de séptimo semestre). La electricidad se representa como un flujo de “electrones” que se mueven con una dirección determinada pero depende de las características de los materiales, *“la electricidad se conduce a través de un polo positivo a otro negativo para que pueda tener corriente...”, “la corriente sale de la pila y llega a la lámpara por medio de los alambres y a la barra que son buenos conductores”* (estudiante de noveno semestre).

Modelo continuo

La materia es continua, existen distintos tipos de sustancias que tienen características propias que no se pierden durante los procesos de cambios de estado, disoluciones, conducción de electricidad y emisión de luz. Durante los procesos cambian algunas variables físicas como presión, densidad, volumen y peso. El cambio en el color es un indicativo de las características internas de la materia.

Modelos discretos

Los modelos discretos pueden distinguirse en tres distintos niveles: el nivel molar, el nivel molecular y el nivel atómico. En los dos primeros niveles los fenómenos que permiten integrar estas representaciones son los cambios de estado y las disoluciones, mientras que el último nivel fue construido con explicaciones de los procesos de emisión de luz y de conductividad eléctrica. En este caso las explicaciones tienden a ser causales directas.

Por otro lado la existencia del vacío no está presente en las explicaciones de los estudiantes, por ejemplo, en primer y tercer semestres, ningún estudiante mencionó la idea del vacío y uno señaló que entre las moléculas había presencia de fuerzas intermoleculares, en quinto semestre dos estudiantes mencionaron la existencia del vacío entre las moléculas y 2 más que era aire lo que estaba entre ellas, en séptimo semestre 2 alumnos explicitaron la idea que entre las moléculas hay vacío, uno que hay aire, otro igualó la idea de aire con el vacío y uno más que no dice lo que hay pero señala que el vacío no puede existir; en noveno semestre un estudiante mencionó que hay vacío y cuatro que existe aire u otro medio entre las moléculas.

Las entrevistas mostraron que de los 5 estudiantes de los cinco semestres entrevistados que sostenían la existencia del vacío entre las moléculas o al interior del átomo justificaron sus respuestas en función del tamaño *“no hay nada tan pequeño que pueda estar entre ellas”* (estudiante de noveno semestre), o bien la razón de que el modelo presente ideas sobre el vacío *“entre las moléculas debe haber un vacío, ese vacío es muy pequeño tomando en cuenta que las moléculas y átomos son extremadamente pequeños”* (estudiante de noveno semestre). Por el otro lado, los cinco estudiantes de la muestra no habían hecho explícito lo que debía haber entre las moléculas, en todos los casos estos estudiantes aseguraron que *“entre las moléculas debe haber aire”* (estudiante de quinto semestre) o bien algún otro gas, moléculas o fuerzas *“entre las moléculas hay espacio intermolecular en el que debe haber fuerzas que las mantengan unidas... pueden ser puentes de hidrógeno”* (estudiante de primer semestre), en un caso una estudiante de quinto semestre mencionó que en la naturaleza no puede existir el vacío.

No incorporar la noción de vacío en los modelos discretos implica que, los modelos de los estudiantes comparten características entre el modelo continuo y los discretos, es decir entre las moléculas hay una cierta cantidad de sustancia que tiene características muy especiales que le permiten ubicarse dentro de moléculas y átomos sin afectar las características propias de un modelo mecánico corpuscular.

Nivel molar

En este nivel los estudiantes, de todos los semestres, expresan que la materia está formada de moléculas y trasladan algunas de las características macroscópicas a las microscópicas como son: la expansión, tienen la forma de los estados que forman (líquidos o gas), pierden rigidez, se dilatan o se hacen más ligeras *“en fase sólida las moléculas están rígidas y compactas no tienen movimiento. Cuando pasa de sólido a líquido las moléculas pierden su rigidez y recuperan su movimiento al pasar al estado gaseoso las interacciones se rompen y las moléculas se disocian”* (estudiante de noveno semestre).

De igual manera coinciden en que las moléculas cambian ciertas variables durante los procesos de cambio de estado, sin embargo, éstas difieren semestre a semestre: en el primer semestre tan sólo se hace referencia a las características macroscópicas del nivel microscópico; los estudiantes de tercer semestre piensan en cambios de la energía cinética, aumento en la separación molecular y disminución de la fuerza de atracción *“las partículas de la fase sólida están mucho más unidas y con el calor se van separando y cambian de estado, ...las partículas que estaban en estado líquido se evaporan”* (estudiante de tercer semestre); en quinto semestre los estudiantes argumentan que las moléculas vibran y hay fuerzas de repulsión; para los estudiantes de séptimo y noveno semestres cambia la energía cinética, las vibraciones, la velocidad y la cantidad de choques y para el noveno semestre los cambios se presentan en la energía cinética y la viscosidad *“las burbujas se forman porque el calor suministrado al sistema aumenta la energía cinética de las moléculas y éstas se vuelven más ligeras de modo que el agua se convierte en vapor de agua...”* (estudiante de noveno semestre). Otro aspecto en que difieren es en la consideración de cierto orden en el estado sólido mismo que se pierde en los gases (esto aparece en estudiantes de quinto, séptimo y noveno semestres; ligado al orden también aparece la idea de enlaces entre moléculas que se rompen (séptimo y noveno semestres) *“cuando pasa de sólido a líquido las moléculas pierden su ordenamiento y la vibración y movimiento es mayor en cuanto pasa de líquido a sólido es mucho mayor el movimiento de las moléculas y se expanden...”*

En este modelo la disolución es un proceso de redistribución entre las moléculas de soluto y disolvente *“el agua tiene la propiedad de disolver sustancias tanto polares como no polares entonces, el azúcar que es no polar se disuelve acomodándose entre los espacios que hay entre las moléculas de agua”* (estudiante de quinto semestre), los alumnos de tercer semestre indican que el disolvente rodea al soluto y separa sus moléculas o iones para los alumnos de quinto, séptimo y noveno semestres se mantiene el equilibrio electrostático. Para los primeros semestres la cantidad de soluto es menor siempre que la del disolvente, la característica del soluto más importante es el tamaño *“el gis no se disuelve porque los granos del gis son más grandes que los espacios entre las moléculas del agua”* (estudiante de primer semestre) y la densidad *“el gis no se*

disuelve porque es más denso que el agua” (estudiante de primer semestre), en general la consideración de que lo similar disuelve a lo similar aparece continuamente en todos los niveles escolares. En la redistribución hay rompimiento de enlaces y la formación de nuevos enlaces. A partir del tercer semestre los alumnos explican la disolución como el rompimiento de los dipolos del agua que presentan interacciones ión-dipolo o bien dipolo-dipolo “las características de dipolo-dipolo del agua permiten que se disuelvan las sustancias” (estudiante de tercer semestre).

Modelo molar

(I) La materia está formada por moléculas que durante ciertos procesos sufren cambios equivalentes a los que ocurren en la materia en el nivel macroscópico. Los arreglos, el movimiento y separación entre las moléculas definen los estados de la materia. Las moléculas de las sustancias no cambian durante los procesos manteniendo siempre sus características. Moléculas de dos tipos de sustancias pueden interactuar distribuyéndose unas en otras. Estas interacciones se presentan debido a variables externas a ellas.

Nivel molecular

El segundo modelo discreto está caracterizado dentro del nivel molecular, en éste caso todos los estudiantes consideran que la materia está formada por moléculas que incrementan su energía cinética, velocidad y colisiones entre ellas durante los procesos de cambio de estado *“las moléculas en el vapor de agua están muy separadas, la energía cinética es mayor en el líquido las moléculas están separadas ligeramente y la energía cinética es mínima. En el hielo las moléculas están tan pegadas que no se mueven prácticamente nada y la energía cinética es igual a cero. Entre las moléculas existe aire que se puede definir como moléculas gaseosas más pequeñas que las del agua” (estudiante de noveno semestre).*

Para explicar la disolución se acude al concepto de polaridad como una fuerza electrostática *“las fuerzas intermoleculares soluto-disolvente son mayores que las de soluto-soluto y disolvente-disolvente, si las fuerzas de unión son mayores, el sistema tiende a formarse por ello se disuelve la sal en agua. El agua es polar y la sal es un compuesto iónico por eso se dan atracciones electrostáticas que permiten la disolución” (estudiante de séptimo semestre)* debido a estas interacciones se explica la introducción del soluto en los huecos del disolvente o que el disolvente rodea al soluto. *“Las moléculas de azúcar poseen una parte polar y una no polar, la parte polar se une a las moléculas de agua provocando que ésta se disuelva perfectamente en ella. Las moléculas de agua son más pequeñas que las de azúcar, sin embargo, los espacios entre las moléculas de agua son suficientemente grandes para que las de azúcar ya separadas se introduzcan entre las de agua” (estudiante de tercer semestre)*

Nivel de estructura molecular

El tercer modelo discreto está caracterizado al igual que en el anterior como que la materia está constituida por moléculas que incrementan su energía cinética, velocidad y colisiones entre ellas, sin embargo, a partir de tercer semestre durante los cambios de fase, se presenta un rompimiento de enlaces identificados como puentes de hidrógeno esto produce un cambio macroscópico en la materia en la presión y el volumen. Con el avance de los semestres los estudiantes incrementan las características de este modelo, por ejemplo, los estudiantes de tercer y quinto semestres incorporan la idea de fuerzas intermoleculares considerándolas como electrostáticas o bien de Van der Waals y el movimiento caótico en los gases; los alumnos de séptimo y noveno semestres añaden a las anteriores que la materia cambia su densidad y entropía.

El orden es el único referente que hay a la estructura de la materia señalando que los sólidos son ordenados y en muchos casos sin movimiento, y el gas pierde todo orden. Cabe mencionar, que en ninguno de los dos casos la idea de orden que presenta una imagen de cierta estructura se describe para los líquidos (aun en los dibujos los líquidos están representados como una separación y orden intermedio entre las características de los sólidos totalmente juntos y ordenados y los gases en movimiento caótico y mayor separación) *“En el cambio de sólido a líquido las moléculas se separan un poco provocando mayor movilidad, (el sólido tiene orden y el líquido menos orden), en el cambio de líquido a gas las moléculas se separan aún más por lo que se mueve al azar”* (estudiante de tercer semestre)

A partir de quinto semestre para explicar la disolución, los estudiantes, identifican como causa la separación y orientación por cargas. La presencia de fuerzas intermoleculares explica la organización de la materia. Por otro lado, las explicaciones que surgen partir de quinto semestre utilizan el concepto de fuerzas de Van der Waals y formación de puentes de hidrógeno, que separan los iones *“los iones de sal se disocian en agua”* (estudiante de quinto semestre) identificando en todo momento como causa de la reorganización la presencia de cargas positivas y negativas que forman enlaces ión-dipolo o bien dipolo-dipolo. El equilibrio de fuerzas electrostáticas es la interpretación que dan los estudiantes para explicar la disolución o la imposibilidad que ésta se presente entre dos compuestos. De manera implícita, en todas estas explicaciones, está la idea de que las moléculas están formadas por átomos que son los causantes de la fuerza de atracción o repulsión entre las moléculas. La incorporación de un modelo mecánico de partículas regulado por fuerzas intermoleculares de tipo electrostático dirige la construcción de explicaciones dentro de este modelo.

Modelo molecular

(II) En un primer nivel la materia está formada por moléculas con movimiento, velocidad, y energía cinética por lo que se presentan colisiones entre ellas. Las variaciones en su movimiento se reflejan en características macroscópicas como son la presión, volumen y temperatura. Cambios en el estado de movimiento de las moléculas producen modificaciones en el orden y organización de las mismas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.

(III) En un segundo nivel de estructuración las explicaciones de organización de las moléculas están reguladas por la presencia de fuerzas electrostáticas entre ellas, el origen de estas fuerzas proviene de considerar a las moléculas formadas por átomos que tienen cargas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.

Nivel atómico

En el cuarto modelo aparece de manera más clara la idea de la presencia de átomos como constituyentes de la materia. Esta noción de átomo que forma moléculas se encuentra en las explicaciones que dan sobre la disolución *"La sal es iónica y el agua solvata los iones que se encuentran en una red cristalina, poco a poco esta red se va deshaciendo por acción del agua, los hidrógenos se acercan más al cloro negativo y el lado O-H por el oxígeno se acerca más al sodio positivo"* (estudiante de tercer semestre). Sin embargo, en problemas sobre emisión de luz o conductividad eléctrica, el elemento principal en las explicaciones es el electrón. De manera vaga se hace mención a una estructura con la presencia de niveles de energía o aumento o disminución de fuerzas de atracción de los electrones de las últimas órbitas

Al parecer existe una noción de átomo con una estructura en la que los electrones suben y bajan debido al aumento de energía, sin embargo, los electrones en un modelo metálico, en general, se consideran libres de circular entre los distintos átomos moviéndose ya sea de manera aleatoria saltando de un átomo a otro o bien de manera ordenada como en una reacción en cadena en el que una vez que un electrón entra al sistema otro debe salir, esto es, un sistema lineal *"En los metales, los electrones de los átomos se encuentran muy dispersos formando lo que se conoce como mar de electrones y cuando los electrones provenientes de la batería los golpean, éstos se desplazan, moviéndose más electrones y generando un flujo de ellos"* (estudiante de noveno semestre).

El quinto modelo discreto surge a partir del quinto semestre; en él, los estudiantes añaden una descripción de bandas en las que los electrones tienen posibilidad de moverse y aquellas en las que no lo pueden hacer con lo que se explican fenómenos como la conductividad de la electricidad *“La estructura de un metal está constituida por redes cristalinas en las que los electrones pueden moverse de un átomo a otro lo cual no impide que los electrones viajen a través del metal”* (estudiante de noveno semestre). En alumnos de noveno semestre estas bandas se transforman por nubes electrónicas deslocalizadas del núcleo con lo que explican la movilidad de los electrones, aparecen nociones de redes cristalinas en las que los electrones pueden viajar por la estructura del metal *“la unión metálica se da en la capa electrónica más externa de los átomos y los electrones de dicha capa tienen una mayor movilidad lo que permite la conducción de electrones a través de los metales”*.

En cuanto a las explicaciones sobre la emisión de luz, éstas recurren a conceptos más complejos, en noveno semestre los alumnos hacen mención a los cambios de niveles de energía específicos y cómo éstos estarán ligados a la emisión de luz de cierta frecuencia o longitud de onda *“Al administrar energía a algunos metales de transición, los electrones de la capa de valencia de éstos pasan a un orbital de mayor energía y más tarde regresan desprendiendo la misma cantidad de energía que percibimos como luz de color”* (estudiantes de noveno semestre) El color dependerá del número de electrones de los elementos y del espín.

Modelo atómico

(IV) En un primer nivel la materia está formada por átomos que interactúan con otros átomos a partir de fuerzas electrostáticas. Los átomos están formados por electrones que giran alrededor de un núcleo y al que están unidos por fuerzas eléctricas. Variaciones en la energía hacen que los átomos cambien de nivel energético lo que produce fenómenos macroscópicos como emisión de luz de color o la conductividad eléctrica. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.

(V) En un segundo nivel se especifica la estructura de un sistema como puede ser el metal en el que los electrones, dentro de una banda, pueden moverse con facilidad tanto a lo largo del metal como dentro de los átomos. En este nivel está presente implícitamente cierta incertidumbre, lo que abre las posibilidades de manejo del modelo atómico. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.

4.1.4 Identificación de modelos atómicos

En este rubro se presentan las respuestas de los estudiantes en la selección de los modelos presentados en la pregunta 9 del cuestionario 2. En la tabla 4.15 se muestra la frecuencia de respuestas de los alumnos por semestre. Los porcentajes presentados están calculados con relación a la población total, entre paréntesis se encuentran los valores que corresponden al porcentaje con relación al número de alumnos por semestre.

Los modelos que se presentaron a los estudiantes, se muestran en la figura 4.1, tal y como aparecieron en los cuestionarios.

Tabla 4.15
Porcentajes de respuestas por modelo y semestre

Modelo	Semestre					Total (%)
	1° (%)	3° (%)	5° (%)	7° (%)	9° (%)	
S/c		1.9 (8.7)	0.9 (6.3)	2.8 (14.3)		5.6
1	4.6 (20)	4.6 (21.7)	0.9 (6.3)	0.9 (4.8)	0.9 (4.3)	12
2	13 (56)	5.6 (26.1)		4.6 (23.8)	4.6 (21.7)	27.8
3		0.9 (4.3)	0.9 (6.3)			1.9
4	0.9 (4)	4.6 (21.7)	7.4 (50)	4.6 (23.8)	6.5 (30.4)	24.1
5	1.9 (8)	0.9 (4.3)	1.9 (12.5)	6.5 (33.3)	4.6 (21.7)	15.7
6	0.9 (4)				0.9 (4.3)	1.9
7	0.9 (4)					0.9
8		2.8 (13)			0.9 (4.3)	3.7
1,2	0.9 (4)		0.9 (6.3)		1.9 (8.7)	3.7
2,5			0.9 (6.3)			0.9
4,1,3			0.9 (6.3)			0.9
4,5,6,7					0.9 (4.3)	0.9
Total	23.1 (100)	21.3 (100)	14.8 (100)	19.4 (100)	21.3 (100)	100

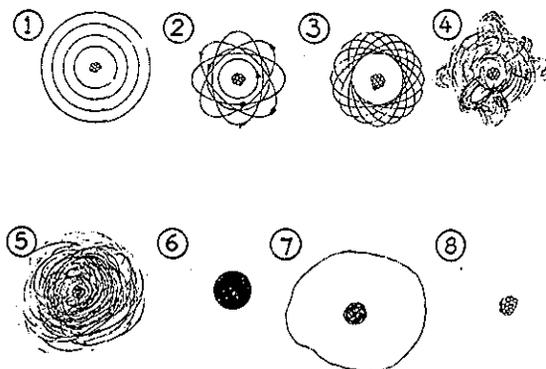
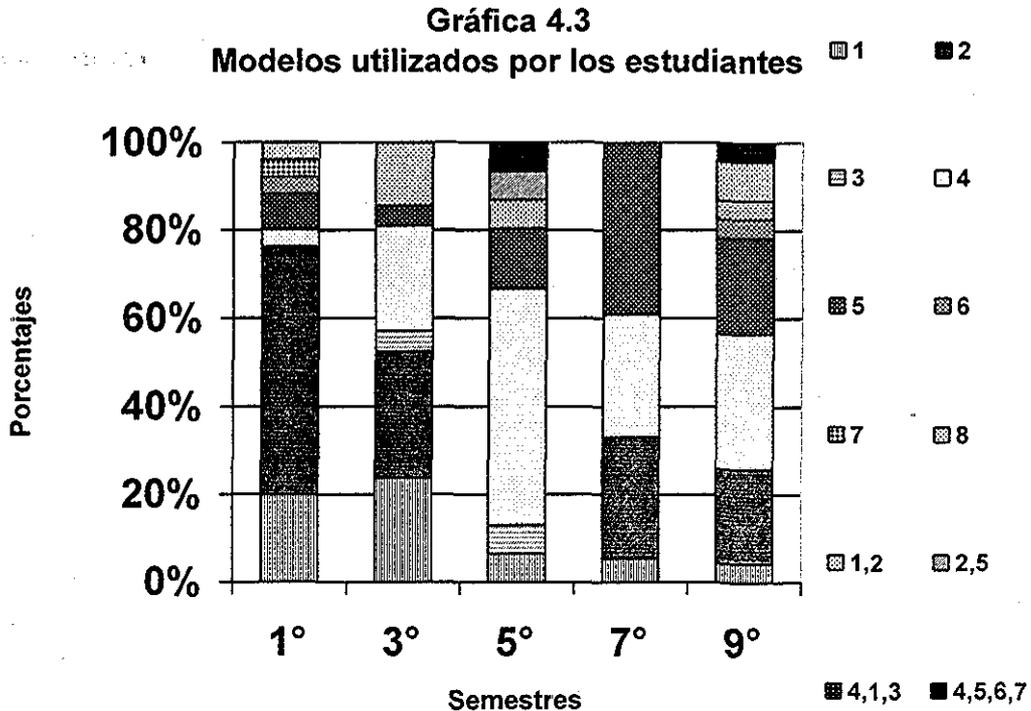


Figura 4.1. Modelos atómicos presentados en el cuestionario 2.

En la gráfica 4.3, se muestra la distribución por semestre, cada columna representa el 100% de los estudiantes por semestre:



La mayoría de los estudiantes seleccionan uno o varios modelos, en general, esto lo hacen en función de aquel que mejor recuerdan, o bien, es la mejor representación que tienen de los átomos. Cuando escogen más de un modelo los estudiantes explican que dependiendo del tipo de problema será el tipo de representación de modelo que utilizan durante sus explicaciones

El modelo que tiene mayor porcentaje (27.8%) es el que corresponde a Bohr-Sommerfeld, éste es el modelo que les resulta más familiar, si bien en todos los niveles escolares el porcentaje resulta ser alto, es significativo, que lo sea mucho más para el primer semestre (56% más de la mitad de la población del semestre). En segundo lugar se encuentra el modelo 4 (24.1%), que corresponde a una interpretación de los niveles de energía en un modelo cuántico y probabilístico, en este caso los alumnos de primer semestre tienen el menor porcentaje alcanzado (4% de la población del semestre) mientras que los alumnos de quinto (50% de la población del semestre) y noveno semestres (30.4% de la población del semestre) son los que presentan un mayor porcentaje de identificación del modelo. Esta diferencia que resulta significativa implica un cambio en el tipo de representación

de los modelos atómicos en función de los contenidos estudiados durante la formación escolar.

En tercer lugar, se encuentra el modelo 5 (15.7%), que representa una nube electrónica uniforme alrededor del núcleo, en este caso los estudiantes de séptimo (33.3% de la población del semestre) y noveno semestres (21.7% de la población del semestre) muestran nuevamente que la incorporación de un tipo de representación probabilística está presente. El cuarto lugar lo ocupa el modelo 1 (12%), que tiene una representación del átomo de Bohr, los estudiantes que utilizan este tipo de representación están en el primer semestre (20% de la población del semestre) y el tercer semestre (21.7% de la población del semestre). Las demás representaciones alcanzan porcentajes muy bajos que nos hablan de dispersión en el tipo de representaciones atómicas

Durante las entrevistas se preguntó sobre los distintos tipos de modelos seleccionados, a continuación se presenta un ejemplo de las respuestas que justifican las elecciones de los estudiantes.

¿Por qué escogiste el modelo 6?

M² Porque los electrones se mueven tan rápido que son como una nube... se mueven tan rápido que sería imposible ver al núcleo pero si se mueven tan rápido quiere decir que tal vez sí sea visible, entonces cambiaría por el 5 ya que las órbitas no pueden ser tan perfectas y ordenadas. Los electrones en las órbitas tienen un orden pero no está definido, el electrón de hecho no está en las órbitas (estudiante de primer semestre).

Lo anterior implica la diversidad de representaciones sobre el modelo atómico que los estudiantes tienen y cómo éste se va transformando en el transcurso de la formación escolar. Es notorio que los modelos cuánticos en sus cuatro versiones (4, 5, 7 y 8) aparecen con mayor frecuencia a partir del quinto semestre.

¿Por qué elegiste el modelo 4?

S. es el que nos han propuesto como el que mejor explica cómo pueden estar los electrones en el átomo es razonable que debido a que los electrones se están moviendo siempre alrededor del núcleo a una cierta velocidad y esas trayectorias aunque no son tan aleatorias por eso hay orbitales, no es tan simple como una órbita determinada, no se puede saber en todo momento donde está el electrón sino más o menos donde podría estar según los nuevos modelos que explican el movimiento (estudiante de tercer semestre).

² La letra representa el nombre del alumno

¿Por qué no te gustaron los otros?

S. Porque el electrón no se sabe en donde están los electrones en la nube alrededor del átomo no están localizados sino que se mueven a cierta distancia y en un cierto espacio alrededor del núcleo. Se habla sobre probabilidad del electrón por ejemplo aquí se ven ciertas zonas donde está más denso y es probable encontrar al electrón en esa órbita y aquí pareciera que es un conjunto de electrones que se encuentran todos en movimiento y con la misma probabilidad de encontrar un electrón en cualquier lado alrededor del núcleo incluso en este modelo hay zonas en donde la probabilidad de encontrar un electrón es cero, en ciertas distancias radiales (estudiante de tercer semestre).

Durante las entrevistas y en algunas de las explicaciones de los estudiantes encontramos que reconocen la existencia de protones y neutrones en el núcleo y que hay alrededor electrones o nubes de electrones. Durante las entrevistas se muestra que el centro tiene masa mientras que los electrones no.

¿Qué es lo que hay en el centro?

M. protones y neutrones (estudiante de primer semestre)

¿Y alrededor?

M. Electrones, nubes de electrones. Los círculos son como en un sistema solar, representa el camino que sigue (estudiante de primer semestre)

A los electrones se les relaciona con un modelo cuántico y con la idea de longitud de onda.

¿Qué representación del átomo te es más cercana? ¿Elegiste el 8 por qué?

MA. Porque la mayor masa del átomo está en el centro, o sea en el núcleo y los electrones no tienen ninguna, los orbitales no son como pensábamos o sea una línea redonda, no son círculos porque los orbitales son como longitudes de onda, el electrón puede estar aquí pero de repente puede estar allá sin pasar por en medio entonces no podemos dibujar las trayectorias. Un electrón no tiene trayectoria. Los electrones tienen un poco de movimiento, sobre su propia longitud de onda, o sea como que tienen cierta energía se pueden mover sobre su propia longitud de onda (estudiante de tercer semestre).

En sus representaciones sobre el modelo atómico los estudiantes hacen referencia al núcleo como el elemento masivo del átomo, otro aspecto que los

caracteriza es la neutralidad esto es que no presentan carga. Los átomos se identifican como elementos independientes cuyos componentes son siempre los mismos. La incorporación de nociones de cuantización o probabilidad se presenta con mayor frecuencia en alumnos con mayor escolaridad.

4.1.5 Comentarios y conclusiones de la primera sección

Los resultados hasta ahora presentados muestran la presencia de distintos modelos que coexisten en las explicaciones de los estudiantes, la aparición de estos modelos dependen de los contextos específicos en los que fueron generados y de la manera en la que las preguntas son formuladas. Los modelos encontrados son 6, el primero está referido a una representación continua de la materia y cinco más que presentan distintos niveles de interpretación de una representación discreta de la materia en la que la noción de vacío está ausente. Un alto porcentaje de estudiantes emplean los dos tipos de representación en sus explicaciones: la continua y la discreta y más de un modelo dentro de la representación discreta. Existe sin embargo un pequeño grupo de estudiantes que siempre hacen uso de una representación continua o discreta en sus explicaciones, cabe aclarar que la población que utiliza solamente representaciones continuas es menor que aquellos que utilizan representaciones discretas por contexto fenomenológico. Los estudiantes que utilizan siempre una representación discreta mantienen distintos modelos discretos y por lo general se encuentran en los niveles de mayor escolaridad.

Por otro lado las nociones expresadas en la selección y justificación de los modelos atómicos expresan el cambio en el tipo de modelos que los estudiantes consideran a lo largo de su formación como elementos representativos del modelo atómico que concuerda con los modelos discretos del cuarto y quinto niveles ya presentados.

Los modelos continuos y discretos hasta ahora presentados muestran:

- Algunos estudiantes en ninguna de las representaciones desechan la percepción continua de la materia y que esta noción es integrada en sus explicaciones y modelos abstractos sobre la estructura interna de la materia
- En las explicaciones del modelo continuo la materia se mantiene constante como sustancia y cambia debido a la aparición de elementos externos como la cantidad de calor o la presión
- En todos los modelos tanto continuos como discretos se utilizan conceptos como la presión, volumen, temperatura y densidad para explicar los distintos fenómenos que son utilizados para explicar modificaciones sobre el estado de la materia
- El modelo continuo es general e independiente del contexto fenomenológico del problema, esto es, se presenta en todos los fenómenos

- Los modelos discretos por su parte son dependientes del contexto fenomenológico. De acuerdo al tipo de contexto al que se refiera la pregunta será el o los modelos discretos que se utilicen preferentemente. Así los modelos molar y molecular (en sus dos niveles) aparecen con mayor frecuencia en fenómenos de cambios de estado. Los modelos moleculares, (en sus dos niveles) y en algunos casos el primer nivel atómico aparece con mayor frecuencia en fenómenos relacionados con las disoluciones. Los niveles atómicos son utilizados para explicar fenómenos de emisión de luz y conductividad eléctrica.
- Los modelos discretos que tienen elementos de niveles moleculares y atómicos son utilizados con mayor frecuencia por estudiantes de niveles escolares superiores al quinto semestre lo que muestra la influencia de la escolaridad en la construcción de representaciones.
- En general los modelos discretos utilizados por los estudiantes son una combinación entre sus conocimientos intuitivos sobre la materia y conceptos y representaciones de los modelos cinético molecular, cuántico y de distintos modelos atómicos. En este sentido la ausencia de vacío en los modelos de partículas resulta un elemento importante en la conformación del modelo de los estudiantes.
- Las teorías y modelos escolares son incorporados de manera parcial y desde la perspectiva de las ideas previas de los estudiantes. Esto ubica a los modelos de los estudiantes como modelos de transición, esto es, que incorporan elementos de los modelos de partículas escolares pero integrados desde el marco de interpretación de los estudiantes.

4.2 Relación entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes

4.2.1 La representación continua de la materia

Para analizar la relación entre el modelo continuo de la materia que describen los estudiantes y los modelos históricos, se retomarán algunos elementos de la representación aristotélica del mundo. La comparación muestra semejanza entre los modelos en tres aspectos:

1. Para Aristóteles existe dependencia entre la materia y la forma que definen un objeto, la forma identifica las propiedades específicas del objeto, es decir, las propiedades que lo hacen ser lo que es. La naturaleza está regida por causas específicas que son la materia que es potencia y la forma que es el acto. Para los estudiantes, la materia está definida por sus propiedades específicas en las que incorporan conceptos como presión, volumen, temperatura, peso y densidad.
2. Para Aristóteles la fuente del conocimiento está en los sentidos. El mundo se percibe, se ve, se siente y así se comprende. Un objeto rojo es rojo y un

alimento dulce es dulce. Ésta es una concepción del mundo, de las cualidades que constituyen la realidad. Las explicaciones de los estudiantes en el modelo continuo giran en torno a lo que es percibido por sus sentidos y, más aun, los fenómenos son consecuencia de la materia de la que están formados. De esta manera explicaciones de los estudiantes como que los metales conducen porque el metal es buen conductor o que los gases son ligeros y por eso suben, caen dentro de este tipo de perspectiva.

3. Un tercer punto de la representación aristotélica es considerar que la materia es continua y, por ende, infinitamente divisible. La negación de la existencia del vacío resulta ser una concepción que surge de manera natural de lo macroscópico y perceptible, la ausencia del vacío hace imposible la concepción de átomo por lo que la visión del mundo es continua. Si bien para la mayoría de los estudiantes no existe una negación del vacío, sí lo es, si es visto y analizado como parte de la materia, ya que como se ha mostrado no hay identificación del vacío como parte constitutiva de la materia que se considera continua.

Hasta este punto la visión de los estudiantes cuyas respuestas están dentro del modelo continuo corresponde con los tres aspectos antes señalados. Sin embargo, el vacío puede considerarse como un elemento que se filtra hasta la representación discreta en el que una noción de materia continua y discreta se comparte a lo largo de la historia y en las ideas de los estudiantes investigados como se ha mostrado en las ideas que corresponden al modelo continuo.

4.2.1.1 El éter como un elemento de unión entre las representaciones continua y discreta

De los resultados obtenidos de las ideas de los estudiantes se observa la existencia de un continuo entre partículas. Es por ello que resulta necesario hacer un análisis de los modelos históricos en los que subyace un continuo, esto es, la incorporación de elementos de interpretación mecanicista en los que subsiste un sustrato en el que las moléculas se mueven, vibran y presentan ciertos arreglos. La presencia de una materia continua que ocupa todo el espacio y que se introduce en la materia coincide con la noción histórica del éter.

Desde la perspectiva de la historia el concepto de materia que ocupa todo el espacio está relacionada de dos formas: a partir de la constitución de la materia, y en función de evitar una acción a distancia, esto es, establecer la existencia de un medio transmisor de fuerzas o materiales. En los dos casos se niega la existencia de un espacio sin materia en el que los fenómenos físicos puedan suceder.

En el primer caso se encuentra la noción de éter aristotélica en el que éste es reconocido como el quinto elemento, esto es, un tipo de materia que explicaba la

esencia material del mundo supralunar que se encuentra en las últimas esferas del universo, después de los planetas y la luna.

En acuerdo con esta idea se encuentra la representación del mundo de Descartes (1634-1706) quien niega la existencia del vacío e incorpora la noción de un primer elemento, el fuego, que penetra todo objeto material:

“Concibo al primero (elemento), que podemos nombrar el elemento del fuego, como un licor, el más sutil y penetrante que haya en el mundo;... sus partes son mucho más pequeñas y se mueven mucho más rápidamente que las de cualquier otro cuerpo. ...no le atribuyo partes que tengan ningún tamaño ni figura determinada; pero me convenzo de que el ímpetu de su movimiento es suficiente para hacer que se dividan en todas las formas y en todos los sentidos por el encuentro con los otros cuerpos y que sus partes cambian de figura en todo momento para acomodarse a la de los lugares a donde entran, de suerte que no hay jamás paso demasiado estrecho ni ángulo suficientemente pequeño entre las partes de los otros cuerpos, por donde las de este elemento no penetren sin ninguna dificultad y que no llenen exactamente.”³

En el segundo caso se encuentra la necesidad de establecer un medio transmisor que correspondiera al marco newtoniano. En primera instancia aparece el problema de la acción a distancia en el que el concepto de fuerza mecánica y el de fuerza magnética están presentes. El concepto de acción a distancia aparece con la definición de fuerza newtoniana y es, justamente ahí, en donde se rescata la necesidad de un medio continuo como un elemento transmisor de la fuerza y la materia. Para Newton (1642-1727), el espacio está lleno de éter que presenta densidades variables y si bien reconocía que la primera y tercera leyes de Kepler (1571-1630) resultaban incompatibles con la presencia del éter, resultaba aún más incompatible aceptar la fuerza gravitacional como una acción a distancia, esto es, la acción de la fuerza requería de un medio transmisor a través del cual se diera el contacto entre los objetos. Newton consideró la existencia de un éter especial que era responsable de la acción gravitacional⁴. En este mismo sentido la acción magnética de un imán requería la presencia de un medio en el que las líneas magnéticas se formasen. Faraday (1791-1867) recurrió también a explicar la existencia del éter como un medio necesario para la transmisión de los efectos magnéticos. Faraday sugirió que el éter permitía explicar la transmisión del magnetismo y de las ondas de luz en el espacio. Su perspectiva de una teoría de campo partía del mecanismo fundamental de una transmisión continua con una velocidad finita lo que se oponía a la acción instantánea de una fuerza a distancia.

³ Descartes, (1986) *El Mundo o Tratado de la Luz*. Universidad Nacional Autónoma de México p 70.

⁴ Cushing J.T., (1998) *Philosophical Concepts in Physics The Historical Relation Between Philosophy and Scientific Theories* Cambridge University Press

Aparece entonces la necesidad de definir las características del medio en el que se llenara el espacio y, al mismo tiempo, se mantuviera el marco de interpretación newtoniano. En este punto los trabajos de matemáticos como Riemann (1826-1866) y físicos como Maxwell (1831-1879) apoyaron la definición de una teoría del éter elástico. El éter así concebido era suficientemente elástico y rígido a la vez para transmitir efectos compresionales de las ondas gravitacionales y rotacionales con las que se explicaban los fenómenos ópticos y magnéticos.

Lo anteriormente descrito muestra que existe una dificultad conceptual para evitar incorporar la noción de continuidad. Esta dificultad resulta ser tan importante a lo largo de la historia que permite considerarlo como un obstáculo epistemológico. Ya que como Bachelard (1884-1962) señala: "No se trata de considerar los obstáculos externos, ... es en el acto mismo de conocer ... donde aparecen, ... por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y las confusiones."⁵ Y pareciera que como el mismo autor señala conocemos "en *contra* de un conocimiento anterior... superando aquello que... obstaculiza ... (la evolución científica)"⁶ lo que implicaría la complejidad que se presenta al estudiante para incorporar la noción del vacío con el modelo Newtoniano y el modelo de partículas. Las ideas de los estudiantes que se encuentran en los modelos continuo y discretos I y II están relacionados con la noción de materia que ocupa todo el espacio. Esta noción habla de un modelo estático en el que se establece la existencia de un medio de soporte presentándose como una materia pasiva y que corresponde con las nociones de los estudiantes que se encuentran en sus modelos continuos y discretos. Por otro lado, aparece también la idea de que es necesario un medio transmisor de la fuerza, esto es, que este medio tiene, además, una cierta funcionalidad lo que la hace una materia activa. Estas ideas corresponden con los modelos discretos III, IV y V de los estudiantes de la muestra investigada. Lo antes expresado sugiere que el pensamiento de los estudiantes presenta similitud con los modelos desarrollados durante el siglo XVII sobre la estructura de la materia al presentarse siempre una materia continua que constituye además un elemento transmisor de las fuerzas.

4.2.2 Representación discreta

4.2.2.1 Sobre la estructura de la materia

El atomismo desarrollado en el siglo XVII es una herencia de dos conceptos *minima naturalia* y *semina*. El primero ubicó la concepción de materia como adición y sustracción de corpúsculos y el segundo se relacionó con la concepción de fuerza y poder de los corpúsculos en movimiento. Un tercer concepto presente

⁵ Bachelard G, (1985). *La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. Siglo XXI Ed México ISBN 968-23-0164-5 p 15

⁶ *Ibid*

en la representación de la materia es la forma, que es una herencia propiamente de Aristóteles y en el que la forma está subordinada a un principio de organización.⁷

Para los estudiantes la materia está formada por partículas que están dotadas de movimiento que es diferente de acuerdo a su fase, los tres conceptos que se señalan en el párrafo anterior como característicos de los modelos del siglo XVII son también los tres elementos que aparecen en las explicaciones de los estudiantes en cuanto a sus representaciones sobre los estados de la materia y los cambios de estado. De esta manera, pueden identificarse los conceptos de átomos y moléculas cuya suma o resta dan pie a una configuración que determina el estado de la materia (correspondientes a los modelos I y II de los estudiantes) y que en un nivel más avanzado (correspondientes a los modelos II, IV y V de los estudiantes) implica la presencia de la acción de una fuerza que hace interactuar a las moléculas que transforman su configuración y que, por estar embebidas en un medio continuo no corresponde a una acción a distancia.

Por ejemplo para Basso (S XVII), los átomos no están dotados con propiedades mecánicas (forma y tamaño) pero tienen una naturaleza específica que no cambia. Los diferentes arreglos y los movimientos de los corpúsculos explican todos los fenómenos naturales. El movimiento no es una propiedad de los átomos, se origina del espíritu y, en última instancia de Dios. El movimiento significa atracción y repulsión, que se identifica con simpatía y antipatía. Para Gassendi (1592-1655) los átomos están dotados con movimiento, como principio de actividad interna. Los átomos tienen peso y la gravedad es una de sus propiedades. En todos los cuerpos naturales, aun los sólidos, las partículas constituyentes nunca descansan, el movimiento continuo es posible porque entre los cuerpos naturales hay pequeños espacios vacíos. Define a las moléculas como corpúsculos insensibles formados de diferentes clases de átomos, que explican distintos fenómenos principalmente los químicos y biológicos y que ayudan a establecer el puente entre las cualidades sensibles y los átomos. Las moléculas –sobre la base de las diferentes potencias y texturas- pueden explicar los fenómenos naturales mejor que las últimas partículas de materia.

Por su parte para Bacon (1214-1294) la materia existe en dos estados: espíritu y tangible. El espíritu es activo, la materia tangible es pasiva, fría e inerte. La materia está formada de corpúsculos sin propiedades mecánicas. Los átomos son partículas dotadas de variedad de movimientos. Rechaza la existencia del vacío. Es importante señalar que los conceptos de densidad y rarefacción (materia poco densa) se explican por medio de la materia plena, materia que puede contraerse o expandirse en el espacio. Digby (1603-1665) por su parte, desecha las nociones aristotélicas de forma y materia prima. Sostiene que la materia es pasiva y el

⁷ Clericuzio A, (2000) *Elements, principles and corpuscles. A study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*. Kluwer Academic Pub

movimiento es el agente universal en la naturaleza. Al igual que Descartes, mantiene que no hay partículas indivisibles de materia y niega la existencia del vacío. Las cualidades de la materia no están unívocamente definidas y dependen de la disposición de las partes de la materia, por lo que los conceptos de densidad y la rarefacción son responsables del comportamiento de la materia. La inestabilidad de los compuestos se debe a los mismos conceptos y explican la afinidad química. Por ejemplo, dos cuerpos con densidades similares pueden combinarse con más facilidad.

Puede considerarse que en las ideas de los estudiantes aparece la noción de rarefacción implícitamente ya que se alude a una materia apenas perceptible como sustancia que ocupa todo el espacio, de manera explícita el concepto de densidad es frecuentemente utilizado para explicar el comportamiento de la materia. Estos dos conceptos, rarefacción y densidad, son recurrentes en las explicaciones de los estudiantes sobre el comportamiento de la materia en sus distintos estados, durante los procesos de cambio de estado y sobre todo, en explicaciones sobre el calentamiento de los gases. También el concepto de peso, no así el de gravedad, aparece continuamente como un atributo de la materia. Estas ideas son similares a las explicaciones del modelo molar (I) de los estudiantes.

Descartes propuso que la materia tiene una extensión tridimensional y que es divisible al infinito. Los cuerpos están formados por un conglomerado de partículas indistintas por lo que la materia es homogénea. La materia en realidad es un infinito número de partículas en continuo movimiento dentro de un continuo. Rechaza la existencia del vacío por lo que todas las partículas deben tocarse. El espacio es considerado como un pleno, lleno de materia en el que no hay huecos y no puede existir el vacío. Este pleno es el éter que atraviesa todo. Las interacciones entre partículas de la materia se presentan por la acción de la presión y el impacto a partir de una acción tangible de un agente intermediario que es la materia por lo que la acción instantánea a distancia no tiene sentido. Explicaciones de este tipo son expresadas por estudiantes que se encuentran en el modelo I ya que está presente la noción de materia continua entre partículas además de explicar las interacciones entre moléculas como aspectos materiales.

Descartes estableció diferencias entre los cuerpos sólidos y los líquidos basada en la configuración. Para él, es necesario que las partes materiales se toquen y por ello la diferencia entre sólidos y líquidos es solamente la facilidad con la que es posible separar un cuerpo sólido de lo que es un líquido:

“La primera que deseo que destaquen es la diferencia que hay entre los cuerpos duros y aquellos que son líquidos, y para este propósito, consideren que cada cuerpo puede dividirse en partes muy pequeñas. desde la perspectiva de nuestro conocimiento, su número es indefinido ... no encuentro ninguna otra diferencia entre los cuerpos duros y los cuerpos

líquidos, salvo que las partes de unos pueden separarse en conjunto mucho más fácilmente que las de los otros. De modo que para componer el cuerpo más duro que podamos imaginar, pienso que basta con que todas sus partes se toquen sin que quede ningún espacio entre dos de ellas y que ninguna de ellas esté en disposición de moverse..... para componer el cuerpo más líquido que se puede encontrar, basta con que sus más ínfimas partes se muevan lo más diversamente la una de la otra y lo más rápido que sea posible, aunque con esto no excluyan su posibilidad de contacto mutuo por todos lados y su acomodamiento en tan poco espacio como si estuvieran sin movimiento. En fin, creo que cada cuerpos se aproxima más o menos a estos dos extremos, según que sus partes estén más o menos en disposición para alejarse una de otra, ...⁸

Ésta es en general la forma de explicación de los estudiantes, los objetos sólidos tienen sus moléculas muy cercanas, tanto que no se permite en algunos casos el movimiento, por el contrario en los líquidos las moléculas están más separadas lo que permite movimiento y se traduce en el comportamiento de un fluido. Es importante señalar que la misma forma de explicación basada en la configuración espacial o forma que aparece en la mayoría de los modelos I, II y III de los estudiantes presentados y corresponden a la manera en que ellos basan sus explicaciones sobre las diferencias entre los distintos estados de la materia. Ideas como el movimiento que aparece en el modelo III de los estudiantes se ven reflejados en el siguiente párrafo sobre el pensamiento de Descartes.

“En la concepción física-mecanicista de Descartes, la diversidad de los cuerpos se explica no en función de sus “cualidades intrínsecas”, sino entre otros aspectos, por la actividad o reposo de sus partes y la fuerza del movimiento que reciben y transmiten. Finalmente, la fuerza que se requiere para separar las partes de un cuerpo, debe ser proporcional a su fuerza de cohesión... todos los cuerpos, tanto duros como líquidos, están hechos de una misma materia, y que es imposible concebir que las partes de esta materia compongan nunca un cuerpo más sólido o que ocupe menos espacio, ya que cada una de ellas limita por todas partes con las demás que la rodean... “⁹

Lavoisier (1743-1804) en su Tratado de Química Elemental expresa sobre los cambios de estado:

“Cuando se calienta un cuerpo sólido o líquido aumenta de extensión en todas direcciones: ésta es una observación constante en la naturaleza ... la causa a que corresponde, se percibe que la separación de las moléculas por medio del calor es una ley general y constante en la naturaleza. Si

⁸ Descartes (1986). *Op. cit.* pp. 58-61

⁹ Descartes (1986). *Ibid.*, pp. 59

después de haber calentado hasta cierto punto un cuerpo sólido, y de haberse alejado más y más sus moléculas se deja enfriar, entonces las mismas moléculas se aproximan unas a otras en la misma proporción en que se habían separado.... Bien se concibe que hallándose las moléculas de los cuerpos continuamente agitadas por el calor, que tira a separar unas de otras, no tendrían alguna unión entre sí, y no habría cuerpo alguno sólido, si no fuesen retenidas por otra fuerza que se dirige a reunir las o a encadenarlas: esta fuerza, cualquiera que sea la causa que la produce, se ha llamado atracción. En este supuesto las moléculas de los cuerpos pueden considerarse como sujetas a dos fuerzas, una repulsiva y otra atractiva, entre las cuales están en equilibrio.”¹⁰

El esquema que Lavoisier presenta sobre la identificación de los distintos estados de la materia por la separación de las moléculas está presente de manera similar en los estudiantes (modelos I y II), quienes atienden a la forma identificando los tres estados de la materia con base en la separación y orden de las moléculas. Lavoisier señala la existencia de una fuerza de atracción y repulsión que es debida a la acción del calórico. Muy pocos estudiantes expresaron la idea de calor como sustancia, sin embargo, la atracción y repulsión como fuerza si es un factor que aparece en sus esquemas de representación de la materia, sobre todo en estudiantes cuyas respuestas están en el modelo III.

Para Boyle (1627- 1691) las propiedades mecánicas de los corpúsculos se deben al movimiento que, en un análisis detallado representan ideas sobre la noción de *semina* como agente de potencia en la acción. Las explicaciones sobre los fenómenos se basan en tres aspectos principales: la forma, el tamaño y el movimiento de los elementos primarios simples que son los átomos y en gran medida las moléculas.

Boyle consideró como parte de las explicaciones de los fenómenos la forma, el tamaño y movimiento de los corpúsculos como los elementos primarios y simples. Sin embargo, no redujo todos los fenómenos a ellas “hay muchas causas subordinadas entre efectos particulares y las causas más generales de las cosas, ...”¹¹ Su adopción de lo que él llamó “teorías intermedias” es un punto de partida hacia la filosofía mecanicista. A diferencia de Descartes, Boyle no considera las explicaciones basadas en la forma, tamaño y movimiento de los corpúsculos primarios como únicas explicaciones válidas.

Boyle adoptó una versión cualitativa de los átomos como la *minima naturalia* y explica las reacciones químicas como corpúsculos dotados de propiedades químicas.

¹⁰ Lavoisier, (1990) *Tratado Elemental de Química* Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. México D. F. p. 1-2

¹¹ Clericuzio (2000). *Op. Cit.* p. 107

"... Que hay en el mundo una gran cantidad de partículas de materia, cada una de las cuales es demasiado pecunia como para ser sensible hallándose aislada; y siendo entera o indivisa, no sólo ha de tener su forma determinada, sino que ha de ser muy sólida. Hasta tal punto es así, que aunque sea divisible mentalmente y por la divina omnipotencia, no obstante, por razón de su pequeñez y solidez, la naturaleza casi nunca la divide de hecho; y en ese sentido puede denominarse minima o primera naturalia"¹²

La clasificación de corpúsculos explica lo que parece ser un rompecabezas: esto es no hay cuerpos en reposo absoluto; aun los que forman los sólidos están en continuo movimiento. El movimiento no es innato a las partículas de primer orden, hay corpúsculos que están en continuo movimiento y que son identificados como formando las concreciones primitivas. Esto es, lo que Boyle llama la textura de los corpúsculos que son inestables y propensos al movimiento

Sobre la textura, Boyle argumenta de manera particular que el vidrio se siente frío ya que es una cualidad que se explica por la presencia de átomos específicos (átomos frigoríficos) que tienen la forma de cubos o pirámides y no pueden moverse con facilidad. Así el frío era una cualidad negativa y no positiva y se produce por el cambio en la textura de los cuerpos. La conclusión es que el frío no es debido a una sola sustancia, sino a la interacción entre sustancias, esto es, el frío y calor se produce por el cambio en las texturas de las mezclas y los corpúsculos producen una cierta cualidad solamente si actúan sobre los cuerpos teniendo una textura que encaja exactamente sobre ellos.

Con lo anterior, la representación de esta *minima naturalia* conserva las propiedades de los objetos, lo que indicaría un traslado de las características macroscópicas a las microscópicas como correspondería a las respuestas de los alumnos que se encuentran en el modelo molar (I). Otro punto de coincidencia sobre la visión de Boyle y la de los estudiantes es la forma, ésta determina la organización de la materia y las explicaciones sobre las mezclas.

"Cuando muchos corpúsculos se reúnen así para componer un cuerpo distinto, como una piedra o un metal, entonces de sus otros accidentes (o modos) y de estos dos últimamente mencionados emerge una cierta disposición u organización de las partes en el todo que podemos llamar su textura "¹³

En una mención sobre la forma y organización de los sólidos y líquidos se encuentra que:

¹² Clericuzio (2000) *Ibid* p 230.

¹³ Clericuzio (2000) *Ibid* pp 212

“... hay también multitud de corpúsculos formados por la unión de varios de esos *minima naturalia* previa, cuyo tamaño es tan pequeño y su adherencia tan firme y estricta que aisladamente cada una de estas pequeñas concreciones o cúmulos primitivos de partículas se hallan por debajo del alcance de los sentidos;... muy rara vez resultan disolverse o romperse de hecho permaneciendo por el contrario íntegros en una gran variedad de cuerpos sensibles bajo diversas formas y disfraces. Que tanto cada uno de los *minima naturalia* como cada uno de los aglomerados primarios arriba mencionados, poseyendo su propio tamaño y forma determinados, cuando éstos se adhieren unos a otros ha de ocurrir siempre que cambie el tamaño y a menudo la figura del corpúsculo compuesto por su yuxtaposición y cohesión. Además, no es infrecuente que el movimiento de uno u otro o de ambos reciba una nueva tendencia o se altere en lo que atañe a su velocidad. Y si se añade o quita algo de materia a un corpúsculo, en ambos casos ... su tamaño debe alterarse necesariamente ... con lo que adquirirá una congruencia con los poros de ciertos cuerpos ... y se hará incongruente con los de otros... Que cuando muchos de estos corpúsculos insensibles llegan a asociarse en un cuerpo visible, si muchos o la mayoría de ellos se ponen en movimiento, eso mismo puede producir grandes cambios y nuevas cualidades en el cuerpo que componen. De donde se sigue usualmente que la textura, a menos que sea muy estable y definitivamente permanente, se ve muy alterada al menos por momentos, especialmente por cuantos que los poros o pequeños intervalos interceptados entre las partículas componentes cambiarán de tamaño y figura o ambas, cosas, ... Vemos así que el agua, al perder la necesaria agitación de sus partes, puede adquirir firmeza y fragilidad que hallamos en el hielo, perdiendo gran parte de la transparencia que tenía cuando era un líquido.”¹⁴

Esta forma de organización es estática y corresponde a la existencia de poros por los que la materia puede penetrar, la combinación de la materia está definida como por un rompecabezas en el que las partes se acomodarán, este tipo de explicaciones son equivalentes a las de los estudiantes, en los modelos I y II, cuando expresan sus ideas sobre cambios de estado o mezclas Boyle se encuentra en un proceso de transición de un modelo en donde la forma había resultado ser una propiedad importante y no puede, aun, transformar todo el sistema a uno mecanicista en su totalidad, en este sentido él se encontraría aún en estado de transición de modelos mismo que parecen compartir los estudiantes de este estudio.

¹⁴ Clericuzio (2000) *Ibid.* p. 230

4.2.2.2. Sobre la representación de mezclas y disoluciones

Dos posiciones se encuentran en los estudiantes, por un lado aquellas en la que en una mezcla la unión genera sustancias nuevas y diferentes y en el otro caso en el que durante la mezcla cada una conserva su forma y características. En el primer caso se encuentra a Sala (S XVII) que explica las reacciones químicas en términos corpusculares, el ácido divide el metal en pequeñas partículas, el cual se une con el re-agente. La fermentación se produce por el movimiento de partículas de los cuerpos; este movimiento es interno y producido por partículas en presencia de humedad, lo que lleva a nuevos arreglos de las partículas en el cuerpo y la generación de sustancias nuevas y diferentes. En el segundo caso se encuentra Sennert (1572-1637) que al explicar la disolución de la plata y el oro, concluye que sus átomos conservan su forma en una aleación. El proceso es visto justo como un re-arreglo de partículas incambiables de oro y plata. Los átomos no interactúan en forma mecánica, sus movimientos están dirigidos por un principio formativo que se identifica con la forma y el espíritu.

Otro aspecto a resaltar es la estructura de las sustancias que en una mezcla resulta ser un aspecto fundamental, por ejemplo, para Digby todos los poros del mismo cuerpo deben tener el mismo tamaño y forma. Así los poros de agua tenían la misma forma. La explicación de la solubilidad es menos simple que la de Gassendi y está basada en el peso, la sequedad y la densidad de las diferentes sales. "Tan pronto como se pone la sal dentro del agua ésta se va hasta el fondo y el agua por su humedad se rompe en pequeñas partes separadas unas de otras y se une a las partes de la sal. Si se añade más sal continuamente hasta que progresivamente se incorpore el agua con alguna parte de sal: y entonces el agua no puede tener unida más cantidad de sal."¹⁵ La razón de por qué la sal se disuelve en agua está en correspondencia con sus moléculas (cúbicas) con intersticios vacíos entre los corpúsculos del agua. Los pequeños poros vacíos en las texturas de los cuerpos pueden tener diferentes formas. Los disolventes parecen disolver a diferentes metales dado que la forma de sus corpúsculos les permite entrar en los poros de los metales. Esta forma de explicación de la disolución de sal en agua es similar a la que los estudiantes del modelo I y II expresan y en donde el aspecto importante a resaltar es la estructura del líquido en el que se inserta el sólido.

Para Newton resultaba importante para explicar la disolución el tamaño de las partículas del disolvente, de tal manera que pudiera penetrar entre los poros de los materiales. Al igual que para la mayoría de las personas que adoptaron una posición corpuscular en sus días, el tamaño de los poros de la sustancia era una medida de la densidad de los materiales, la plata tenía poros más grandes que el oro y las partículas que podían entrar en la plata no lo podían hacer en el oro. En

¹⁵ Clericuzio, *Ibid* p 83

este caso el tamaño del soluto es el aspecto relevante en la disolución y es similar a las ideas expresadas por los estudiantes representadas en los modelos I y II:

“ Cuando se pone cualquier metal en agua común, el agua no puede entrar en sus poros y por ello no puede disolverla: el agua consiste de partes tan grandes para este propósito porque es insociable con el metal: hay un pequeño principio secreto en la naturaleza, por el cual algunos líquidos son insociables con otros, ... el agua fuerte disuelve la plata pero no el oro y el agua regia lo hace con el oro pero no la plata, etc...” (pasaje de carta de Newton a Boyle en febrero 28 de 1678¹⁶)

De acuerdo a Kuhn, Newton creía que si el volumen de los poros en un material se aumentaba la densidad disminuía, en una comunicación a la Royal Society en diciembre 9 de 1675, Newton establecía que: “yo supongo que el éter, atraviesa los poros del cristal, vidrio, agua y otros cuerpos naturales, aun cuando exista un grado de rarefacción en esos poros, que en los espacios libres etéreos, y que hay un mayor grado de rarefacción cuando los poros del cuerpo son muy pequeños.”¹⁷ Kuhn señala de lo anterior que los poros decrecen con el tamaño de los corpúsculos pero es independiente de la densidad.

Esta idea de densidad ligada a la presencia de poros en la materia es frecuente en las respuestas de los estudiantes de los modelos I y II, mismas que aparecen en las explicaciones sobre disoluciones.

4.2.2.3 Representación atómica para la emisión de luz

Un salto histórico habrá que dar para interpretar las explicaciones de los estudiantes sobre la emisión de luz de colores. Los modelos que corresponderían desde el marco histórico a principios del siglo XX son el modelo de Bohr y la explicación sobre la emisión de luz.

El reconocimiento de la existencia del electrón como partícula elemental constituyó en la historia del átomo un ente de gran importancia ya que abrió la posibilidad de un átomo compuesto por otras partículas. El electrón en el caso de los estudiantes tiene un papel preponderante y es la partícula subatómica que tiene mayor importancia en las explicaciones de los estudiantes, del modelo V, en cuanto a los problemas de conductividad eléctrica y emisión de luz. El núcleo tiene importancia en cuanto a su masa y a su carga positiva con la que los estudiantes anteponen el concepto de estabilidad de cargas y la justificación de la neutralidad eléctrica del átomo.

¹⁶ Kuhn T., (1952). Newton and the Theory of Chemical Solution. *Isis* 42, 296-8

¹⁷ Kuhn T., (1952). *Ibid*.

La existencia de líneas espectrales emitidas por un elemento es uno de los dos problemas que contribuyeron al desarrollo de la mecánica cuántica. Este fenómeno había sido observado y utilizado desde finales del siglo XIX como un factor de identificación de los elementos constituyentes de cuerpos estelares. Sin embargo, desde la perspectiva de la teoría clásica no tenía explicación la existencia de patrones característicos que hicieran las veces de huellas digitales de los elementos ya que la predicción estaba encaminada a una emisión de radiación electromagnética en todas las frecuencias lo que debería producir un espectro continuo y no discreto. Las frecuencias discretas observadas empezaron a estar asociadas con ciertas orbitas estables o vibraciones características de las cargas. De manera empírica Balmer (1825-1898) obtuvo una ecuación que describía las líneas espectrales del hidrógeno. De manera implícita la existencia de estas líneas espectrales características de los elementos dieron pauta de que la constitución interna del átomo debía ser la causa de su existencia.

La explicación de la aparición de estas líneas espectrales motivó la construcción de distintos modelos atómicos como los sugeridos por lord Kelvin (1824-1907) y J. J. Thomson (1856-1940) en los que la carga positiva estaba distribuida uniformemente en todo el átomo, así como el de Rutherford (1871-1937) construido a partir del diseño de diversos experimentos en el que se mostraba que el núcleo atómico era 50 veces más masivo que las partículas α con las que se bombardeaban los átomos de láminas de oro. A partir de este momento, el modelo cambió por otro en el que la carga positiva estaba localizada en el centro del átomo y correspondía con el núcleo, mientras que las cargas negativas debían ocupar órbitas alrededor de él. Este modelo presenta ciertas analogías con el modelo del sistema solar. Si bien este átomo muestra una configuración de órbitas mecánicas estables, en el que las cargas presentaban una fuerza centrípeta, no explica la posible emisión discreta de radiación de energía electromagnética ya que, en tal caso, la carga se colapsaría en el núcleo de manera inmediata y produciría un espectro continuo y no discreto.

Bohr (1885-1962) reinterpreta el átomo de Rutherford a partir de la consideración del principio de conservación de la energía con lo que puede presentar la frecuencia de emisión de radiación en función de la revolución de un electrón. Sin embargo la energía necesaria daba como resultado la presencia de un espectro continuo y no discreto como lo mostraban los experimentos. "Para obtener un conjunto discreto de órbitas estables (esto es, ciertos valores de r), Bohr postula que el electrón debe ser dinámicamente estable y radiar luz tan solo al cambio entre dos órbitas permitidas. ... De acuerdo con Planck (1858-1947) la cuantización de la energía emitida o absorbida por múltiples osciladores armónicos es de $h\nu$ [h representa la constante de Planck]¹⁸, Bohr considera que un electrón inicialmente libre en reposo (esto es, infinitamente lejos del núcleo) cae

¹⁸ Aclaración sobre la notación que no está incluida en el texto original.

dentro de una órbita permitida y de energía cuantizada $h\nu$ del fotón en términos de la energía del electrón en sus órbitas finales expresada como

$$-E = n^2 (h\nu), \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Bohr argumentó que la frecuencia de revolución de un electrón fue inicialmente cero cuando estuvo en reposo y que el valor clásico de ν es el que tiene en su órbita final, de tal manera que la frecuencia promedio de un electrón es justamente $\frac{1}{2} \nu$.¹⁹

Con los valores anteriores Bohr calculó la energía de cada orbital y por principio de conservación de la energía dedujo que la diferencia entre las energías de las dos orbitas era exactamente $h\nu$ durante la transición de un nivel a otro permitido, mismo que explica las series obtenidas por Balmer tiempo atrás.

Estas ideas son compartidas por los estudiantes en sus explicaciones sobre la emisión de luz del átomo de hidrógeno cuando expresan que los electrones cambian de una órbita a otra y en el regreso emiten luz de un color que depende de la longitud de onda (modelo V). Sin embargo, los estudiantes no consideran posible la emisión de luz en un espectro continuo porque es una característica de la materia que emita de manera discreta, el factor de cuantización incorporado por Bohr para dar explicación a los espectros discretos no tiene una representación en el caso de los estudiantes. De esta manera las ideas expresadas por los estudiantes sugieren que el modelo de cuantización y el modelo de Bohr han sido parcialmente incorporados a sus modelos y que lo expresado obedece a que así es la materia y no a un modelo de interpretación de la misma.

Con lo antes expuesto es posible establecer una comparación entre los modelos de los estudiantes y los modelos históricos que se encuentran más cercanos. En la tabla 4.16 se presentan los modelos de los estudiantes, los modelos históricos con los que se tiene relación y entre los dos la presencia de materia continua en la que se encuentran las partículas, se señala en cada caso con qué modelo se relaciona. La zona sombreada corresponde a las posiciones que comparten la existencia de materia continua y discreta. En la columna independiente se muestra la división propuesta por Jensen con base en las tres revoluciones de la química.

Como puede observarse en esta tabla comparativa se resumen los puntos principales de los distintos modelos históricos y de los estudiantes y cómo se encuentran desfasados en relación con el desglose propuesto por Jensen.

¹⁹Cushing J T, (1998) *Op Cit* p. 279.

Tabla 4.16
Comparación entre modelos históricos y los modelos de los estudiantes

Modelos de los estudiantes	Modelos históricos	Revoluciones de la química de acuerdo a Jensen
<p>C. Modelo continuo</p> <p>La materia es continua, existen distintos tipos de sustancias que tienen características propias que no se pierden durante los procesos de cambios de estado, disoluciones, conducción de electricidad y emisión de luz. Durante los procesos cambian algunas variables físicas como presión, densidad, volumen y peso. El cambio en el color es un indicativo de las características internas de la materia.</p>	<p>Presencia de materia continua en la que se encuentran las partículas</p> <p>Pensamiento Aristotélico (S III a.C.) La forma define las propiedades de los objetos, la fuente de los conocimientos está en los sentidos, la materia es continua e infinitamente divisible.</p>	
<p>I. Nivel molar. Modelo molar</p> <p>La materia está formada por moléculas que durante ciertos procesos sufren cambios equivalentes a los que ocurren en la materia en el nivel macroscópico. Los arreglos, el movimiento y separación entre las moléculas definen los estados de la materia. Las moléculas de las sustancias no cambian durante los procesos manteniendo sus características siempre. Moléculas de dos tipos de sustancias pueden interaccionar distribuyéndose unas en otras. Estas interacciones se presentan debido a variables externas a ellas.</p>	<p>Bacon (S XII), Digby, Sennert, Gassendi (SXVII)</p> <p>La materia está formada de corpusculos sin propiedades mecánicas. Los átomos son partículas con distintos movimientos, el vacío no existe, la materia puede contraerse o expandirse en el espacio, los conceptos como densidad y rarefacción son los que permiten dar explicación de los distintos estados de la materia que dependen tan sólo de la disposición de sus partes.</p>	<p>La primera revolución de 1770-1790. Esta revolución se inicia con la visión macroscópica o molar y corresponde a los trabajos realizados por Lavoisier cuando se inician los trabajos sobre gases y sus relaciones con las reacciones químicas. Es en esta época en la que se presentan las confrontaciones para superar la teoría del flogisto en las explicaciones sobre fenómenos como la combustión y la respiración. En este periodo aparece la teoría del calórico para los estados de la materia de Black, Crawford e Irving. De igual manera aparecen las teorías de calcinación y causticidad.</p>
<p>II. Nivel molecular 1. Modelo molecular</p> <p>En un primer nivel la materia está formada por moléculas con movimiento, velocidad, y energía cinética por lo que se presentan colisiones entre ellas. Las variaciones en su movimiento se reflejan en características macroscópicas como son la presión, volumen y temperatura. Cambios en el estado de movimiento de las moléculas producen modificaciones en el orden y organización de las mismas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.</p>	<p>Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII)</p> <p>La materia es extensa, homogénea y divisible al infinito, los cuerpos están formados por un conglomerado de partículas indistintas, las partículas están en continuo movimiento dentro de un continuo. El vacío no existe, todas las partículas deben tocarse, el espacio está lleno de materia. Las interacciones entre partículas se dan por la presión y el impacto no por una acción a distancia. Los distintos cuerpos tienen diferencias en su configuración.</p>	<p>La segunda revolución de 1855-1875. En esta revolución se destacan las contribuciones sobre los conceptos de valencia, estructura molecular y la determinación exitosa de los pesos atómicos y moleculares, que permiten la conclusión de la clasificación de los elementos en la tabla periódica de Mendeleev. En este periodo el concepto de átomo retomado por Dalton se incorpora a la discusión sobre la estructura de la materia que se refleja en el atomismo especulativo del siglo XVII y el análisis gravimétrico que aparecen en el siglo XVIII. La composición de los gases, el estudio de los calores específicos y la taxonomía orgánica junto con el desarrollo de la teoría atómica enmarcan esta segunda revolución.</p>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Continuación de tabla 4.16

<p>III. Nivel molecular 2. Nivel de estructura molecular</p> <p>En un segundo nivel de estructuración las explicaciones de organización de las moléculas están reguladas por la presencia de fuerzas electrostáticas entre ellas, el origen de estas fuerzas proviene de considerar a las moléculas formadas por átomos que tienen cargas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.</p>	<p>Berzelius (S XIX)</p> <p>Los átomos en los compuestos muestran dos polos de cargas eléctricas de signos opuestos. Los elementos son electropositivos o electropositivos. Las afinidades entre los átomos reflejan propiedades opuestas. La formación de compuestos químicos resultan de una neutralización de cargas opuestas, lo que lleva a la neutralización de fuerzas de atracción entre sus componentes.</p>	
<p>IV. Nivel electrónico 1. Modelo atómico</p> <p>En un primer nivel la materia esta formada por átomos que interactúan con otros átomos a partir de fuerzas electrostáticas. Los átomos están formados por electrones que giran alrededor de un núcleo y al que están unidos por fuerzas eléctricas. Variaciones en la energía hacen que los átomos cambien de nivel energético lo que produce fenómenos macroscópicos como emisión de luz de color o la conductividad eléctrica. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.</p>	<p>Modelos atómicos de Rutherford y Bohr (S XX)</p> <p>La carga positiva esta localizada en el centro del átomo y corresponde con el núcleo, mientras que las cargas negativas debían ocupar órbitas alrededor de él. Para obtener un conjunto discreto de órbitas estables, Bohr postula que el electrón debe ser dinámicamente estable y radiar luz tan solo en órbitas permitidas. Un electrón emite o absorbe radiación solamente cuando hace una transición discontinua de una órbita permitida a otra. Esta energía está cuantizada, Bohr considera que un electrón inicialmente libre en reposo (esto es, infinitamente lejos del núcleo) cae dentro de una órbita permitida y de energía cuantizada $h\nu$ del fotón. En estos modelos la presencia del vacío entre partículas es una condición del modelo.</p>	<p>La tercera revolución va de 1904-1924: Durante este periodo la certeza de la existencia del átomo y el descubrimiento del electrón, dan explicación a fenómenos como la espectroscopia, los tubos de descarga, la radiactividad, la electroquímica, la hipótesis cuántica y la explicación de la tabla periódica a partir de la consideración de los electrones de valencia.</p>
<p>V. Nivel electrónico 2. Nivel de la estructura atómica</p> <p>En un segundo nivel se especifica la estructura de un sistema como puede ser el metal en el que los electrones dentro de una banda pueden moverse con facilidad tanto a lo largo del metal como dentro de los átomos. En este nivel está presente implícitamente cierta incertidumbre, lo que abre las posibilidades de manejo del modelo atómico. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos.</p>		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.3 Comentarios generales

En el capítulo 1 se analizó el desarrollo de la concepción de materia que llevó al desarrollo de la teoría atómica actual. En el mismo se establecieron cuatro grandes periodos: el primero que correspondía al pensamiento de los griegos; el segundo que se inició con el establecimiento de la experimentación como parte del conocimiento científico en el siglo XVII y que termina en el siglo XVIII con el establecimiento de las leyes de la mecánica clásica de Newton; el tercer periodo que comprende el análisis del conocimiento químico de las sustancias, la incorporación de una interpretación probabilística y estadística en la termodinámica y el inicio de una visión corpuscular en la teoría de los gases; y el cuarto periodo que corresponde a la construcción de la física atómica que llevó al cuestionamiento de las leyes deterministas de la física clásica para la interpretación de los fenómenos atómicos.

A lo largo de los cuatro periodos se pueden reconocer tres distintos tipos de acercamiento hacia la estructura de la materia, éstos son: el atomismo en donde los conceptos de partículas y vacío son el núcleo de la construcción, el considerar a la materia continua, plena e indivisible y una tercera posición en la que existe una combinación de las dos posiciones anteriores, esto es partículas de materia suspendidas en un continuo. En las ideas expresadas por los estudiantes están presentes también estos tres tipos de modelos, sin embargo, como se ha visto es notoria la similitud de las representaciones de los estudiantes con la visión continua y con aquella en la que se considera la existencia de una materia en la que se encuentran las partículas materiales.

Con base en esta división del tipo de representación de la materia y con los modelos analizados en las dos secciones que comprenden este capítulo es posible afirmar que los estudiantes comparten de manera simultánea la representación continua y la de partículas que se encuentran suspendidas en un medio material que es un soporte o bien un medio transmisor de fuerzas. Estos modelos tienen puntos en común con el pensamiento de Aristóteles en los aspectos que han sido mencionados y con el pensamiento que sobresale en el siglo XVII al que podría llamarse de transición de la posición Aristotélica a la conformación del marco teórico de la mecánica clásica que da soporte a posteriores construcciones en el pensamiento de la física y la química.

Con los resultados hasta ahora presentados es posible describir una serie de características de lo que los estudiantes piensan sobre ciertos fenómenos relacionados con la estructura de la materia y que muestran cambios a lo largo de su formación académica, ¿con estos elementos será posible establecer parámetros de cambio que impliquen no un cambio conceptual sino una evolución de modelos de representación? "... La naturaleza de una realidad viva no se revela únicamente por sus estadios iniciales ni por sus estadios terminales, sino por el proceso mismo de sus transformaciones... Cada nuevo estadio comienza por una

reorganización, a otro nivel, de las principales adquisiciones logradas en los precedentes... Los obstáculos que se han tenido que vencer en el pasaje de un periodo histórico a otro, son análogos a los del pasaje de un estadio psicogenético al estadio siguiente"²⁰

²⁰ Piaget, J y García, R , (1982) *Psicogénesis e historia de la ciencia*. Siglo XXI Eds ISBN968-23-1156X p.

Capítulo 5

Una interpretación del cambio conceptual en estudiantes de química y propuesta de modelo pedagógico

5.1. El cambio conceptual como un proceso de aprendizaje conceptual

En una posición constructivista el aprendizaje de la ciencia es visto como un proceso de cambio conceptual. Lo anterior implica que la perspectiva educativa está centrada en comprender e implementar un proceso de cambio en las concepciones de los estudiantes. "El aprendizaje de la ciencia como un proceso de cambio conceptual es una perspectiva que fundamentalmente concierne a un tópico acerca del crecimiento del conocimiento científico. El punto central del cambio conceptual es comprender cómo los individuos escogen entre visiones en competencia o alternativas, los modelos o teorías del mundo natural".¹

Existen diversas aproximaciones sobre este tópico, algunas consideran que en los estudiantes se dan procesos de cambio como lo sucedido en la ciencia a lo largo de su historia (Carey²; Nersessian³). Otras posiciones ponen el acento en la racionalidad de las construcciones y sobre el significado lógico de los argumentos. Si el enfoque está centrado en la racionalidad de los argumentos se enfatiza el proceso del cambio conceptual a partir de las primeras nociones. Algunas posiciones proponen el cambio de conceptos uno a uno, esto es, si las ideas de los estudiantes están asociadas con cierto concepto, éste es el que debe cambiarse. Por ejemplo, Reif⁴ propone tres aspectos que deben llevarse a cabo en el proceso de enseñanza, estos son: especificación, representación y prevención de errores. Flores⁵ señala que la concepción de aprendizaje en este caso, se basa en un análisis cuidadoso de las características de los conceptos y sus aplicaciones, que llevan al establecimiento de relaciones entre variables independientes que dan cuenta del funcionamiento de los modelos matemáticos y los procesos experimentales.

¹ Duschl R A y Hamilton, R J (1998). Conceptual Change in Science and in the Learning in Science. En B. Fraser y K Tobin (Eds) *International Handbook of Science Education* Dordrecht: Kluwer Academic Pub., p. 1048

² Carey, S., (1985); *Conceptual Change in Childhood*, Bradford Books, MIT Press, Cambridge, MA.

³ Nersessian (1992). How do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change en R. Giere (ed.) *Cognitive Models of Science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science* Minneapolis: University of Minnesota Press, 3-44

⁴ Reif, F (1985). Acquiring an effective understanding of scientific concepts. En West y Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando: Academic Press. pp 133-151.

⁵ Flores F, (1999). *Estructura y procesos de inferencia en las ideas físicas de los estudiantes: modelos semiformalizados sobre ideas previas* Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras UNAM

Posner, Strike, Hewson y Gertzog⁶ propusieron una teoría del cambio conceptual definida como la transición de una concepción C1 a una C2, paso que implica necesariamente, una mayor reestructuración de las concepciones existentes. La base de su propuesta está en: las nociones piagetianas de asimilación y acomodación; y en la concepción de revolución científica de Kuhn⁷ que presenta la noción de un cambio revolucionario de concepciones. Esta teoría del cambio conceptual establece analogías entre el desarrollo conceptual de la ciencia y el aprendizaje de los alumnos. Las condiciones propuestas por el cambio conceptual son:

1. Debe existir insatisfacción con las concepciones presentes
2. La nueva concepción debe ser inteligible
3. La nueva concepción debe parecer plausible
4. La nueva concepción debe ser fructífera en un nuevo programa de investigación.

Este modelo ha recibido algunas críticas (Duit⁸) principalmente por considerársele, exclusivamente, racionalista dejando de lado el aspecto social del aprendizaje como condiciones para el cambio conceptual (Pintrich, Marx y Boyle⁹). Reflexiones como éstas llevaron a Strike y Posner¹⁰ a desarrollar una visión interaccionista en su propuesta de "la ecología conceptual" que diera una visión del cambio conceptual más dinámico. "Ellos concluyen que su visión del cambio conceptual debe por lo tanto ser más dinámica y en desarrollo, enfatizando los patrones evasivos de mutua influencia entre varios componentes dinámicos de una envolvente ecología conceptual".¹¹

Desde esta perspectiva las concepciones están en un nicho ecológico en el que se encuentran todos los elementos necesarios para dar significado e interpretar los fenómenos observables. Para que la transformación conceptual suceda es necesario un proceso de acomodación en el que los elementos de un nicho ecológico y las ideas del sujeto se transformen. La propuesta de Strike y Posner

⁶ Posner G. J., Strike K. A., Hewson P. W. y Gertzog W. (1988). Acomodación de un concepto científico: Hacia una teoría del cambio conceptual. En Porlan R., García J. E. T. Cañal P. (Eds) *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*. Díada Editorial: Sevilla España

⁷ Kuhn T., (1962) *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica

⁸ Duit R. (1999) Conceptual Change Approaches in Science Education. En Wolfgang Schnotz, Stella Vosniadou y Mario Carretero (Eds.) *Advanced in Learning and Instruction Series New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon Elsevier Science, 263-314

⁹ Pintrich, P. R., Marx, R. W., y Boyle, R. A. (1993) Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*. 63(2), pp 167-199

¹⁰ Strike y Posner (1992) A revisionist theory of conceptual change. En R. Duschl y R. Hamilton (Eds), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp 147-176) Albany, NY: SUNY

¹¹ Duit R. (1999) *Op. cit.*, p. 266

implica la transformación de todo el sistema cognoscitivo de los sujetos y no la sustitución o cambio de conceptos científicos.

Desde otra perspectiva epistemológica Chi¹² propone el cambio conceptual como un cambio de significado de un concepto. Para ello establece un sistema de categorías que estarán ligadas al significado que el sujeto dé al concepto. Las categorías que propone para la clasificación de significados son: materia, para objetos y sus propiedades físicas; eventos, para procesos y acciones de los sujetos; y abstracciones, para los conceptos que no se pueden ubicar en el espacio y el tiempo, esto es, que no tienen un referente fenomenológico. Cada categoría se ramifica en un árbol de subcategorías en las que se ubican los conceptos. De acuerdo a la ubicación de los conceptos en las categorías de Chi, se reconocen dos posibles tipos de cambio conceptual: por un lado, aquel que se da dentro de una misma categoría y, por otro, al que reconoce como radical, y que implica un cambio de categorías ontológicas, dicho cambio que lleva asociado un mecanismo cognoscitivo.

Para Chi la mayoría de los conceptos científicos requieren de un cambio conceptual radical lo que dificulta el aprendizaje de la ciencia. Al respecto Duit¹³ señala que la visión del cambio conceptual de Chi resulta limitada ya que: sus categorías son arbitrarias; el aprendizaje de conceptos clave no está adecuadamente descrito por los cambios de una categoría a otra; no están expresados los aspectos afectivos; y la teoría presenta, solamente, explicaciones sintácticas y no semánticas del cambio conceptual.

Otra perspectiva sobre el cambio conceptual es la que presenta Nersessian¹⁴ quien incorpora en sus análisis tres aspectos: el filosófico, el histórico y el cognoscitivo. Propone el análisis histórico-cognoscitivo con el que combina "el estudio de casos de las prácticas científicas con las herramientas y teorías de las ciencias cognoscitivas para crear una nueva teoría abarcadora de cómo las estructuras conceptuales se construyen y cambian"¹⁵. En cuanto al aspecto filosófico llega al problema de la inconmensurabilidad de las teorías que lo reemplaza por criterios de competencia entre teorías

Nersessian propone analizar el proceso de justificación y creatividad, atendiendo a consideraciones histórico-cognoscitivas de un personaje científico. Su propuesta de cambio conceptual se basa en tres aspectos:

¹² Chi, M T H (1992) Conceptual Change within and across ontological categories: Examples from learning and Discovery in Science. En R. Giere (Ed) *Cognitive Models of Science* Minnesota Studies in the Philosophy of Science. Volumen XV. Minneapolis: Universidad de Minnesota Press, pp. 129-186

¹³ Duit, R (1999) *Op. Cit.*

¹⁴ Nersessian, N. (1992). *Op. Cit.*

¹⁵ Nersessian, N. (1992) *Ibid* p 5

1. Considera tres elementos: representación, modelos mentales e imágenes. De ellos da mayor importancia a los modelos mentales ya que son los elementos con los que el sujeto elabora esquemas inferenciales que no son necesariamente simbólicos y explícitos.
2. La representación de una teoría científica estará basada en una estructura de modelos que se ajustan a una forma semántica de las teorías.
3. El significado está mediatizado por la construcción de modelos mentales.

Su propuesta de cambio conceptual se divide en dos partes: la cinemática y la dinámica del cambio conceptual. En el primer caso se describen los cambios posibles del concepto como puede ser: creación, desaparición, ser descendientes o absorbidos. En el segundo caso, apunta hacia el descubrimiento que lleva implícita la creatividad y el razonamiento. Los elementos que conforman este proceso de descubrimiento implican la solución de problemas conceptuales que son, en sí mismos, el proceso de cambio conceptual.

Para Nersessian el desarrollo del conocimiento científico se da a través del proceso de cambio conceptual que, ante la necesidad de dar solución a problemas conceptuales, promueve la construcción de una nueva representación. Este enfoque comparte la noción de paradigma de Kuhn y los modelos mentales, que son considerados esquemas representacionales de procesos observables que se constituyen en la base del conocimiento.

Otro enfoque que muestra una posición distinta es la de Linder¹⁶ quien presenta una perspectiva basada en la fenomenografía, en la cual las concepciones están caracterizadas por categorías de descripción que enfatizan el aspecto estructural (como el atributo) y el significado (a qué atributo se refiere). Desde esta perspectiva el cambio conceptual implica un cambio en su relación con el contexto. La percepción del contexto lleva entonces a diferencias en los significados y, por tanto, a diferentes conceptos. Esto implica una dimensión relacional que conlleva una variabilidad conceptual.

El cambio conceptual implica, en el aprendizaje, establecer las condiciones de aplicabilidad del contexto. Lo anterior conduciría a que el cambio conceptual podría ser interpretado en términos de una apreciación conceptual que está delimitada por el contexto.

¹⁶ Linder C. J. (1993) A Challenge to Conceptual Change. *Science Education* 77(3), pp 293-300

5.1.1 ¿Qué cambia en el cambio conceptual?

A partir de los trabajos de Strike y Posner¹⁷ varias investigaciones sobre aplicaciones en el aula se desarrollaron. Estos trabajos, sin embargo, no muestran lo que sucede en las estructuras conceptuales de los sujetos ya que no contestan la pregunta ¿qué sucede en la mente de los sujetos durante el proceso de cambio conceptual?

Duit¹⁸ sostiene que, en general, la visión del cambio se mantiene como el simple reemplazo de un concepto C1 por otro concepto C2 lo que implicaría que la antigua concepción ha desaparecido. Esto, sin embargo insiste el mismo Duit, no concuerda con los resultados de investigación donde se muestra que las ideas anteriores no son sustituidas por las nuevas y que persisten en las estructuras conceptuales de los estudiantes. Las concepciones antiguas permanecen en contextos particulares y existe poca aceptación para las nuevas ideas. En la mayoría de los estudios, se presentan como un cambio conceptual periférico (Chinn y Brewer¹⁹), en donde se combinan partes de la idea inicial y de la nueva constituyendo una idea híbrida. El cambio conceptual es visto entonces como el desarrollo de nuevos conceptos en contextos particulares mientras que existen las viejas concepciones referidas a otros contextos

De manera similar Pozo, Gómez y Sanz²⁰ demuestran la presencia de distintas representaciones de interpretación de problemas similares pero en contextos distintos en estudiantes (de 12 años hasta universitarios). Los resultados del trabajo señalan la coexistencia de al menos dos modelos de materia en los estudiantes esto es, la representación macroscópica coexiste con la de partículas. Desde esta perspectiva señalan los autores el cambio conceptual no implica el reemplazo de un tipo de representación por otra sino la coexistencia e integración de diferentes representaciones que correspondan a distintas tareas.

Otra posición que hace mención de la existencia de distintos conceptos que permanecen en la mente de los sujetos es la propuesta por Mortimer²¹ quien sugiere que es posible usar diferentes formas de pensamiento en distintos dominios y que esto sucede de manera similar a lo que ocurre en los dominios

¹⁷ Strike y Posner, (1992) *Art cit*

¹⁸ Duit, R., (1999) *Op Cit.*

¹⁹ Chinn, C A y Brewer, W. F., (1993) The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. *Review of Educational Research*, 63, 1-29

²⁰ Pozo J I., Gómez, M A., y Sanz, A. (1999) When change does not mean replacement: different representation for different context. En Shnotz W., Vosniadou S., y Carretero, M., (Eds) *New Perspectives on Conceptual Change* Oxford: Pergamon Elsevier, pp 161-174

²¹ Mortimer E F., (1995) Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Science & Education* 4: 267-285

científicos en los que hay diferencias epistemológicas y ontológicas entre teorías sucesivas.

Mortimer retoma la posición de Bachelard y la modifica construyendo lo que denomina como perfiles conceptuales. Los perfiles conceptuales son pensados como "un sistema superindividual de formas de pensamiento' que puede ser asignado a cualquier individuo dentro de una misma cultura"²². Los perfiles conceptuales de Mortimer reconsideran jerarquías entre distintas zonas en las cuales se encuentran categorías con más poder explicativo que sus antecedentes. Además, incorpora elementos como la distinción entre sucesos epistemológicos y ontológicos de cada concepto. Los niveles científicos no están constreñidos por las escuelas y pensamientos filosóficos sino por los compromisos epistemológicos y ontológicos de los individuos. Apoyado por la historia, Mortimer, construye el concepto de átomo y los estados de la materia y establece que la secuencia didáctica depende de las características epistemológicas y ontológicas específicas de cada zona del perfil del concepto a enseñar.

A partir de la idea de perfil epistemológico es posible construir una representación del cambio conceptual de los estudiantes que considere los distintos modelos de representación que se tienen sobre una fenomenología específica.

5.2 Los perfiles epistemológicos representacionales como una interpretación del cambio de modelos en los estudiantes

El concepto de perfil epistemológico proveniente de Bachelard muestra que una sola doctrina filosófica no es suficiente para describir todas las diferentes formas en las que se piensa cuando se trata de explicar un sólo concepto. "Así, a propósito de una sola noción, hemos logrado poner de manifiesto una filiación de doctrinas filosóficas que llevan del realismo al superracionalismo. Un sólo concepto ha bastado para *dispersar* las filosofías, para mostrar que las filosofías parciales planteaban un sólo aspecto, no aclaraban más que una faz del concepto. Poseemos ahora una escala polémica que resulta suficiente para localizar los diversos debates de la filosofía científica e impedir la confusión de los argumentos".²³

"En resumen, hay que convocar a todos al pluralismo de la cultura filosófica. En tales condiciones, nos parece que una psicología del espíritu científico debería dibujar lo que llamaremos el *perfil epistemológico* de las diversas conceptualizaciones. Mediante un perfil mental, así se podría medir la acción psicológica efectiva de las diversas filosofías en la obra del conocimiento..."²⁴

²² Mortimer E. F., (1995) *Ibid* p. 273.

²³ Bachelard, G. (1984) *La filosofía del No* Amorrortu Editores p. 36

²⁴ Bachelard, G. (1984) *Ibid*, p. 37

¿Cómo Bachelard construye los perfiles epistemológicos? “...Intentaremos mostrar sumariamente su importancia relativa, proyectando en la abscisa las filosofías sucesivas y en la ordenada un valor que –si pudiera ser exacto- mediría la frecuencia del uso efectivo de la noción, la importancia relativa de nuestras convicciones. Haciendo la reserva pertinente sobre esta *medida* muy tosca, obtenemos para nuestro perfil epistemológico personal de la noción de masa un esquema”²⁵ (ver figura 5 1).

Bachelard construye su perfil epistemológico del concepto de masa. La concepción más temprana es la realista que corresponde con nuestras nociones diarias y que están fuertemente ligadas al razonamiento del sentido común, el concepto de masa se atribuye solamente a los objetos grandes y pesados y corresponde a una apreciación general de la realidad. El segundo nivel es el empírico y corresponde a la determinación precisa y objetiva de la masa que está dada por el uso empírico de las escalas. En este caso la balanza sustituye la experiencia primaria y da al concepto claridad empírica. El siguiente nivel es el racionalismo clásico y está relacionado con su uso dentro de las nociones del cuerpo y no es un elemento primitivo o directo de la experiencia, en este sentido la masa, definida desde el marco Newtoniano, brinda la interpretación del concepto. El último nivel corresponde al racionalismo moderno y se refiere al concepto de masa relativista en donde las nociones y sus relaciones se tornan aún más complejas, en este nivel el concepto se hace función de la velocidad y la noción de masa absoluta deja de tener significado.

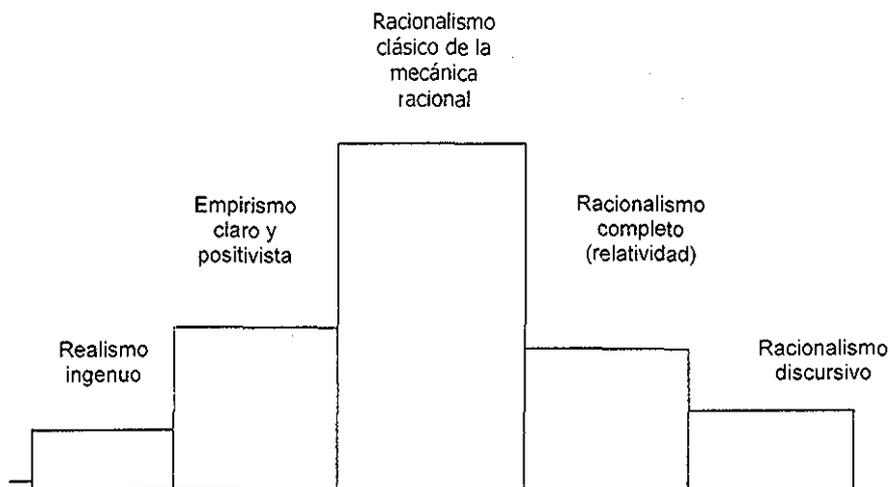


Figura 5 1 Perfil epistemológico de la concepción de masa de Bachelard²⁶

²⁵ Bachelard, G (1984) *Ibid*, p 37

²⁶ Bachelard, G (1984) *Ibid*, p 38



Cada sujeto construye su perfil: "Insistimos en el hecho de que un perfil epistemológico debe ser relativo a un concepto designado, que vale sólo para un espíritu particular que se examina a sí mismo en un estadio particular de su cultura. Esta doble particularización constituye su interés para una psicología del espíritu científico".²⁷

5.2.1 Los perfiles epistemológicos representacionales de estudiantes de química

A partir de los perfiles epistemológicos de Bachelard y para diferenciarlos de ellos, se construyen los que aquí serán denominados "*perfiles epistemológicos representacionales*" que no parten de la multiplicidad de interpretaciones epistemológicas de un concepto, sino de los modelos que representan las distintas formas de interpretación de un tema que incluye distintos comportamientos fenomenológicos. Estos perfiles, de manera análoga, a los propuestos por Bachelard estarán representados por la frecuencia de uso, y en el eje de las abscisas los modelos tendrán una secuencia histórica que retoma, en su aspecto general, el desarrollo histórico de la química propuesto por Jensen y que han sido desarrollados con detalle en el capítulo 4. Estos *perfiles epistemológicos representacionales* difieren de los perfiles epistemológicos de Bachelard en que no se toman en cuenta las distintas escuelas filosóficas sino los modelos de los estudiantes que tienen relación con distintas épocas a lo largo de la historia.

Los modelos de los estudiantes se presentan a continuación.

Modelos de los estudiantes

De las respuestas de los alumnos y de acuerdo a la categorización antes establecida se construyeron los distintos modelos de representación de los estudiantes. Cada uno de estos modelos quedó definido en función de los atributos específicos que los estudiantes emplean para representar los distintos fenómenos. Los modelos de los alumnos quedan descritos a continuación:

Modelo continuo

La materia es continua, existen distintos tipos de sustancias que tienen características propias que no se pierden durante los procesos de cambios de estado, disoluciones, conducción de electricidad y emisión de luz. Durante los procesos, cambian algunas variables físicas como presión, densidad, volumen y peso. El cambio en el color es un indicativo de las características internas de la

²⁷ Bachelard, G (1984) *Ibid*, p 37

materia. El 34.8%²⁸ de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. Con este modelo los estudiantes responden a todos los fenómenos; si bien utilizan ciertas características específicas referidas al aspecto fenomenológico.

Modelos discretos
Nivel molar

I. Modelo Molar. La materia está formada por moléculas que durante ciertos procesos sufren cambios equivalentes a los que ocurren en la materia en el nivel macroscópico. Los arreglos, el movimiento y separación entre las moléculas definen los estados de la materia. Las moléculas de las sustancias no cambian durante los procesos manteniendo siempre sus características. Moléculas de dos tipos de sustancias pueden interactuar distribuyéndose unas en otras. Estas interacciones se presentan debido a variables externas a ellas. El 17.5% de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. El modelo molar es más utilizado en las explicaciones que dan a problemas de cambios de estado y disoluciones.

Nivel Molecular

II. Modelo molecular 1. La materia está formada por moléculas con movimiento, velocidad y energía cinética, por lo que, se presentan colisiones entre ellas. Las variaciones en su movimiento se reflejan en características macroscópicas como: presión, volumen y temperatura. Cambios en el estado de movimiento de las moléculas producen modificaciones en el orden y organización de las mismas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas, etc. El 16.4% de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. Este modelo es utilizado para explicar problemas relacionados con cambios de estado y disoluciones.

III. Modelo molecular 2. En un segundo nivel de estructuración, las explicaciones de organización de las moléculas están reguladas por la presencia de fuerzas electrostáticas entre ellas. El origen de estas fuerzas proviene de considerar a las moléculas formadas por átomos que tienen cargas. Las moléculas se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas, etc. El 10.4% de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. Este modelo es utilizado para explicar problemas de cambios de estado y disoluciones.

Nivel electrónico

²⁸ El porcentaje está calculado como el promedio de los cinco semestres investigados cuyos resultados se muestran en la tabla 4.1. Los porcentajes que aparecen en todos los modelos fueron calculados de la misma forma.

IV. *Modelo electrónico 1.* La materia está formada por átomos que interactúan con otros átomos a partir de fuerzas electrostáticas. Los átomos están formados por electrones que giran alrededor de un núcleo y al que están unidos por fuerzas eléctricas. Variaciones en la energía hacen que los átomos cambien de nivel energético lo que produce fenómenos macroscópicos como emisión de luz, de color, o la conductividad eléctrica. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos. El 6% de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. Este modelo es utilizado para explicar problemas relacionados con conductividad eléctrica y emisión de luz.

V. *Modelo electrónico 2.* En un segundo nivel, se especifica la estructura de un sistema, como puede ser la del metal, en el que los electrones, dentro de una banda, pueden moverse con facilidad tanto a lo largo del metal como dentro de los átomos. En este nivel está presente, implícitamente, cierta incertidumbre, lo que abre las posibilidades de manejo del modelo atómico. Los átomos se mueven en un medio continuo que puede estar formado por aire, electrones, moléculas u otros elementos. El 3.1% de las respuestas de los estudiantes de toda la muestra corresponden a esta categoría. Este modelo es utilizado para explicar problemas de conductividad eléctrica y emisión de luz.

De los resultados obtenidos en el capítulo 4 se presenta una relación entre el uso de determinados modelos y los contextos fenomenológicos. A continuación se construirán los perfiles epistemológicos representacionales para todos los problemas en general y por cada contexto con lo que se tendrá la representación general de los estudiantes por cada semestre escolar.

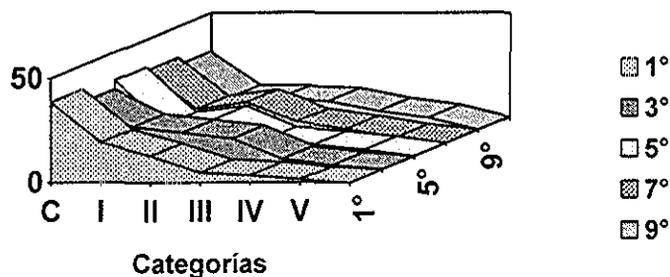
5.2.2 Perfiles epistemológicos representacionales generales de los estudiantes

En la tabla 5.1 se muestran las variaciones que existen en cada semestre. Estos porcentajes, que muestran el cambio entre los modelos descritos antes, presentan las distintas concepciones, por niveles escolares, de los alumnos y, por lo tanto representan *los perfiles epistemológicos representacionales* de los estudiantes. En la misma tabla se encuentran los distintos periodos históricos con los que se identifican las ideas de los estudiantes así como los diferentes contextos fenomenológicos a los que corresponden las explicaciones de cada modelo. En la figura 5.2 se muestran los perfiles epistemológicos representacionales de cada uno de los niveles escolares investigados.

Tabla 5.1
Porcentaje por categoría, semestres y periodo histórico

Modelos	Semestres					Periodo histórico	Contexto fenomenológico
	Prime-ro (%)	Terce-ro (%)	Quinto (%)	Sépti-mo (%)	Noveno (%)		
Continuo	38.6	32.4	36.7	35	31.5	Pensamiento aristotélico (S III a.C.)	Cambios de estado, Disoluciones, Emisión de luz y Conductividad eléctrica
I. Molar	19.3	20.5	15.1	16.5	15.4	Bacon (S XII), Digby, Sennert, Gassendi (SXVII)	
II. Molecular 1	12.7	17.7	18	19.6	15.1	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII)	Cambios de estado, Disoluciones
III. Molecular 2	4.7	14.8	7.7	10.4	14.1	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII) Berzelius (S XIX)	
IV. Electrónico 1	3.3	4.9	5.9	7	9.2	Modelo atómico de Rutherford (S XX)	Emisión de luz y Conductividad eléctrica
V. Electrónico 2	1.4	2.1	3.3	2.8	5.9	Modelo atómico de Bohr (SXX)	

Figura 5.2
Perfiles epistemológicos representacionales



Todos los perfiles de los estudiantes muestran un alto porcentaje de respuestas en el modelo continuo, esto indica que, en la representación sobre estructura de la materia, el continuo tiene un lugar preponderante en las explicaciones que los estudiantes dan acerca de fenómenos relacionados con estructura de la materia. El modelo molar se mantiene prácticamente constante en los estudiantes de primero y tercer semestre, sin embargo hay una pequeña disminución en las

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

respuestas de los estudiantes de quinto, séptimo y noveno semestre, lo que implicaría que, si bien esta también sería una representación frecuentemente utilizada por ellos, difiere de semestre a semestre.

Mayores variaciones pueden apreciarse a partir del nivel molecular, estas variaciones muestran los cambios en la representación de los estudiantes sobre la estructura de la materia. Vale la pena resaltar que los niveles electrónicos tienen una baja representación en los estudiantes, que aumenta considerablemente en el caso de estudiantes de séptimo y noveno semestres en los que estos modelos tienen un significado más claro como esquema de representación de ciertos fenómenos como la emisión de luz y la estructura de los metales para explicar la conductividad eléctrica.

La presencia de modelos como el de Rutherford y el de Bohr se suman a la representación de los estudiantes. Los alumnos de séptimo y noveno semestre incorporan, en mayor número, su representación en el nivel eléctrico, en donde el átomo presenta explícitamente una acción muestran cambio en la representación del modelo de Bohr antes descrito por otro de tipo probabilístico y cuántico

5.2.3 El perfil epistemológico representacional de las fases y sus cambios

En la tabla 5.2²⁹ se presenta el porcentaje de la frecuencia de uso por semestre y categoría con los que se construyen los perfiles por semestre correspondiente al contexto fenomenológico de cambios de fase y el periodo histórico con el que se identifican las ideas. En la figura 5.3 se muestran los perfiles epistemológicos representacionales para las fases y sus cambios.

Tabla 5.2
Porcentaje por semestre, categoría y periodo histórico
Tema: Estados de la materia y cambios de fase

Modelos	Semestres					Periodo histórico
	Prime-ro (%)	Terce-ro (%)	Quinto (%)	Sépti-mo (%)	Nove-no (%)	
Continuo	8.9	8.1	6.6	8.7	7.3	Pensamiento aristotélico (S III a.C.)
I. Molar	4.3	3.3	0.9	3.6	4.5	Bacon (S XII), Digby, Sennert, Gassendi (SXVII)
II. Molecular 1	4.8	4.2	3.9	4.3	1.5	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII)
III. Molecular 2	2.2	5.8	1.7	2.7	4.9	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII) Berzelius (S XIX)
IV. Electrónico 1	0.7					Modelo atómico de Rutherford (SXX)

²⁹ Los datos que aparecen en las tablas corresponden a los obtenidos y reportados en el capítulo 4.

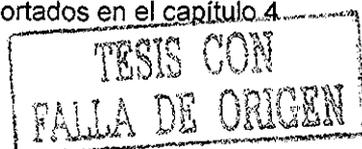
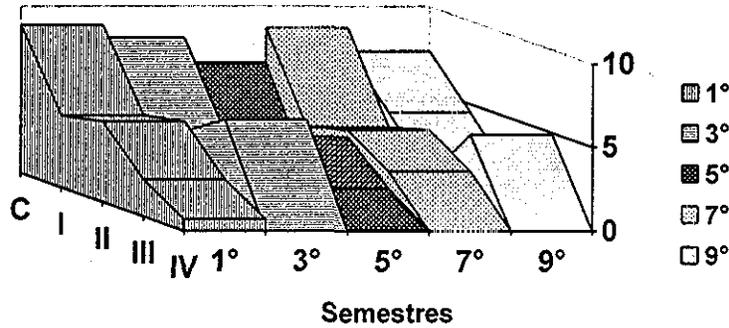


Figura 5.3
Perfiles epistemológicos
representacionales
Tema: Estados de la materia y cambios
de fase



Los alumnos de todos los semestres presentan pocas variaciones en los porcentajes de uso de los modelos, lo que indica que se trata de nociones que sufren pocos cambios a lo largo de los nueve semestres. Los modelos moleculares (II y III) tienen un ligero aumento en el tercer y noveno semestres y se mantiene igual en los restantes. La presencia del modelo IV en primer semestre es poco representativa por lo que puede descartarse como factor importante. Los modelos que coexisten en las explicaciones de los estudiantes varían entre aquellos que utilizan elementos aristotélicos, que representan a la mayor proporción de estudiantes y las ideas de científicos y filósofos del siglo XVII. El modelo III que representa la presencia de fuerzas electrostáticas y que están ubicadas dentro del pensamiento del siglo XIX tiene escasa presencia y tan sólo aparecen, con poca frecuencia, en tercero y noveno semestres.

5.2.4 El perfil epistemológico representacional de las disoluciones

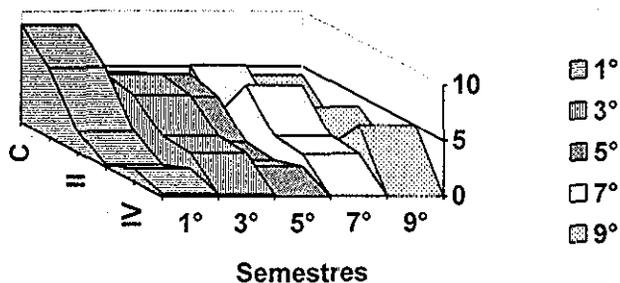
En la tabla 5.3 se presenta el porcentaje de la frecuencia de uso por semestre y categoría de categorías con las que se construyen los perfiles por semestre correspondiente al contexto de las disoluciones así como el periodo histórico con el que están relacionadas las ideas. En la figura 5.4 se muestran los perfiles representacionales para el caso de las disoluciones.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

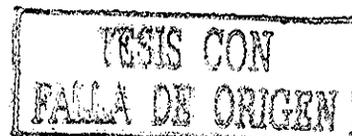
Tabla 5.3
Porcentaje por categoría, semestres y periodo histórico
Tema: Disoluciones

Modelos	Semestres					Periodo histórico
	Prime-ro (%)	Terce-ro (%)	Quinto (%)	Sépti-mo (%)	Noveno (%)	
Continuo	8.8	4.5	4.3	5.1	4.2	Pensamiento aristotélico (S III a.C.)
I. Molar	6.2	5.6	3.6	2	1.7	Bacon (S XII), Digby, Sennert, Gassendi (SXVII)
II. Molecular 1	1.9	5.1	0.9	6	4	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII)
III. Molecular 2	0.2	2.8	0.6	2.8	2	Descartes, Gassendi, Sennert (SXVII), Newton, Lavoisier (SXVIII) Berzelius (S XIX)
IV. Electrónico 1	1.2	2.6	1.4	2.5	5	Modelo atómico de Rutherford (S XX)
V. Electrónico 2	0.3	0.2				Modelo atómico de Bohr (SXX)

Figura 5.4
Perfiles epistemológicos representacionales
Tema: Disoluciones



Las explicaciones sobre las disoluciones muestran un cambio significativo en el perfil de los estudiantes de primer semestre en relación con los otros semestres escolares. Mientras que en primer semestre, el modelo continuo es el que presenta mayor porcentaje de respuestas, en los otros casos este porcentaje disminuye, aumentando el modelo molar para los alumnos de tercer y quinto semestres. Los dos modelos moleculares aumentan de manera similar de tercero a séptimo semestre. Aparecen los dos modelos electrónicos (IV y V) en todos los



semestres y se observa un creciente empleo de estos modelos en las explicaciones sobre disoluciones. El quinto semestre baja ligeramente en todas sus respuestas en relación con tercero y noveno semestre pero, su perfil muestra un porcentaje de uso similar en todas las categorías mientras que, en el noveno semestre, se muestran variantes importantes en donde resaltan los modelos: continuo, el primer molecular (II) y el segundo electrónico (V) como aquellos que se utilizan con mayor frecuencia. En este caso, la preferencia por estos modelos indica que son estos los tres modelos que utilizan los estudiantes para resolver problemas relacionados con las disoluciones. Los modelos históricos que coexisten tienen sus referentes históricos con el pensamiento aristotélico y con el pensamiento de los siglos XVII, XIX y XX.

5.2.5 El perfil epistemológico representacional de la conductividad eléctrica y la emisión de luz

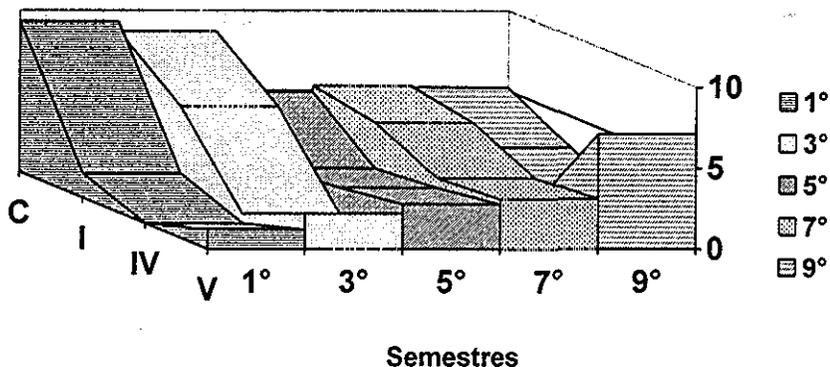
En la tabla 5.4 se presenta el porcentaje de la frecuencia de uso por semestre y categoría, con estos datos se construyen los perfiles por semestre correspondientes al contexto fenomenológico de la conductividad eléctrica y la emisión de luz, así como el periodo histórico con el que tiene alguna referencia. En la figura 5.5 se muestran los perfiles representacionales para el caso de la conductividad eléctrica y la emisión de luz.

Tabla 5.4
Porcentaje por categoría, semestres y periodo histórico
Tema: conductividad eléctrica y emisión de luz

Modelos	Semestres					Periodo histórico
	Prime-ro (%)	Terce-ro (%)	Quinto (%)	Sépti-mo (%)	Nove-no (%)	
Continuo	63	87	49	53	52	Pensamiento aristotélico (S III a.C.)
I. Molar	15	56	18	46	31	Bacon (S XII), Digby, Sennert, Gassendi (SXVII)
IV. Electrónico 1		06	22	28	12	Modelo atómico de Rutherford (S XX)
V. Electrónico 2	12	22	28	31	71	Modelo atómico de Bohr (SXX)



Figura 5.5
Perfiles epistemológicos representacionales
Tema: Conductividad eléctrica y emisión de luz



En este caso los perfiles muestran diferencias entre los dos primeros semestres (primero y tercero) en relación con los restantes. Los alumnos de primer semestre centran sus explicaciones en el modelo continuo, mientras que los de tercer semestre en el continuo y el molar, que en los siguientes semestres bajan sus respuestas y aumentan los modelos molar y los dos electrónicos. El uso del modelo V tiene un aumento creciente dependiente del semestre escolar, teniendo su mayor uso, en el noveno semestre. Es significativo que, para explicar estos fenómenos, tan sólo se recurre a los dos modelos electrónicos y que corresponden con los modelos de Rutherford y Bohr que coexisten, además, con ideas de pensamiento aristotélico y del pensamiento del siglo XVII.

5.2.6 Modelos utilizados por los estudiantes en sus explicaciones

En la tabla 5.5 se muestra el porcentaje del número de modelos que emplean los estudiantes por semestre. En el último renglón se muestra el porcentaje con base en la población total.

Tabla 5.5
Porcentaje de estudiantes por número de modelos utilizados

	Porcentaje de respuesta por número de modelos				
	2 modelos (%)	3 modelos (%)	4 modelos (%)	5 modelos (%)	6 modelos (%)
Primer semestre	12	40	40	4	4
Tercer semestre	4.3	21.8	34.8	30.4	8.7
Quinto semestre		25	43.7	18.8	12.5
Séptimo semestre		4.8	52.4	33.3	9.5
Noveno semestre	4.3		17.4	43.5	34.8
Promedio	4.6	18.5	37.1	25.9	13.9



Toda la población utiliza más de dos modelos en sus explicaciones, el porcentaje de modelos utilizados aumenta conforme aumenta la escolaridad pero en todos los casos uno de los modelos es el continuo. En séptimo y noveno semestres se incrementa el número de modelos utilizados, que de acuerdo con los perfiles epistemológicos representacionales observados corresponden a un incremento en el uso de los modelos IV y V, esto es, los modelos relacionados con la estructura atómica. En general, los alumnos utilizan entre 4 y 5 modelos en sus explicaciones sobre el tema de estructura de la materia.

5.3 Análisis de los perfiles de los estudiantes

No se observa la presencia de un marco teórico general sino, por el contrario, la presencia de modelos independientes que son utilizados en función de la representación fenomenológica a la que hay que dar respuesta. Lo anterior indicaría que con la independencia de los modelos no establecen comparación entre ellos ya que responden a situaciones distintas y por lo tanto el estudiante no ve las contradicciones que surgen al utilizar de manera simultánea distintos modelos.

Las ideas de los estudiantes coinciden, de manera puntual, con ciertos aspectos de los modelos históricos pero no con sus elementos teóricos generales, esto es, no puede hablarse de un paralelismo entre el pensamiento Aristotélico o Cartesiano sino únicamente de manera puntual y en temas específicos que responden a situaciones fenomenológicas determinadas

Bachelard mostró la coexistencia de distintas posturas epistemológicas para un sólo concepto, de manera similar los perfiles epistemológicos representacionales muestran la coexistencia de modelos para un solo tema, por sujeto, que además resultan coincidentes, en contextos limitados, con los pensamientos de: Aristóteles (s III a. C.); Bacon (S XII); Digby, Sennert, Gassendi, Descartes (S XVII); Newton y Lavoisier (S XVIII); Berzelius (S XIX); Rutherford y Bohr (S XX). ¿Cómo explicar la coexistencia de estos modelos en el mismo sujeto?

Por otro lado, Kuhn para explicar el cambio de teorías en la historia de la ciencia, plantea la existencia de inconmensurabilidad entre dos paradigmas en competencia ya que sus normas o sus definiciones de ciencia son diferentes, esto es, la inconmensurabilidad de las normas, el lenguaje, los conceptos tomados del paradigma tradicional se incorporan en el nuevo paradigma. Los nuevos términos, conceptos y experimentos entran en relaciones diferentes unos con otros lo que lleva a un enfrentamiento entre las teorías. También se establece que quienes proponen los paradigmas en competencia practican sus profesiones en mundos diferentes, ambas teorías ven cosas diferentes cuando miran desde la misma dirección y desde el mismo punto, las ven en relación distinta unas con otras. En

un cambio de paradigma hay "una transición entre inconmensurables, la transición entre paradigmas en competencia no puede llevarse a cabo paso a paso, forzada por la lógica y la experiencia neutral. Como el cambio de forma (*Gestalt*), debe tener lugar de una sola vez (aunque no necesariamente en un instante) o no ocurrir en lo absoluto."³⁰

Sobre el cambio de las teorías la siguiente cita presenta claramente la necesidad de un cambio completo de paradigma y de representación, una nueva visión del mundo se forma a la vista de nuevas teorías: "Por tanto, se trate de un físico aristotélico o newtoniano, el camino que tiene que seguir puede reducirse a un proceso de traducción. Se requiere, más bien, de un proceso de adquisición simultánea de conocimiento del lenguaje y conocimiento del mundo. Por un lado, se debe aprender el significado de ciertos términos básicos y la manera de asociarlos con la naturaleza; pero por otro, al mismo tiempo es necesario aprender qué categorías de cosas pueblan el mundo y cuáles son los comportamientos que les son permitidos."³¹

Kuhn acuña el concepto de inconmensurabilidad local para referirse a algunos conceptos y no a teorías completas. En función de este concepto se tiene, entonces, más que una traducción; se tienen elementos de interpretación y comprensión del significado de los distintos conceptos. Esto justifica la posibilidad de comprensión entre teorías no así la simple traducción de una teoría a otra, esto es lo que implica la inconmensurabilidad entre teorías y es local en el sentido de la inconmensurabilidad no se presenta en lo general sino en conceptos específicos.

Es en este sentido que la presencia de distintos modelos en las respuestas de los estudiantes, que además tienen un referente histórico y pueden ser interpretadas como modelos inconmensurables locales. Así los modelos de los estudiantes corresponden a distintas representaciones de los fenómenos que, aun cuando tienen un lenguaje común, no tienen el mismo significado entre los distintos modelos por lo que se dirá que existe una inconmensurabilidad local entre los distintos modelos que emplean los sujetos y que están representados en los perfiles epistemológicos representacionales. Desde esta perspectiva es posible entender la ausencia del reconocimiento de contradicciones entre las respuestas de los estudiantes al utilizar, dependiendo del contexto, distintos tipos de modelos de representación. Por otro lado, la correlación que se ha establecido con representaciones históricas de los fenómenos apoya la existencia de la inconmensurabilidad. Recuérdese que este concepto, como se ha señalado, es utilizado para explicar la existencia de distintas teorías sobre un mismo fenómeno

³⁰ Kuhn (1962) *Op Cit* pp 233-234

³¹ Pérez Ransanz Ana Rosa, (1999) *Kuhn y el cambio científico* Fondo de Cultura Económica México, p 100.

Lo anterior presenta la existencia de un problema educativo ¿Cuál es el camino que debiera seguirse en la formación de los estudiantes? ¿Debe tenderse a eliminar los modelos básicos? Si ésta fuera la respuesta ¿no llevaría esto nuevamente a considerar a la ciencia como productora de verdades absolutas? ¿Es posible la incorporación de la historia para apoyar el desarrollo de distintos modelos que impliquen su adecuado uso de en función del contexto en lugar de pretender eliminarlos?

5.4 Hacia la construcción de un modelo pedagógico

Los resultados muestran la presencia de distintos modelos y que estos están referidos a contextos específicos, además se ha incorporado el concepto de inconmensurabilidad local de los modelos para justificar su presencia en el mismo sujeto explicando de esta forma la ausencia de contradicciones. En un modelo pedagógico la búsqueda de elementos de comprensión entre modelos de los estudiantes, permitiría la identificación de distintas formas de representación que se utilizan y las ventajas que presenta el uso de uno con relación a otro.

Diversas propuestas de modelos pedagógicos han sido elaboradas (Hewson, Beeth y Thorley³², Driver y Scott³³), en algunos casos se toma como apoyo el contexto histórico (Monk y Osborne³⁴, Llorens³⁵). En ellos la historia es un elemento de contrastación con las ideas de los estudiantes de tal forma que éstas pueden ser validadas como modelos posibles en el pensamiento científico. Sin embargo, la idea central de las propuestas pedagógicas está en el cambio de modelos en la mente de los estudiantes.

Los estudiantes mantendrán todos los modelos aplicados a contextos específicos, sin embargo, se sabe que estos modelos son incompletos y no hay una toma de conciencia por parte del estudiante de la presencia de ellos y de que pueden ser contradictorios. Por otro lado, los resultados también muestran la existencia de problemas cognoscitivos que están en el nivel de obstáculo epistemológico como es el caso de la existencia del vacío cuyas dificultades para superarlo pueden ser claramente observadas a lo largo de la historia de la ciencia como se ha visto en el capítulo 4 con la persistencia de la existencia del éter en la historia de la física.

³² Hewson P., Beeth M y Thorley R., (1998). Teaching for Conceptual Change En Fraser B J , y Tobin K G (Eds) *International Handbook of Science Education*. Kluwer Academic Pub.

³³ Driver R , y Scott, P., (1996) Curriculum Development as Research: A Constructivist Approach to Science Curriculum Development and Teaching. En Duit, R. y Fraser, B., (Eds) *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. New York: Teachers College Press, Columbia University.

³⁴ Monk M y Osborne J (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81 405-424.

³⁵ Llorens Molina J. A. (1988). La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela* 4, 33-48

El objetivo de un modelo pedagógico que partiera de los resultados antes señalados tomaría como eje central completar los modelos de los estudiantes, esto es, compararlos con los modelos históricos para que lleven a una toma de conciencia sobre el alcance en las explicaciones de cada modelo en función de los contextos específicos. De esta manera, sería posible que los estudiantes confronten sus modelos y los alcances de sus aplicaciones. En la figura 5.6 se presenta un diagrama de la propuesta de un modelo pedagógico que contempla los aspectos antes mencionados.

Este modelo pedagógico tiene como punto de partida la incorporación de los modelos que utilizan los estudiantes y trabajarlos desde una perspectiva histórica cuya intención será la de completar los modelos de los estudiantes que son parcialmente similares a los modelos históricos. Desde esta perspectiva es necesario mantener todos los modelos históricos presentes y validarlos en función de su aplicabilidad y posibilidades de predicción.

Propuesta de modelo pedagógico

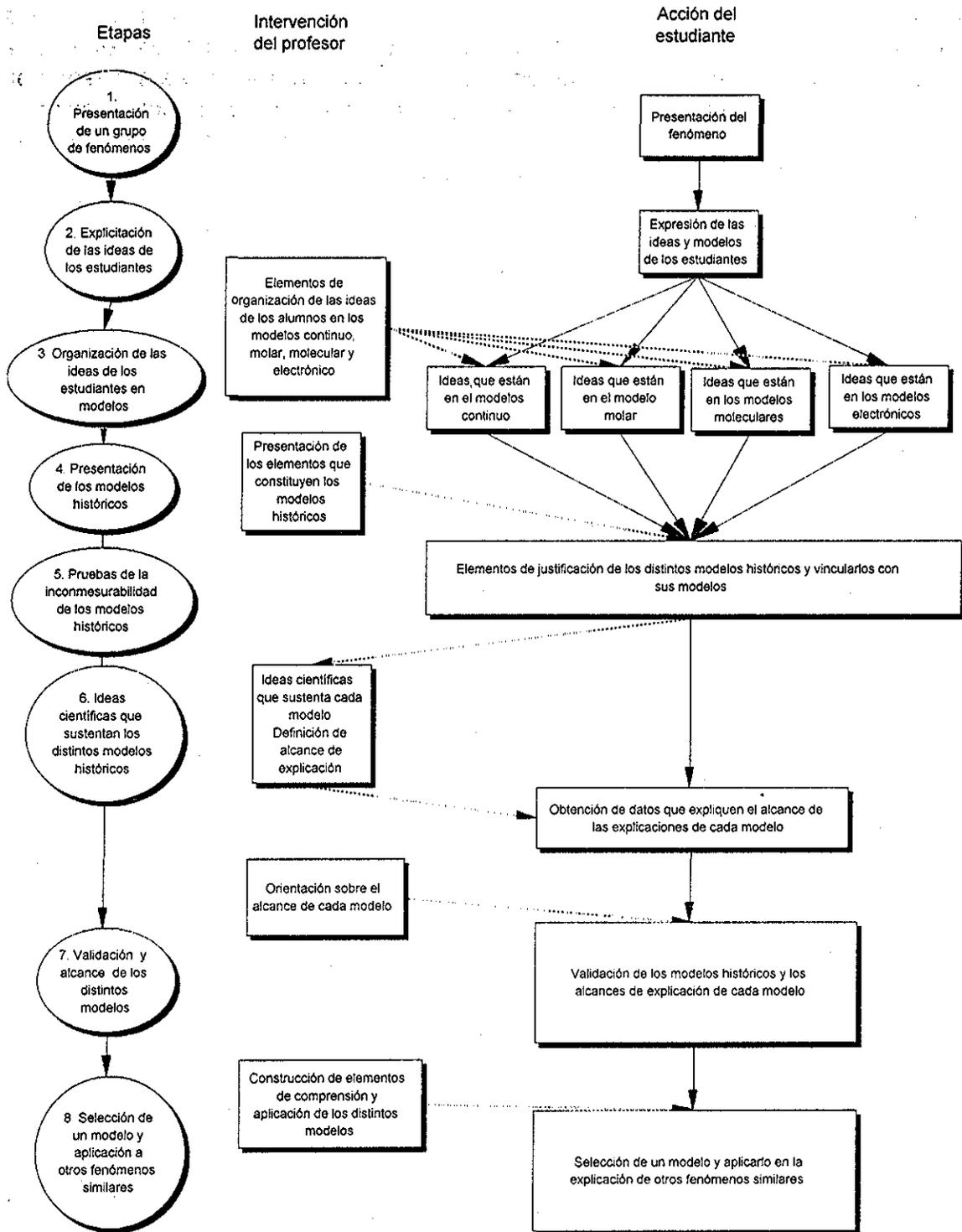


Figura 5.6 Propuesta de modelo pedagógico

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

El modelo pedagógico que se presenta en la figura 5.6 muestra tres columnas: la primera corresponde a las etapas de desarrollo del modelo que tiene una secuencia temporal; la segunda columna corresponde a la intervención del profesor dentro del modelo pedagógico, si bien, el profesor estará, en todo momento, estableciendo las preguntas y la forma de enfocar los problemas, esta columna tiene la intención de resaltar aspectos que se consideran indispensables en su actuación dentro del modelo; por último, la tercera columna corresponde a la acción de los estudiantes y, en ella, se indica con detalle las acciones que con la asesoría y guía del profesor el estudiante debe realizar.

A continuación se detallan las acciones y objetivos de cada una de las etapas del modelo pedagógico

Etapa 1. Presentación de un grupo de fenómenos

La presentación de un conjunto de fenómenos podrá dividirse en tres grupos: cambios de estado, disoluciones y aquellos fenómenos que estén relacionados con la estructura interna de los átomos como son la conductividad eléctrica y la emisión de luz. En cada caso la presentación del tema tiene la finalidad de centrar la atención de los estudiantes sobre el problema e identificar las características de la fenomenología. Para ello es conveniente hacer demostraciones, realizar algunas actividades experimentales y con ellas plantear las preguntas como las que se presentan en el cuestionario motivo de esta investigación ver anexo 1).

Etapa 2. Explicitación de las ideas de los estudiantes

En esta etapa los estudiantes deberán hacer explícitas sus ideas sobre la fenomenología que se les ha presentado con lo que podrán estar en un proceso de toma de conciencia sobre sus pensamientos alrededor de una fenomenología específica. Los estudiantes darán sus predicciones sobre lo que sucederá y explicarán el fenómeno. En este punto los alumnos podrán conocer y argumentar sobre lo que piensan que ocurre. Para lograrlo es conveniente que se establezcan una serie de preguntas que lleven a que, en conjunto, los alumnos expresen su pensamiento, por ejemplo, elaboración de mapas conceptuales, asociación de palabras, dibujos, etc.

Etapa 3. Organización de las ideas de los estudiantes

En esta etapa el maestro deberá mostrar la diferencia y diversidad entre las distintas ideas expresadas por los estudiantes a partir de un grupo de fenómenos sobre los que se discute. Resaltar los elementos más importantes que lleven a una organización de las ideas en modelos que pueden ser los seis modelos que han sido desarrollados a lo largo de este trabajo. Es importante también que el maestro ayude a los alumnos a observar que los modelos de explicación distintos están dentro de una fenomenología específica, también que estas ideas son

modelos que explican un fenómeno de interés y que tiene un alcance determinado. Esto es, en este punto debe resaltarse tanto la diversidad de los modelos de los estudiantes como la simultaneidad de éstos en las explicaciones de cada individuo.

Etapa 4. Presentación de los modelos históricos

En cuanto a los modelos históricos la intención está en reconocer la existencia de distintos modelos que están presentes en la historia de la ciencia y que pretenden dar explicación de una fenomenología específica. Es conveniente situar los modelos históricos en el ámbito cronológico. Los modelos deben ser presentados de forma completa de tal manera que las ideas que son compartidas por los estudiantes puedan ser resaltadas pero que también puedan ser analizadas con detalle, sobre todo aquellos elementos que resultan ser indispensables en los modelos y que pueden no estar presentes en los modelos de los estudiantes. La intención de esta etapa no es tan sólo el reconocimiento de que en la historia de la ciencia hay ideas similares a las de los estudiantes sino que, estos modelos, responden a ciertas formas de explicación y que están presentes en la mente de las personas.

Etapa 5. Pruebas de la inconmensurabilidad de los modelos históricos

En esta etapa se pretende resaltar los distintos significados que tienen los conceptos en cada uno de los modelos históricos y, con ello, explicar la inconmensurabilidad entre los modelos. Otro aspecto que debe buscarse en esta fase es hacer explícitos los distintos significados que tienen los modelos de los estudiantes y establecer en qué sentido existe también inconmensurabilidad entre ellos. De esta manera, la historia puede ser utilizada para la enseñanza como un elemento de comparación y análisis entre las ideas desarrolladas a lo largo del tiempo y las que tienen los alumnos y no, simplemente, como un suceso anecdótico. El maestro tiene la posibilidad de rescatar estas diferencias de significado y orientar las actividades y la discusión para entender las diferencias en el significado de cada uno de los modelos

Etapa 6. Ideas científicas que sustentan los distintos modelos históricos

En este punto se resaltarán, de manera particular, las ideas y los conceptos que tienen mayor alcance en las explicaciones sobre la fenomenología que se pretende abordar. Estas ideas estarán enmarcadas en los modelos históricos por lo que deberán presentarse con más detalle las diferencias entre los significados de los distintos modelos. En este punto los datos que el estudiante obtenga pueden también tener un referente empírico, destacando que no únicamente este tipo de información es relevante. Es necesario que el profesor tenga el referente de los modelos de los estudiantes, en todo momento, con lo que logrará resaltar las diferencias y carencias que los modelos de los estudiantes presentarán en

relación con los modelos históricos. Para lograr lo anterior, es indispensable la orientación y organización de las ideas que el maestro brinde durante las actividades que plantee.

Etapa 7. Validación y alcance de los distintos modelos

En este punto la validación de los modelos tiene como finalidad el clarificar el alcance en las explicaciones de cada modelo lo que llevará a una confrontación de ideas entre los distintos modelos que conducirá a un conflicto cognitivo que puede ser reconocido por los sujetos con lo que tendría los elementos necesarios para lograr el cambio conceptual. Para que los alumnos puedan validar los modelos es indispensable la orientación del maestro ya que él cuenta con todos los elementos de organización de cada uno de los modelos de los estudiantes y de los modelos históricos.

Etapa 8. Selección de un modelo y aplicación a otros fenómenos similares

Una vez que el alcance en la explicación de cada modelo ha sido clarificado para los estudiantes y ellos hayan completado sus modelos con el estudio de los modelos históricos, es posible, también, que seleccionen un modelo y lo apliquen conociendo el alcance de sus predicciones. Es necesario que el maestro brinde los elementos de comprensión entre los distintos modelos y con ello el rango de aplicación que puede tener cada uno de los modelos seleccionados. Esta etapa tiene como finalidad no solamente la transferencia de un modelo a un fenómeno distinto de los tratados hasta ahora, pero del mismo contexto fenomenológico, sino también, la toma de conciencia sobre el alcance de las explicaciones que se desea lograr.

Comentarios generales del modelo

Cabe resaltar que en toda la secuencia siempre estará presente una comparación entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes ya que la intención de todo el modelo pedagógico es llevar a una toma de conciencia sobre los modelos adoptados por los estudiantes y el tipo de explicaciones a las que llevan. Por otro lado, es importante señalar que el enfoque del modelo pedagógico no toma como un elemento de discusión a la historia sino que presenta una organización histórica en donde ésta hace las veces de norma con la cual comparar las ideas de los estudiantes.

En toda la secuencia, la actividad del maestro es indispensable, en cuanto al diseño de las actividades y la forma de conducir la discusión. Los objetivos que han sido planteados en cada punto de la etapa podrán lograrse si el maestro tiene una propuesta didáctica adecuada para el logro de este fin.

Se sugiere que el grupo de fenómenos que abarcan cambios de estado y estados de la materia se trabaje durante los primeros semestres, el caso de las disoluciones sería conveniente trabajarlo durante los semestres intermedios de la carrera, esto es, quinto o sexto semestre ya que los alumnos cuentan con suficientes conocimientos para comprender los modelos moleculares, para el final de la carrera se sugiere que se traten tópicos que tengan relación con la estructura atómica y los modelos atómicos. En este último semestre sería conveniente trabajar todos los temas nuevamente con la finalidad de analizar todos los modelos ya que los alumnos cuentan con los conocimientos y herramientas matemáticas necesarias para abordarlos de manera completa.

5.5 Conclusiones

Las conclusiones del trabajo de tesis corresponden a los cinco puntos siguientes:

1. La presencia de modelos continuos y discretos a lo largo de la historia para la estructura de la materia.
2. La presencia de modelos continuos y discretos en las ideas de los estudiantes en sus explicaciones sobre la estructura de la materia.
3. La diversidad de modelos en las explicaciones de los estudiantes permite construir sus perfiles epistemológicos representacionales e identificar su transformación a lo largo de la formación escolar.
4. Los modelos de los estudiantes son inconmensurables localmente entre sí.
5. La construcción de un modelo pedagógico debe contemplar la existencia de múltiples modelos inconmensurables localmente.

A continuación se exponen los aspectos más relevantes para cada uno de los rubros a los que se ha hecho referencia.

1. La presencia de modelos continuos y discretos a lo largo de la historia para la estructura de la materia

A lo largo del análisis histórico se aprecia la existencia de distintos modelos de estructura de la materia que se construyeron en distintas épocas. De acuerdo a Kuhn durante el proceso de aceptación de nuevos modelos, se presentó la coexistencia de diversos modelos hasta que el nuevo paradigma dominante fue aceptado por la comunidad científica de cada época. En relación con la estructura de la materia los modelos que se presentan en la historia siempre están referidos a dos representaciones de la estructura de la materia: la continua y la discreta, mismas que corresponden a modelos históricos y epistemológicos diferentes y que, sin embargo, han estado presentes a lo largo de la construcción de las formas de representación de la materia.

2. La presencia de modelos continuos y discretos en las ideas de los estudiantes en sus explicaciones sobre la estructura de la materia.

La misma dicotomía en la representación de la estructura de la materia que se ha presentado en la historia se ve reflejada en los estudios sobre concepciones de los estudiantes. Los estudiantes de todas las edades muestran, en conjunto, la presencia de modelos continuos y discretos en sus representaciones.

A partir del análisis histórico de la estructura de la materia se construyeron, considerando la propuesta de tres etapas en el desarrollo de la historia de la Química de Jensen, 6 modelos que describen la evolución del pensamiento químico y físico sobre la estructura de la materia y que corresponden, de manera parcial, a las respuestas que los estudiantes expresan sobre fenómenos relacionados con: a) cambios de estado y estados de la materia; b) disoluciones y c) problemas relacionados con la estructura interna del átomo como son la emisión de luz y la conductividad eléctrica.

Las respuestas de los estudiantes al ser clasificadas, muestran la coexistencia de los seis distintos modelos que están presentes en las categorías construidas en función del desarrollo histórico que corresponden a un modelo continuo y cinco modelos discretos, las explicaciones están relacionadas con el contexto fenomenológico de las preguntas. Toda la población utiliza, al menos, dos modelos en sus respuestas, en todos los casos uno de ellos es el continuo, el número de modelos utilizados aumenta conforme aumenta la escolaridad lo que implica que un aumento en el conocimiento sobre un tema amplía la diversidad de posibles modelos que se utilizan para explicar una mayor multiplicidad de contextos fenomenológicos.

Los dos modelos que tienen mayor porcentaje de respuestas son el continuo y el molar, lo que habla de la presencia de una representación continua de la materia, ya que, el modelo molar, presenta como parte de sus características la existencia de un continuo en donde las partículas materiales son consideradas como fragmentos de materia con comportamiento macroscópico. Sin embargo, es importante señalar que una representación continua está presente en todos los modelos de los estudiantes ya que consideran que existe un medio continuo en el que la materia (moléculas y átomos) se mueve e interacciona; lo antes expresado, lleva a reconocer la dificultad que presenta la incorporación de la noción del vacío dentro de un modelo de estructura de la materia lo que coloca a este concepto, como un obstáculo epistemológico.

Por otro lado, los modelos de los estudiantes muestran también coincidencia parcialmente con el pensamiento sobre estructura de la materia de algunos filósofos y científicos. Por ejemplo, el modelo continuo se identifica con aspectos del pensamiento aristotélico, el modelo molar se relaciona con aspectos del

pensamiento de Bacon, Sennert y Gassendi que corresponden al siglo XII el primero y al siglo XVII los segundos, el nivel molecular I presenta ideas que están relacionadas con el pensamiento de Descartes, Sennert, Newton y Lavoisier que se ubican en el siglo XVII y S XVIII, el modelo molecular III, mantiene ciertos aspectos del modelo anterior pero incorpora aspectos con tienen similitud con el pensamiento de Berzelius (s XIX) y los dos modelos electrónicos tienen aspectos de los modelos de Rutherford y de Bohr (s XX). Cabe señalar que la incorporación del vacío en el modelo de estructura de la materia correspondería a los siglos XIX y XX, mientras que los estudiantes mantienen la idea del continuo en todos sus modelos por lo que su representación general está relacionada con el pensamiento del siglo XVII que es un periodo de transición entre el modelo aristotélico y la construcción del marco teórico de la mecánica clásica. Lo anterior sugiere que los modelos de los estudiantes se encuentran en un periodo de transición en los que no hay aún una clara explicitación de los elementos teóricos que subyacen a sus explicaciones

3. La diversidad de modelos en las explicaciones de los estudiantes permite construir sus perfiles epistemológicos representacionales e identificar su transformación a lo largo de la formación escolar

Para mostrar la coexistencia de modelos en las ideas de los estudiantes se construyeron los perfiles epistemológicos representacionales que son derivados de la propuesta de perfil epistemológico de Bachelard. Los perfiles epistemológicos representacionales se construyeron a partir de la frecuencia de uso de los modelos y muestran en conjunto las variaciones en las formas de explicación que los sujetos presentan ante cambios en: los contextos fenomenológicos y formas de cuestionamiento.

Los perfiles epistemológicos representacionales, de la muestra investigada, presentan diferencias en relación con los distintos contextos fenomenológicos y grados escolares lo que indica la dependencia de los modelos utilizados por los estudiantes con el contexto y la escolaridad. Por otro lado, los perfiles epistemológicos representacionales permiten analizar los cambios en las respuestas de los alumnos. Los alumnos de mayor nivel escolar muestran mayor uso de modelos de los niveles moleculares (II y III) y electrónicos (IV y V) que los alumnos de los primeros semestres.

Los perfiles epistemológicos representacionales muestran que los esquemas de representación que el estudiante adopta como justificación indican la influencia de los contenidos escolares estudiados a lo largo de la carrera de Química. Por ejemplo, en las explicaciones sobre cambios de estado y disoluciones la frecuencia en el uso de modelos moleculares es muy bajo en los primeros niveles y aumenta en los últimos, quizás el caso más significativo se presenta en las explicaciones sobre emisión de luz y conductividad eléctrica en el que el uso de

los modelos electrónicos tiene un claro crecimiento conforme avanzan los niveles escolares. Estos esquemas de representación sobre los fenómenos y sus explicaciones regulan la importancia que los estudiantes dan, en sus respuestas, a ciertos elementos tanto teóricos como empíricos, lo que llevaría a determinar un rango de aplicación posible de cada modelo de los estudiantes. Lo anterior justifica también el incremento en los modelos utilizados conforme avanza la escolaridad ya que estos modelos se hacen más selectivos en cuanto a su posible aplicación.

La coexistencia de los distintos modelos en las explicaciones de los sujetos habla, también, de la presencia de sistemas complejos de modelos, representados por los perfiles epistemológicos representacionales que sufren transformaciones a lo largo de la formación de los estudiantes. Este proceso de transformación que se observa en los perfiles epistemológicos representacionales indica la existencia de cambio en el perfil conceptual, lo que indica que el número de modelos aumenta transformando la frecuencia de uso de los distintos modelos. Sin embargo, esta transformación no es la óptima ya que los modelos que forman parte del sistema son incompletos tanto en los conceptos que involucran como en las relaciones entre los conceptos que deben establecerse, lo que no permite al estudiante reconocer su rango de aplicación y la selección adecuada del modelo para el problema que se plantea.

4. Los modelos de los estudiantes son inconmensurables localmente entre sí

La multiplicidad de modelos representacionales en las explicaciones de los sujetos es justificable si se alude al concepto Kuhniano de *incomensurabilidad local* con el cual se explica la presencia de múltiples teorías en la historia de la ciencia. La extrapolación de este concepto hacia el sujeto que construye cognitivamente múltiples modelos es posible ya que, cada modelo construido establece conceptos y relaciones cuyo significado le es propio, formando núcleos cerrados de manera análoga a como lo hacen las teorías científicas. Esta extrapolación también es posible por la relación que existe entre los modelos de los estudiantes con algunos modelos que se presentan en la historia.

Lo anterior implica que los distintos modelos que construyen los estudiantes son independientes entre sí y están ligados a problemas y contextos específicos, esto significa que en estos modelos los conceptos que los componen no comparten significados y se mantienen dentro de un rango específico de aplicación, por lo que no son generalizables. Como puede verse esto lleva a una distinción entre los modelos históricos y los modelos de los estudiantes, mientras los primeros tienden, a lo largo de la historia, a ser más generalizables y abarcar mayor número de ámbitos de aplicación, los segundos son cerrados dirigidos a explicaciones específicas e independientes de otros fenómenos. La inconmensurabilidad local permite dar a los individuos explicaciones parciales, locales y con una carga

semántica específica lo que les impide reconocer contradicciones que sólo son posibles de identificar si los modelos fuesen conmensurables.

5. La construcción de un modelo pedagógico debe contemplar la existencia de múltiples modelos inconmensurables localmente

Desde esta perspectiva, de la inconmensurabilidad local, el modelo pedagógico que se propone contempla la explicitación de ideas sobre diversos fenómenos relacionados para que se lleve a cabo una toma de conciencia de la existencia de los distintos modelos explicativos de los sujetos. La similitud de los modelos de los estudiantes con los modelos históricos permitirá organizar los modelos de los estudiantes y considerar los modelos históricos como elementos de comprensión para los estudiantes, resaltando la importancia de los distintos modelos con los que cada sujeto enfoca y resuelve los problemas fenomenológicos y teóricos que se le presentan. Con esta información, es posible desarrollar elementos pedagógicos que posibiliten la construcción de puentes de comprensión entre los distintos modelos de los sujetos y llevarlos hacia la selección del modelo más adecuado para los problemas planteados. Lo anterior llevaría a la transformación de sistemas de modelos que formarían parte del cambio o transformación conceptual de los sujetos.

El modelo pedagógico presenta la existencia de distintos modelos en la mente de los sujetos y la posibilidad de utilizar un eje histórico que permita la confrontación de paradigmas entre los modelos de cada estudiante. Esta confrontación deberá llevar al estudiante a la selección del modelo más adecuado para el problema al que el estudiante se enfrenta. En esta propuesta pedagógica la intención no es de quitar o reducir los modelos que el estudiante puede emplear sino reconocer y explicitar la potencialidad y aplicabilidad que cada modelo puede presentar lo que implica, necesariamente, reconocer que la construcción de modelos en la mente de los sujetos tiene semejanza con los procesos de transición histórica en la que no existe un paradigma dominante.

Por otro lado, los modelos incompletos y fragmentados de los estudiantes, como se han mostrado en este estudio, resultan de poca utilidad para ellos, por lo que es necesario en la fase de reconocimiento de los modelos, reconstruirlos desde las teorías que los sustentan, completando los modelos durante la fase de instrucción para una mejor identificación del rango de aplicación y la selección del mejor modelo para el contexto indicado.

Desde esta perspectiva la enseñanza de los modelos científicos no puede ser considerada solamente a partir de un desarrollo lineal sino que debe integrarse una perspectiva horizontal, esto es, la consideración de todos los modelos que coexisten en la mente de los estudiantes que, como se ha visto, tienen una relación con el desarrollo histórico de los modelos científicos. Completar los

modelos e identificarlos dentro de su rango de respuesta a los problemas fenomenológicos permitirá a los alumnos encontrar las contradicciones al hacer uso de dos modelos que parten de paradigmas diferentes.

La aplicación en el aula de esta propuesta de modelo pedagógico implica: por un lado, la construcción de estrategias didácticas que contemplen todos los aspectos del modelo, de las ideas de los estudiantes y del desarrollo histórico del tema; y por el otro la formación de docentes que hagan posible la aplicación del modelo pedagógico.

Lo anterior implica una transformación en el currículo de ciencias ya que deberá modificarse la estructura en serie que establece el currículo para convertirse en una estructura en paralelo al aceptar la existencia de múltiples modelos de interpretación de la fenomenología como un elemento en el aprendizaje de la ciencia. Acompañando a esta modificación, la formación de los maestros y la construcción de estrategias de aprendizaje dentro de este modelo afectarán la forma de enseñanza en el aula.

Referencias

- Albanese A., y Vicentini M. (1997). Why Do We Believe that an Atom is Colourless? Reflections about the Teaching of the Particle Model. *Science & Education*, 6, 251-261
- Amaldi Ginestra (1966). *The nature of matter. Physical theory from Thales to Fermi*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Andersson B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Aristóteles, (1995). *Física*. Biblioteca clásica Gredos, 203. Madrid: Editorial Gredos.
- Ault, C. K., Novak, J. D., y Gowin, J. D (1984). Constructing vee maps for clinical interviews on molecule concepts. *Science Education*, 68(4), 441-462.
- Bachelard G (1985). *La formación del espíritu científico Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*. México: Siglo XXI.
- Bachelard, G (1984). *La filosofía del No*. Buenos Aires: Amorrortu Editores
- Bar V. y Galili Il. (1994) Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education* 16 (2), 157-174.
- Bar, V (1987). The development of the concept of evaporation, submitted for publication to the *Journal of Research in Science Teaching*.
- Bar, V., y Trevis, A. S. (1991). Children's view concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.
- Ben Zvi, R., Eylon, B y Silberstein, J., (1982). Student conceptions of gas and solid Difficulties to function in a multi-atomic context. Documento presentado en la conferencia de NARST.
- Benarroch Benarroch, Alicia (2000). El desarrollo cognoscitivo de los estudiantes en el área de la naturaleza corpuscular de la materia. *Enseñanza de las ciencias*, 18(2), pp. 235-246.
- Benítez Laura (1992). *La materia en René Descartes*. En Beuchot M., Benítez L., Yolton J., Winkler K., Silva C., McMullin E., Lara Zavala N, Herrera A., Robles J. A., y Tomasini Bassols A. El concepto de materia. México: Colofón S.A.
- Benson, D. L., Wittrock, M. C., y Baur, M. E. (1993) Students' preconceptions of the nature of gases. *Journal of Research in Science Education*, 30(6), 587-597.
- Blanco, A. y Prieto, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolutions of a solid in a liquid: a cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education*, 19, 303-315.
- Bodner G. M., (1991). I have found you an argument. The conceptual knowledge of beginning chemistry graduate students. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 385-388.
- Borsese A. Lumbaca, P y Pentimalli (1996). Investigación sobre las concepciones de los estudiantes acerca de los estados de agregación y los cambios de estado. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), pp 15-24.
- Carey, S., (1985); *Conceptual Change in Childhood*, Bradford Books, Cambridge, MA: MIT Press

- Clericuzio A. (2000). *Elements, principles and corpuscles. A study of Atomism and Chemistry in the Seventeenth Century*. Boston: Kluwer Academic Pub.
- Copleston F. (1980). *Historia de la Filosofía. Vol. 1. Grecia y Roma*. Barcelona: Ed. Ariel.
- Cordero, N. L., Olivieri, F. J., y Eggers Lan C., (1994) *Los filósofos presocráticos II*. Biblioteca clásica Gredos, 24 Madrid: Gredos.
- Cross, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., y Leber, J. (1986). Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acid and bases. *European Journal of Science Education*, 8(13), 305-313.
- Cruz D., Chamizo J. A. Y Garritz A (1987) *Estructura atómica. Un enfoque químico*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.
- Cushing J.T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics. The Historical Relation Between Philosophy and Scientific Theories*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chi, M. T.H. (1992). Conceptual Change within and across ontological categories: Examples from learning and Discovery in Science. En R. Giere (ed.) *Cognitive Models of Science Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Volumen XV. Minnesota:University of Minnesota Press, 129-186
- Chinn, C. A. y Brewer, W. F., (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. *Review of Educational Research*, 63, 1-29
- de Posada J. M (1997). Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and their Electric Conductions: Structure and Evolution. *Science Education*, 81, 445-467.
- de Posada, J. M., (1995). Contenidos, actividades y/o estrategias de enseñanza de la Química en la formación científica de ciudadanos *Pan-American Newsletter on Chemical Education*, 7(1), 2-3.
- de Vos, W. Y Verdonk, A. H., (1987a). A new road to reactions, part 4. The substance and its molecules *Journal of Chemical Education*, 64, 692-694.
- Descartes (1986) *El Mundo o Tratado de la Luz*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Dibar Ure M. C. y Colinvaux D., (1989). Developing adults' views on the phenomenon of change of physical state in water *International Journal of Science Education* 11(2), 153-160
- Dickinson D. K (1987). The development of a concept of material kind. *Science Education* 71(4), 615-628.
- Driver R. y Scott P., (1996). Curriculum Development as Research: A Constructivist Approach to Science Curriculum Development and Teaching. En *Improving Teaching and Learning and Mathematics*. New York: Teachers College Press.
- Driver, R., (1989). Más allá de las apariencias: la conservación de la materia bajo las transformaciones físicas y químicas. En Driver R. Guesne E. y Tiberghien A., *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Ed. Morata.

- Duit R., (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education. En Wolfgang Schnotz, Stella Vosniadou y Mario Carretero (Eds.) *Advanced in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change...* Oxford: Pergamon Elsevier Science Oxford, 263-314
- Düring I., (1987). *Aristóteles*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Duschl R. A. y Hamilton, R. J., (1998). Conceptual Change in Science and in the Learning in Science. En B. Fraser y K. Tobin (Eds) *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Pub. 1047-1066
- Ebenezer J. V. y Erickson G. L. (1996). Chemistry Students' Conceptions of Solubility: A phenomenography. *Science Education*, 80(2), 181-201.
- Ebenezer J. V. y Gaskell P. J. (1995). Relational Conceptual Change in Solution Chemistry. *Science Education*, 79(1), 1-17.
- Eisberg R. y Resnick R., (1974). *Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*. México: Limusa.
- Enciclopedia Británica* (1995) Vol 14. Enciclopedia Británica Inc.
- Erickson, G., (1980). Children's viewpoints of heat: a second look. *Science Education*, 64(5), 323-336.
- Feynman, R., (1987). *Física. Vol 1: Mecánica, radiación y calor*. Fondo Educativo Interamericano. S. A
- Fischler H., y Lichtfeldt M., (1992). Modern physics and students' conceptions. *Science Education*, 14 (2), 181-190.
- Flores C. F., (1999). *Estructura y procesos de inferencia en las ideas físicas de los estudiantes: modelos semiformalizados sobre ideas previas* Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras UNAM.
- Gabel D., Samuel k. V. Y Hunn D. (1987). Understanding the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemical Education*, 64 (8), 695-697
- Gallegos, C. L., León T. A. I., y López M. A., (1997). La investigación en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. En Waldegg, G., y Block, D., (Eds.). *Estudios en didáctica. México: Consejo Mexicano de Investigación Educativa y Grupo editorial Iberoamérica*, 131-133.
- Garnett P. J. Garnett P. J., y Hackling M. W., (1995) Students' alternative conceptions in chemistry: a review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Garnett, P. J., y Treagust, D. F., (1992) Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidations reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 121-142.
- Gómez M. A. Pozo J. A., y Sanz A., (1995) Students' Ideas on Conservation of Matter: Effects of Expertise and Context Variables. *Science Education*, 79(1), 77-93.
- Griffiths A., y Preston K. R. (1992). Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Education*. 29(6), 611-628
- Haidar A. Abraham M. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching* 28 (10), 919-938

- Harman (1995). *Energy, Force, and Matter. The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. New York: Cambridge History of Science Series.
- Harrison A. G., y Treagust D., F., (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Harrison A. G., y Treagust D., F., (2000) Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*. 84, 352-281.
- Hewson P. W., Beeth, M. E. y Thorley N. R. (1998). Teaching for Conceptual Change. En Frase B. J. Y Tobin K. G. *International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Hibbard, M. K., y Novak, J. D., (1975). Audio-tutorial elementary school instruction as a meted for study of children's concept learning: Particulate nature of matter. *Science Education*, 59, 559-570.
- Jensen W. B., (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook Part I, Does Chemistry Have a Logical Structure? *Journal of Chemical Education*, 75 (6), 679-687.
- Jensen W. B., (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook. Part II, Can We Unmeddle the Chemistry Textbook? *Journal of Chemical Education*, 75 (7), 817-828.
- Jensen W. B., (1998). Logic, History, and the Chemistry Textbook Part III, One Chemical Revolution or Three? *Journal of Chemical Education*, 75 (8), 961-969.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*. 20(4) 393-412.
- Karplus, R., (1966). Chemical phenomena in elementary school science. *Journal of Chemical Education*, 43, 267-269.
- Krnel, D. R. Watson, y S. A. Glazar. (1998). Survey of research related to the development of the concept of matter. *International Journal Science Education*, 20 (3), 257-289.
- Kuhn T., (1952). Newton and the Theory of Chemical Solution. *Isis* 42, 296-8
- Kuhn T., (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Laverty, D. T., y McGravey, J. E. B., (1991) A 'constructivist' approach to learning. *Education in Chemistry*, Julio, 99-102.
- Lavoisier. (1990). *Tratado Elemental de Química*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Lee, P., Eichinger, D., Andersson, C. W, Berkheimer, G. D., y Blakeslee, T. D., (1993) Changing middle school students' conceptions of matter and molecules *Journal of Research in Science Teaching*. 30(3), 249-270.
- Linder C. J. (1993). A Challenge to Conceptual Change *Science Education* 77(3), 293-300
- Longden, K., Black P., y Solomon J., (1991), Children's interpretation of dissolving *International Journal of Science Education* 13(1), 59-68.

- Lovell, K., y Ogilvie, E., (1961-1962). A study of the conservation of weight in the junior school child. *British Journal of Educational Psychology*, 31, 138-144.
- Llorens Molina J. A. (1988) La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la escuela*, 4, 33-48.
- Maskill, R. (1997). Young pupils' ideas about the microscopic nature of matter in three different European countries. *International Journal of Science Education*, 19 (6), 631-645.
- Monk, M., y Osborne, J., (1997). Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A model for the Development of Pedagogy. *Science Education*, 81 405-424
- Mortimer, E., F., (1995). Conceptual Change of Conceptual Profile Change? *Science & Education* 4: 267-285.
- Nakleh, M. B. y Samarapungavan, A., (1999). Elementary School Children's Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching*. 36(7), 777-805.
- Nersessian, N., (1992) How do scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change en R. Giere (ed.) *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 3-44
- Novick, S. y Nussbaum, J., (1978) Junior High school pupils' understanding of the particle nature of matter: an interview study. *Science Education*, 62(3), 273-281
- Novick, S. y Nussbaum, J., (1981) Pupils' understanding of the particle nature of matter: a cross age study. *Science Education*, 65 (2), 187-196
- Nussbaum, J. (1989). La naturaleza de las partículas de la materia en el estado gaseoso. En Driver R. Guesne E., y Tiberghien A (1989). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* Madrid: Morata.
- Osborne, R. J. y Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of the state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 825-838.
- Papp D (1961). *Historia de la Física. Desde la antigüedad hasta los umbrales del siglo XX* Segunda Edición. Madrid: Espasa Calpe.
- Pereira, M. P. y Pestana, Ma. E. M., (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, 13 (3), 313-319.
- Pérez Ransanz A. R., (1999). *Kuhn y el cambio científico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pfund, H. y Duit, R. (1998). Bibliography "Students' alternative frameworks and science education". Versión electrónica
- Pfundt, H (1981). The atom-the final link in the division process or the first building block? *Chimica didactica*, 7, 75-94.
- Piaget J. (1974). *Understanding causality* New York: Norton.
- Piaget J e Inhelder B., (1994). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente* Buenos Aires: Ed. Paidós.
- Piaget, J. y García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI

- Pintrich, P. R., Marx, R. W., y Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63 (2), pp. 167-199.
- Poratti A., y Egggers Lan C , (1997). *Los filósofos presocráticos III. Leucipo y Demócrito*. Biblioteca Clásica Gredos, 28. Madrid: Gredos.
- Posner G. J., Strike K. A., Hewson P. W. y Gertzog W. (1988) Acomodación de un concepto científico: Hacia una teoría del cambio conceptual En Porlan R., García J. E. T Cañal P. (Eds) *Constructivismo y Enseñanza de las Ciencias*. Sevilla: Díada Editorial.
- Pozo J. I.; Gómez M. A. Y Sanz, A. (1999) When change does not mean replacement: different representation for different context. En Shnotz W., Vosniadou S. Y Carretero M. (Eds) *New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon Elsevier pp. 161.174.
- Prieto T., Blanco A Y Rodríguez A (1989). The ideas of 11 to 14 year old students about the nature of solutions. *International Journal of Science Education* 11 (4), 451-463
- Pullman B. (1998). *The atom in the history of human thought*. New York: Oxford University Press.
- Reif, F. (1985) Acquiring an effective understanding of scientific concepts. En West y Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change* Orlando: Academic Press. 133-151.
- Renstrom (1988). Conceptions of matter-a phenomenographic approach. *Göteborg studies in educational science*, 69 Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Renström L , Andersson, B., y Marton F., (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82 (3), 555-569
- Ryan, (1990). Student teachers' concepts of purity and states of matter. *Research in Science and Technological Education*, 8(2), 171-183
- Sanz, A., Gómez Crespo, M. A , y Pozo, J. I., (1993). Influencia de la instrucción en la utilización del modelo de partículas. *Enseñanza de las ciencias*, número extra, 181-282.
- Selley N. J. (1978). The confusion of molecular particles with substances *Education in Chemistry*, 15, 144-145.
- Séré M. G. (1989). El estado gaseoso En Driver R. Guesne E., y Tiberghien A *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata.
- Stavy R., (1990) Pupils' problems in understanding conservation of matter *International Journal of Science Education*, 12(5), 501-512.
- Stavy R ,(1990) Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *International Journal of Research in Science Teaching* 27 (3) 247-266.
- Stavy, R y Stachel, D. (1985). Children's conceptions of changes in the state of matter: from solid to liquid. *Archives de Psychologie*, 53, 331-344.
- Stavy, R. y Stachel, D. (1985). Children's ideas about 'solid' and 'liquid'. *European Journal of Science Education*, 7, 407-421.

- Strike y Posner (1992). A revisionist theory of conceptual change. En R Duschl y R. Hamilton (Eds), *Phylosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*, 147-176. Albany, New York: SUNY
- Treagust D , Duit R., y Niewswandt M., (2000). Sources of students' difficulties in learning chemistry. *Educación química*. 11(2), 228-235.
- Valanides N., (2000). Primary student teachers' understanding of the particulate nature of matter and its transformations during dissolving. *Chemistry education: Research and practice in Europe*. 1(2), 249-262.
- Westbrook, S., (1988). *A cross-age study of student understandings of four biology concepts*. Unpublished doctoral dissertation, university of Oklahoma, Norman.

Anexo 1

Cuestionarios

Cuestionario 1

Nombre _____ Carrera _____

Grupo _____

Lee cuidadosamente cada una de las preguntas y respóndelas de acuerdo a lo que piensas. Gracias por tu cooperación. Si requieres de mayor espacio para contestar utiliza la parte posterior de la hoja

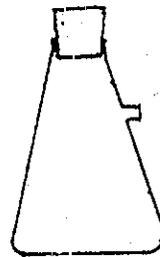
- 1 Un recipiente contiene aire y se encuentra conectado a un globo. Si el aire dentro del recipiente se calienta con una llama ¿qué le sucede al globo?

¿Por qué? _____

Dibuja, en la siguiente figura, cómo se vería el globo después de que se ha calentado el aire dentro del recipiente. En la misma figura dibuja el aire dentro del recipiente antes y después de haberlo calentado



Recipiente y globo
antes de calentar el
aire



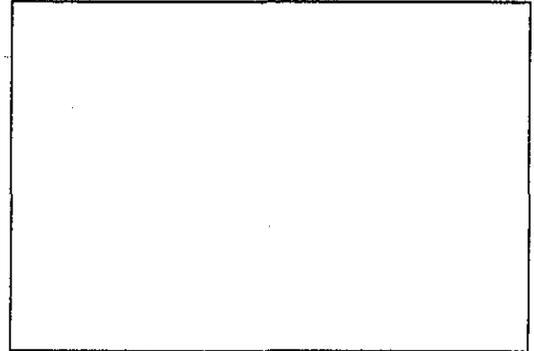
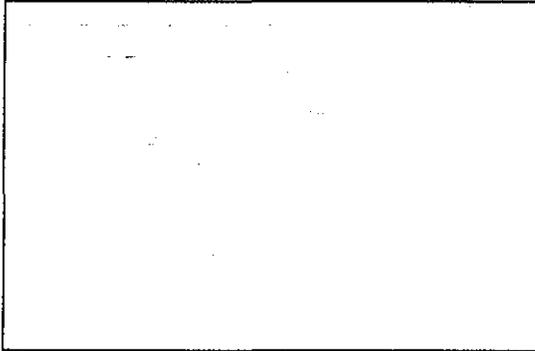
Recipiente después de
calentar el aire

- 2 Un recipiente con agua se calienta con una llama, después de cierto tiempo se observan dentro del líquido y pegadas a las paredes del recipiente, burbujas que suben a la superficie ¿De qué están formadas estas burbujas?

¿Cómo y por qué se forman? Explica tus respuestas

- 3 Un repartidor de hielo olvida por descuido un bloque en la calle. Después de 1/2 h se encuentra un gran charco alrededor del mismo y después de 1 h el pavimento está seco. Explica qué ha sucedido después de 1/2 h y de 1 h con el hielo y cómo piensas que esto ocurre.
- _____

Dibuja en cada caso lo que consideres que sucedió.



4. En un tubo de ensayo cerrado hay yodo en estado sólido, el tubo se pone a la llama, después de cierto tiempo se retira de ella. Explica lo que sucede durante el proceso.

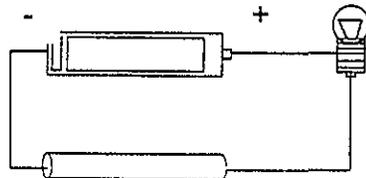
5. Una cucharada de azúcar se añade a media taza con agua. El azúcar y el agua se revuelven. El azúcar se disuelve en agua. Explica por qué el azúcar se disuelve en agua.

6. Una cucharada de sal se añade a media taza con agua. La sal y el agua se revuelven. La sal se disuelve en agua. Explica por qué la sal se disuelve en agua.

7. Una cucharada de gis se añade a media taza con agua. El gis y el agua se revuelven. El gis no se disuelve en agua. Explica que sucede y por qué el gis no se disuelve en el agua.

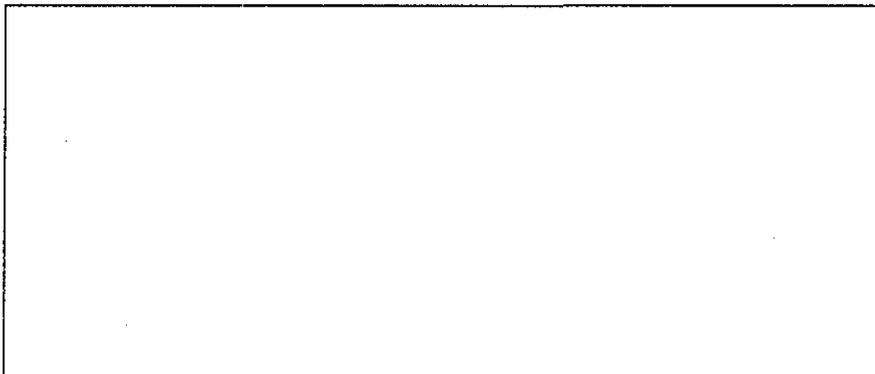
8 Una forma de celebración de las fiestas patrias es hacer estallar fuegos pirotécnicos. Sabemos que aquellos que dan una coloración roja tienen estroncio, los de color verde tienen cobre y los de color blanco tienen hierro. ¿Cómo se producen todos estos colores? Explica tu respuesta.

9 El siguiente diseño representa un circuito eléctrico formado por una batería, una lámpara, alambres y una barra metálica.



¿Cómo se conduce la corriente eléctrica en el metal? Explica tu respuesta.

Haz un dibujo que represente cómo se conduce la corriente en la barra.



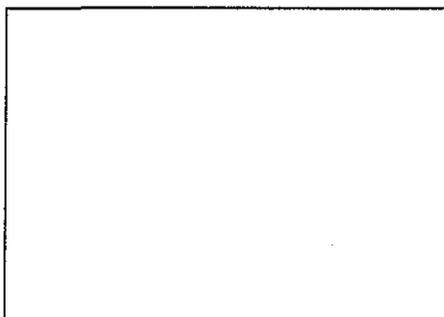
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuestionario 2

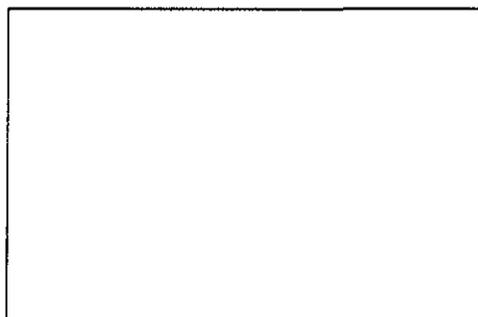
Nombre _____ Carrera _____
Grupo _____

Lee cuidadosamente cada una de las preguntas y respóndelas de acuerdo a lo que piensas. Gracias por tu cooperación. Si requieres de mayor espacio para contestar utiliza la parte posterior de la hoja

1. Explica el funcionamiento de un globo de aire caliente. Utiliza puntos para representar el aire dentro del globo. Dibuja en el cuadro 1 el aire en el globo antes de subir. En el cuadro 2 el aire en el globo después de que ha empezado a subir.



Cuadro 1
Globo antes de subir

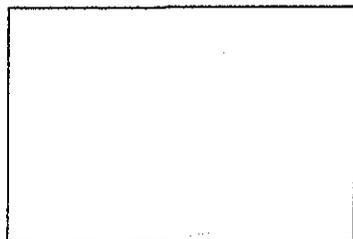


Cuadro 2
Globo después de empezar a subir

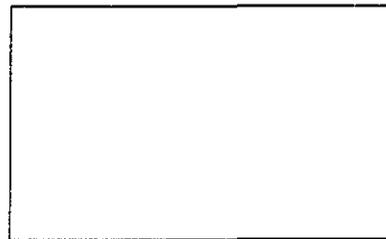
● Aire

Explica lo que sucede con el aire en cada uno de los cuadros y lo que representa cada uno de tus dibujos. **Tu explicación es tan importante como tu dibujo.**

2. Un recipiente con agua se calienta con una llama durante cierto tiempo después del cual se observan burbujas que suben a la superficie. En el cuadro 1 dibuja el agua en estado líquido antes de calentarla, utiliza círculos sólidos para representar las moléculas de agua en su fase líquida. En el cuadro 2 dibuja el agua y las burbujas que se observan después de calentarse por cierto tiempo en la llama. Utiliza círculos para representar las moléculas que forman estas burbujas.



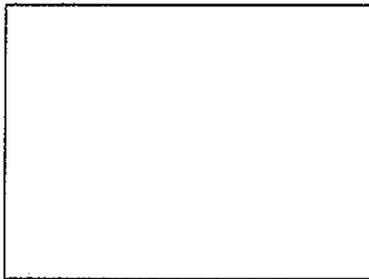
Cuadro 1
Agua antes de
ponerlas a la llama



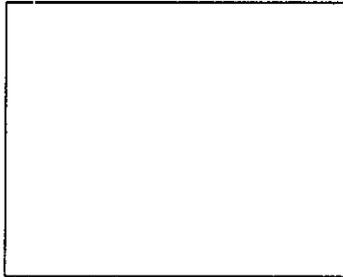
Cuadro 2
Agua después de media hora
de encontrarse en la llama

Explica tus dibujos y de qué son las moléculas que constituyen las burbujas. Describe lo que hay entre las moléculas en cada uno de los cuadros. **Tu explicación es tan importante como tus dibujos.**

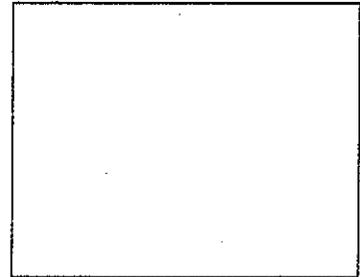
3. El agua existe en sus tres distintas fases: gas (vapor de agua), líquido y sólido (hielo). Utiliza círculos para representar las moléculas de agua. Considera que tienes 12 moléculas de agua. En el cuadro 1 dibuja las moléculas de agua en la fase gaseosa. En el cuadro 2 dibuja las moléculas de agua en la fase líquida. En el cuadro 3, dibuja el agua en la fase sólida.



Cuadro 1
Vapor de
agua



Cuadro 2.
Agua en fase líquida

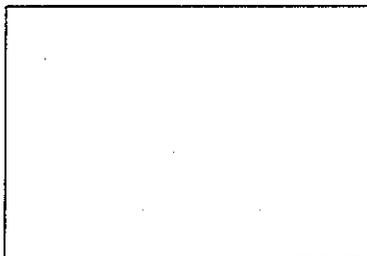


Cuadro 3.
Hielo

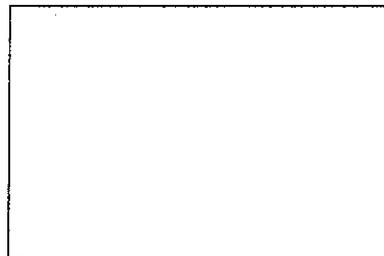
Explica tus dibujos y los arreglos moleculares en cada cuadro. Describe lo que hay entre las moléculas en cada uno de los cuadros. **La explicación es tan importante como tus dibujos.**

Explica lo que ocurre, a nivel molecular, cuando el agua pasa de su estado sólido al líquido y de su estado líquido al gaseoso.

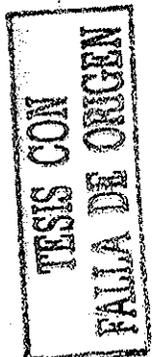
4. En un tubo de ensayo cerrado hay yodo en estado sólido, el tubo se pone a la llama y después de cierto tiempo se retira de ella, en el interior del tubo se observa un gas de color violeta. Utiliza círculos para representar las moléculas de yodo. Dibuja en el cuadro 1 las moléculas del yodo antes de calentarlo y en el cuadro 2 las moléculas de yodo cuando se observa el gas de color violeta.



Cuadro 1
Yodo antes colocarlo a la
llama



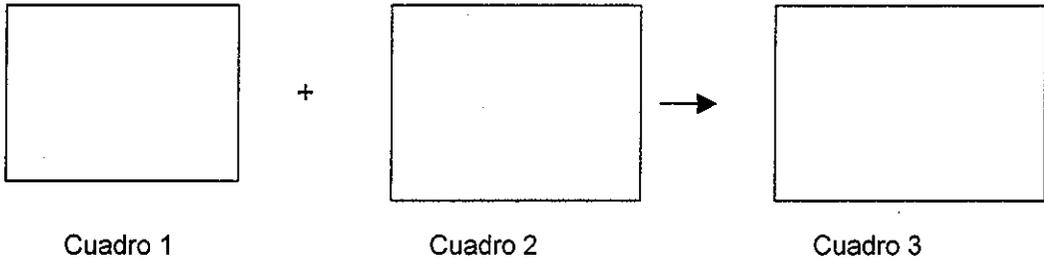
Cuadro 2
Gas de color violeta después de
colocarlo a la llama



Explica tus dibujos, discute lo que sucede antes y después de calentar el yodo y cómo se lleva a cabo este cambio de fase. Describe lo que hay entre las moléculas de yodo en cada uno de los cuadros. **Tus explicaciones son tan importantes como tus dibujos.**

Explica lo que ocurre, a nivel molecular, cuando el yodo pasa de su estado sólido al gaseoso

5. Los siguientes modelos representarán el proceso de disolución de azúcar en agua. Usa círculos sólidos para representar las moléculas de azúcar y círculos para representar las moléculas de agua. Coloca 4 moléculas de azúcar (en estado sólido) en el cuadro 1 y 12 moléculas de agua (en fase líquida) en el cuadro 2. Dibuja el producto de este proceso en el cuadro 3

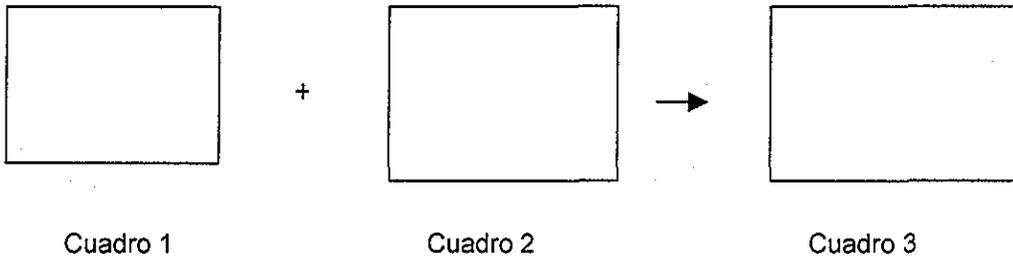


- Moléculas de azúcar
- Moléculas de agua

Explica tus dibujos y lo que sucede entre las moléculas de azúcar y las moléculas de agua en cada uno de los tres cuadros. Describe lo que hay entre las moléculas en cada uno de los cuadros. **Tu explicación es tan importante como tus dibujos.**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

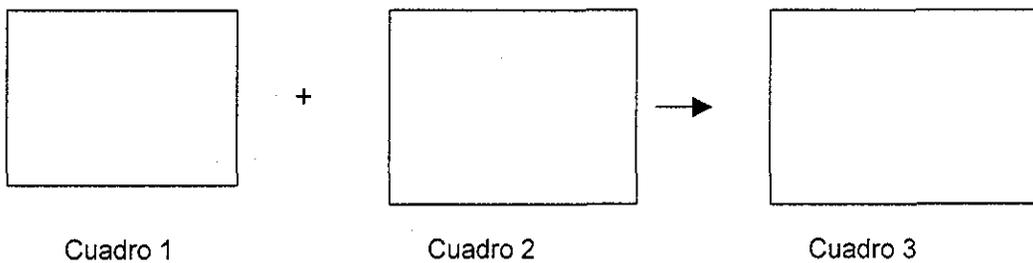
6. Los siguientes modelos representarán el proceso de disolución de sal en agua. Usa círculos sólidos y no sólidos para representar los iones de la sal y elipses para representar las moléculas de agua. Coloca 2 pares iónicos de sal (en estado sólido) en el cuadro 1 y 12 moléculas de agua (en fase líquida) en el cuadro 2. Dibuja el producto de este proceso en el cuadro 3.



- ● Pares iónicos de sal
- Moléculas de agua

Explica tus dibujos y discute lo que sucede entre los pares iónicos y las moléculas de agua en cada uno de los tres cuadros. Describe lo que hay entre las moléculas en cada uno de los cuadros. **Tu explicación es tan importante como tus dibujos.**

7. Los siguientes modelos representarán el proceso de mezcla de gis y agua. El gis no se disuelve en agua. Usa círculos sólidos para representar al CaSO_4 del gis y círculos para representar las moléculas de agua. Coloca 4 CaSO_4 de gis (en estado sólido) en el cuadro 1 y 12 moléculas de agua (en fase líquida) en el cuadro 2. Dibuja el producto de este proceso en el cuadro 3.

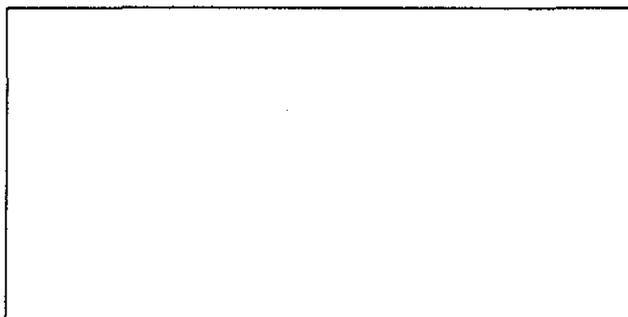


- CaSO_4 de gis
- Moléculas de agua

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

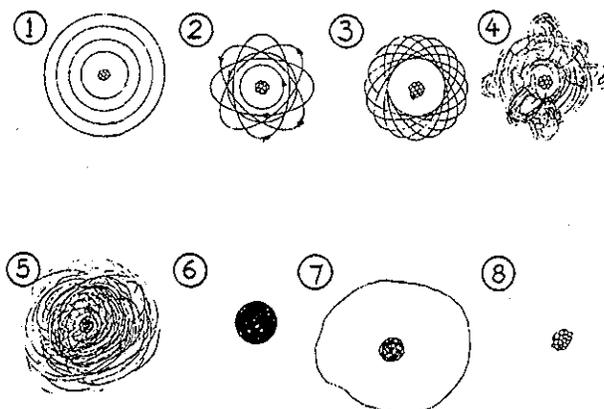
Explica tus dibujos y discute lo que sucede entre las moléculas en cada uno de los tres cuadros. Describe lo que hay entre las moléculas en cada uno de los cuadros. **Tu explicación es tan importante como tus dibujos.**

8 Si se calienta gas de hidrógeno a alta temperatura es posible observar cuatro colores característicos que son el rojo, verde, azul y violeta. Elige uno de estos colores característicos y dibuja en el cuadro siguiente cómo es que se produce



Explica tus dibujos y por qué se emite luz con distintos colores. **La explicación es tan importante como tus dibujos.**

9 Selecciona de los siguientes diagramas aquel que consideres que mejor representa un átomo



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Explica por qué seleccionaste este modelo, qué representa cada una de estas partes y qué secciones añadirías a este modelo para mejorar su representación.

Anexo 2 Entrevistas

Primer semestre

Javier

¿Qué sucede cuando se calienta el aire en un recipiente que tiene conectado un globo?

E. Se supone que las moléculas están dispersas en todo el recipiente pero conforme aumentamos su energía cinética tienden a ocupar más volumen y ese volumen que pueden ocupar es lo que infla el globo. En el globo del primer si ocupa el volumen del globo pero como no tiene la necesidad de ocupar tanto volumen pues simplemente ocupan un poco menos o no tanto volumen.

¿Por qué aquí dibujaste menos moléculas de los gases y aquí más?

E. Este, debí dibujar el globo más grande y con la misma cantidad de puntos en los dos

¿Qué significan estas rayas que pusiste aquí?

E. El movimiento de las moléculas

¿Qué hay entre las moléculas?

E. Es espacio intermolecular

¿Qué hay en ese espacio?

E. Se supone que deben actuar algunas fuerzas que mantenga unidas a las moléculas pero como es un gas que está disperso no

Cuando explicabas lo que ocurría un a recipiente con agua, dices que ¿las burbujas que se forman son de oxígeno?

E. Ahora no creo eso, tengo que pensarlo porque simplemente está llegando a su punto de ebullición y está cambiando su estado de agregación era líquido y ahora tiende a subir como las moléculas. No puede ser oxígeno como pensaba antes, porque para que saliera oxígeno debía romper las fuerzas intramoleculares de la molécula de agua y eso requeriría mucho más energía que 100°C. Esas burbujas son provocadas porque las moléculas empiezan a escaparse del líquido y tienden a irse del líquido porque ya aumentaron su energía y porque al aumentar su energía rompen fuerzas pero intermoleculares

¿Cómo representas el estado sólido, el líquido y el gaseoso en el caso del agua?

E. El estado sólido como redes cristalinas, con mucho más unidad de las moléculas pero con arreglos diferentes, sin arreglos moleculares diferentes que es lo que le da una cierta rigidez, una cierta característica

¿Qué es lo que hace que tengan esa estructura?

E. Porque como ya no hay tanta energía cinética entre ellas, ya no están como gotitas entonces tienden a juntarse más y entonces las fuerzas intermoleculares son mayores entonces por eso se dan los enlaces porque ya es mayor el enlace entre ellas y entonces se acomodan, no se como explicar, me queda claro pero

Pusiste un cubo, ¿qué representa?

E. El hielo, un cubo de hielo

Adentro estarían las moléculas de hielo, ¿qué hay entre ellas?

E. Espacio intermolecular

¿Cómo es que están unidas?

E Por fuerzas intermoleculares, que serían puentes de hidrógeno

El caso del hielo se forman redes cristalinas, ¿en todos los sólidos se forman estas redes?

E No, no en todos,

¿Cuándo sí y cuándo no?

E Depende de sus características, o sea por ejemplo las sales forman redes cristalinas porque son enlaces iónicos y forman este tipo de redes y tienen ciertas características pero no todos los sólidos como los no metales, algunos pueden tomar otro tipo de arreglo depende de la temperatura, la presión, en sí de la sustancia de que se trata por ejemplo el diamante las redes son mucho más rígidas que otro tipo de carbón, depende de la presión

¿La presión externa?

E Pues la presión que los hizo que estuvieran así, supongo que fue externa pero ya ellas ya tienen su presión a la hora de que acomodan así, ya tienen su propia red cristalina o sea se les tuvo que aplicar una presión y bueno es un ejemplo muy burdo, entonces por esa presión se acomodaron así por ciertas condiciones

En el estado líquido ¿cómo estarían?

E En el estado líquido los espacios intermoleculares son mayores, las fuerzas intermoleculares decrecen pero todavía hay suficiente conexión con las moléculas como para que formen un líquido y hay ciertas conexiones que les hacen tener características diferentes

Esta línea ¿qué representa?

E Se supone que es el líquido, yo sé que esta línea debía estar formada por moléculitas pero nada más era para ver que hasta donde estaba el líquido

¿Qué hay entre las moléculas?

E Espacios intermoleculares, también hay puentes de hidrógeno porque es el agua

¿Qué son los puentes de hidrógeno?

E Se da entre compuestos que tienen hidrógeno y que están sujetos a oxígeno, nitrógeno, si tienes un compuesto que tiene oxígeno y tiene hidrógeno como es el agua, entonces entre ellos se forman puentes de hidrógeno el hidrógeno de una con el oxígeno de la otra y así con todas, tiene que cumplir con ciertas características para que se forme el puente de hidrógeno

¿Cuáles son esas características?

E Por ejemplo que tenga nitrógeno oxígeno y fluor, que tengan dos electrones libres y se pueda dar esa interacción, dos electrones libres el nitrógeno, oxígeno y fluor que queden libres para darse la interacción

¿Cómo está formada la molécula del agua?

E H_2O , Dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno,

¿Moléculas?

E Bueno no átomos

¿Cómo te imaginas que están estos átomos?

E Lo que pasa es que tengo un concepto muy diferente, primero me imaginaba los electrones desordenados totalmente y que el electrón en el hidrógeno estaba así rondando como aquí y entonces era atraído por el núcleo del oxígeno y ese electrón tendía más hacia el oxígeno y eso era lo que formaba el enlace, esa atracción, si pasa eso pero ahora como leí de las teorías

cuánticas y todo eso, te das cuenta de que en realidad no están tan desordenados, tienen ciertas formas y ciertas características que los hacen especiales a cada uno de los átomos

Al interior de los átomos ¿qué crees que hay?

E. Aparte de lo clásico no se siente que hay muchas fuerzas electromagnéticas mucho es que es algo increíble un átomo, su núcleo es lo más denso que hay uno se lo imagina como una esfera pero con muchas fuerzas interaccionando entre ellas mismas los núcleos atrayendo a los electrones, los electrones moviéndose a velocidades increíbles todo un concierto

¿Qué sucede con el gas?

E. Aquí caso no hay fuerzas intermoleculares tiene tanta energía que ya no necesita nada para estar estable, simplemente se va porque su energía cinética es bastante grande sus espacios entre los gases son muy grandes por eso casi no hay fuerzas intermoleculares en ellas en condiciones ideales si pero no

Por ejemplo, me dices que se van separando porque son los gases, pongamos el caso de la atmósfera que está compuesta de gases si esto ocurre ¿por qué no nos quedamos sin atmósfera?

¿Qué sucede en la Luna?

E. Quiero suponer que debe ser por la atracción de la tierra, supongo de la gravedad que hay que es mucho mayor que la de la luna, quiero suponer que esa atracción si es atracción nos hace estar aquí supongo que también el gas tiene cierta atracción de la tierra y aunque ya las fuerzas intermoleculares no son muchas pues si existen por eso hay nubes que son de agua, pero si aún hay ciertas fuerzas intermoleculares cuando se llegan a juntar mucho, mucho vapor

Entre las moléculas del gas ¿qué hay?

E. Prácticamente ya nada, fuerzas muy débiles

¿Cómo explicarías los cambios de fase?

E. En el hielo es energía pero, es como, esa fuente de energía, como no hay energía no hay para donde moverse, están muy estáticas las moléculas a la hora de que se aumenta su energía rompe sus enlaces intermoleculares, o sea empiezan a excitarse las moléculas a cambiar de estado, se separan un poco y si separan demasiado son gases. Por eso es por la energía que se les aplica o adquieren

¿Qué sucede con el yodo cuando se sublima?

E. Ese ya es como característica de ellos, por eso es diferente.

¿El yodo jamás va a ser líquido?

E. No o sea es que el yodo tiende a sublimar, a que su punto de ebullición, es menor, ni siquiera, las moléculas tienden a escaparse una de otra que ya ni siquiera pasan por el líquido, estaban muy juntas pero a la hora de que estaban como son sensibles a la energía se separan, no necesitan gran cantidad de energía para pasar al líquido pasan al gas. Tal vez porque las fuerzas no son tan grandes.

¿Por qué pasa eso con el yodo y no con el agua por ejemplo?

E. No o sea son las fuerzas que actúan en el yodo, hay fuerzas intermoleculares que no son tan fuertes

Pero ¿son lo suficientemente fuertes para mantenerlo sólido?

E. Pero no en ambiente normal, en el yodo sublima porque sus arreglos entre ellos, como molécula

¿Cómo es el arreglo de la molécula de yodo?

E No tengo conocimiento sobre eso, no sé su estructura, la del agua si y sé porqué tiene sus características, pero en el yodo nada más es suponer y que sublima y que no pasa por el líquido porque entre ellos no hay una gran fuerza que los pueda mantener así como sólido y luego como líquido

Pero en el estado gaseoso, ¿sería igual que en el caso del agua?

E Sí

Vamos a las disoluciones, ¿qué sucede con una disolución de azúcar con el agua?

E Bueno, primero también como el azúcar, la molécula de azúcar es carbono e hidrógeno no recuerdo si tiene oxígeno, esos hidrógenos pueden interactuar con los oxígenos del agua está la molécula de azúcar, y la empiezan a rodear a los hidrógenos, la molécula cuando la rodean las inmovilizan, la rodean de agua, por eso es que ya no se ven. No es que las separen ni desaparezcan

¿No separan a las moléculas de azúcar?

E No es la interacción así, de que se separen en iones por decirlo así, creo que también son puentes de hidrógeno los que actúan

La molécula completa del azúcar queda rodeada por moléculas de agua, ¿por qué?

E Por los hidrógenos del azúcar atraen a los oxígenos del agua

¿Por qué es esa atracción?

E Porque los puentes de hidrógeno, están interactuando fuerzas entre ellos, entre el oxígeno y el hidrógeno se atraen porque la molécula de hidrógeno es polar, es como un imán y también hay hidrógeno, tienden a atraerse mucho.

¿Qué tipo de fuerzas es esa que me dices con la que se atraen?

E. Porque el agua es un dipolo, y este es no sé que es el azúcar supongo es el dipolo-dipolo o sea.

¿Qué es un dipolo?

E Qué tienen cargas parciales positivas de un lado y cargas parciales negativas del otro como un imán que puede atraer algún negativo de su lado positivo y un positivo de su lado negativo.

¿Esas cargas de dónde salen?

E Como ya le había dicho en el ejemplo del agua el oxígeno atrae con mucha fuerza el electrón del hidrógeno a la hora de que atrae un poco ese electrón, ese electrón tiende a irse más hacia el oxígeno y menos hacia el hidrógeno y entonces como el oxígeno lo está atrayendo mucho y agarra ese electrón se carga parcialmente negativo con la misma carga negativa y el oxígeno queda positivo porque

¿Se polariza?

E. Exactamente

¿Qué pasa con la sal?

E Eso es algo diferente porque como es polar el agua y también las moléculas de cloruro de sodio entonces se separan en la parte negativa del cloruro de sodio se va a la parte positiva del agua y la parte positiva a la parte negativa o sea actúan como si fueran dos imanes esos sí se separan

En el caso del azúcar ¿no se separa la molécula?

E. No

En el caso de la sal ¿si se separa?

E. Si es iónico, en el azúcar no es dipolo-dipolo simplemente son puentes de hidrógeno

En este otro caso

E. En este si son ión-dipolo, porque se separa en iones.

Si yo evaporo en cualquiera de los dos casos el agua ¿qué sucede con el azúcar o con la sal?

E. Como tienen distintos puntos de ebullición por esa diferencia como está la molécula del azúcar y las del agua alrededor como envolviéndola cuando sienten esa energía y que se empiezan a excitar las moléculas y el agua cambia a estado gaseoso y por eso tienden a irse y separarse del azúcar y van dejando el azúcar.

Cuando pasa al estado gaseoso el agua, ¿cambia?

E. No porque como está nada más unida por puentes de hidrógeno y es lo único que se rompe no cambia su estructura como tal, no solamente se separa.

En el caso de la sal

E. También con diferencias en el punto de ebullición la sal se vuelve a unir como están separadas en iones se empieza a unir, porque el agua empieza a irse

¿Cómo explicarías que el gis no se disuelva en el agua?

E. Porque no puede interactuar con el agua, no puede formar un enlace de atracción dipolo-dipolo simplemente no se llevan, no puede haber una interacción entre ellos, no tienen hidrógeno, no tiene algo con el que pueda interactuar. Este, esta estable supongo que no se ioniza, o sea no hay posible interacción entre ellos, tal vez con temperatura, no hay puentes de hidrógeno ni puentes de azufre, no puede ser soluble o la molécula de gis es muy grande como para ser rodeada, cualquiera de las dos impide que interactúe con algún tipo de fuerza

Si las moléculas son muy grandes ¿puede haber una disolución?

E. No

¿Por qué se ven los colores característicos de distintos elementos?

E. Los compuestos tienen cierta característica cuando uno los quema o los pone, los prende, no sé a qué se deba por qué son esos colores específicos, lo que se es que como cada reactivo es diferente tiene propiedades diferentes va a reaccionar diferente a un cierto estímulo que es lo que pasa dentro de la molécula no sé, supongo que se rompen enlaces, no sé

¿Cómo es que se conduce la electricidad en un metal?

E. Lo que pasa es que para que haya esta electricidad, que es un flujo de electrones, los metales tienen un mar de electrones, están libres, tienen muchos electrones tiene libre el espacio, entonces como llega la corriente, golpea a un electrón ese electrón golpea a otro y así sucesivamente, y eso es lo que hace que se convierta en un circuito, ese flujo de electrones

¿Qué es eso de un mar de electrones?

E. Es que son diferentes enlaces para cada material la característica de estos materiales es esa que tiene tal vez un tipo de electrones, no libres pero muy alejados de los átomos, por tanto, su atracción del núcleo no es tanto, entonces el electrón puede estar saltando al núcleo del otro, y otro al otro átomo, pueden estar intercambiando porque las fuerzas con las que están atrayendo al núcleo no es tanta y quedan libres por así decirlo

Explicame ¿qué es eso de que le pega a un electrón y luego a otro?

E. La electricidad es un flujo de electrones, imagínese un gran número de electrones fluyendo por un material entonces esa ola de electrones golpea a los electrones que ya tenía ese material metálico pues entonces los golpea y esos otros electrones que tenía el material metálico pues

pasan a ser parte del circuito, es un intercambio de electrones es un flujo de electrones y en un material metálico pues así es como se mueve.

¿Cuál es el modelo que escoges de estas representaciones?

E. La 6, porque los electrones van a moverse tan rápido que son como una nube ahora se asemejaría más mi modelo a este pero en ese momento lo vi así, se mueven tan rápido que sería imposible ver al núcleo pero si se mueven tan rápido quiere decir que tal vez sí sea visible, cambiaría por el 5 significa que están en órbitas que no pueden ser tan perfectas y ordenadas. Las órbitas tan perfectas no me satisfacen de hecho, los electrones tienen un orden pero no está definido, no puede ser que un electrón siempre esté en estas órbitas, de hecho no está

¿Qué te dice la mecánica cuántica?

E. Es que ahora que me metí a la física, me gusta mucho eso pero no sé muy bien, simplemente la mecánica cuántica es un modelo más para explicar los modelos de los átomos

¿Qué hay en el núcleo?

E. Protones y neutrones

¿Tiene carga?

E. Positiva

¿Y los electrones?

E. Tienen carga negativa

¿El átomo tiene carga?

E. No, porque la positiva del núcleo atrae a la negativa de los electrones, están contrarrestando las cargas

Entre el núcleo y los electrones ¿qué habrá?

E. Espacio y fuerzas electromagnéticas que hay entre la carga positiva y la negativa.

Puedo tener dos imanes y siento la interacción entre ellos y sé que hay una fuerza de interacción entre ellos y en medio hay aire ¿Habrá algo entre las cargas?

E. Supongo que no hay nada, ni aire, no cabría.

¿Por qué?

E. El aire está formado de moléculas y estamos hablando de átomos, quiero suponer que no hay nada más que fuerzas entre el electrón y el núcleo pero no sé

¿Al interior del núcleo entre los protones y los neutrones habrá algo?

E. Si hay fuerzas y atracción entre ellos, porque como son puras cargas se colapsaría el átomo, están atrayéndose entre ellas, atracciones muy cortas, pero entre ellas tendría que ver donde está el fotón, cuantas más partículas hay

Miriam

¿Qué sucede cuando se calienta el aire que está en un recipiente cerrado y conectado a un globo?
E Al aplicarle calor los gases tienden a expandirse va a ocupar más espacio y por eso el globo se va a elevar.

¿Qué es lo que se expande?
E Partículas o moléculas, lo que contiene el aire

¿Partículas o moléculas son lo mismo?
E Sí

¿Qué le pasa a esas partículas o moléculas, ellas se expanden?
E No empiezan a vibrar, a moverse más rápido, se están dilatando

¿Las moléculas se dilatan, crecen?
E Sí

¿Eso es lo que hace que se aumente el volumen?
E En el globo sí porque el globo puede estirarse y el recipiente en donde está no.

¿Representas con menos puntos o más puntos el aire?
E Bueno es que aquí todos están dentro del recipiente y ninguno está dentro del globo entonces aquí cuando se le aplica calor, comienzan a expandirse y unos se introducen al globo y por eso puse menos

¿La cantidad de aire que hay aquí es la misma que hay después de calentarlo?
E Sí

¿Qué hay entre estas partículas?
E No hay nada

¿Cómo te representas el sólido, el líquido y el gas de agua?
E Las moléculas de agua estarían más juntas hay poco espacio entre ellas

Ese espacio ¿por qué está ocupado?
E No hay nada, aire

¿Se mueve?
E No casi no en el sólido

¿Qué pasa con el estado líquido?
E Se estaría moviendo más y habría más distancia entre ellas

¿Qué sería lo que está dentro de las moléculas? ¿qué es?
E No tengo idea

¿Qué sucede en el gas?
E Hay más movimiento de las moléculas y hay bastante movimiento y ocupan el lugar donde se encuentra, todo el lugar

¿Qué crees que es lo que hace que en el sólido se mantengan juntas, en el líquido más separadas y en el gas mucho más independientes?

E. La temperatura y la presión a la que están

La presión y la temperatura del medio ambiente, al interior si tu observaras las moléculas ¿habría algo que está uniendo a las moléculas o solamente los factores externos?

E. Solamente los externos

¿Tu sabes de qué está compuesta una molécula de agua?

E. De hidrógeno y oxígeno.

¿Las moléculas de agua en cualquiera de sus estados son las mismas?

E. Es la misma

Pero si cambia cuando se trata del aire ¿Cuando cambia el agua de estado no se modifica?

E. Cuando pasa de vapor a agua, se condensa por disminución de temperatura.

¿Qué significa que se condense?

E. Pasa de estado.

Eso si lo viera macroscópicamente, pero si viera las moléculas ¿qué sucedería?

E. Hay menos espacio entre ellas.

¿Lo único que cambia entre los distintos estados es el espacio entre las moléculas?

E. Sí

¿Cómo explicaríamos el proceso de cambio de fase?

E. Se da energía en forma de calor en este caso provoca que cambie de estado

¿Cómo explicarías la sublimación del yodo?

E. No sé

¿Qué sucede con la disolución de azúcar con el agua?

E. Que se están mezclando el agua con el azúcar

¿Cómo crees que se están mezclando?

E. No sé, por una interacción electrónica, por los iones

¿El azúcar se descompone en iones?

E. No

¿Cómo te imaginas que el azúcar se disuelve, qué le sucede al azúcar?

E. Se disoció se separa

¿Se conserva la molécula de azúcar o se separa?

E. Se separa.

¿Los componentes de la molécula y cada uno de estos elementos quedan repartidos en las moléculas de agua?

E. Sí

¿Sabes cómo está compuesta el azúcar?

E. CH₁₂ no sé

Los carbonos se separan los hidrógenos y los oxígenos se reparten independientes, ¿qué son los carbonos, los hidrógenos y los oxígenos?

E. Elementos...

La molécula está formada por estos átomos ¿qué crees que hay entre los átomos de la molécula de azúcar?

E. El agua.

¿Está la molécula de agua?

E. Sí

¿Cómo está organizado?, ¿por qué se juntan de esta manera?

E. No sé

Pongamos el caso de la sal, sabemos que la sal se disuelve, ¿qué le sucede a la sal?

E. Lo mismo

¿Exactamente igual?

E. Sí

¿En qué se separó la sal?

E. En sodio y cloro.

Sabes ¿por qué se separa?

E. No.

Si evaporo el agua ¿qué le sucede al cloro y al sodio?

E. Se unen.

Con eso puedes explicar ¿por qué el gis no se disuelve en el agua?

E. Porque la molécula del gis es muy grande para que pueda entrar en la molécula de agua.

¿Es cuestión de tamaño, si la molécula es muy grande el agua no puede penetrar?

E. Sí

¿Estas moléculas del azúcar y de la sal son pequeñas y por eso puede penetrar?

E. Sí

¿Por qué en ciertos metales que se queman emiten una luz de un color característico?

E. No sé.

¿De dónde crees que sale la luz?

E. Me imagino que porque se está quemando

¿Por la combustión?

E. Sí.

Al quemarse ¿qué pasa con estos metales?

E. Hay cambios en su composición, no creo No sé

En un circuito ¿cómo es que se conduce la electricidad en el metal?

E. No sé

De las 8 diferentes posibilidades que representan el modelo atómico, escogiste el 2 ¿por qué?

E. Las órbitas de los electrones no están todas en, así como en el primero, están en distintas posiciones las órbitas llegan a estar y el 3 tienen muchos orbitales,

¿Estos los descartaste porque tienen demasiados orbitales?

E. Sí este no puede ser

¿Necesitan estar presentes algunas trayectorias, pero no muchas encimadas sino algunas organizadas como en el número 2?

E. Sí.

¿Qué es lo que hay en el centro?

E. Protones y neutrones.

¿Y alrededor?

E. Electrones, nubes de electrones. Los círculos son como en un sistema solar, representa el camino que sigue

¿Tendrá algo que ver la existencia de electrones en la periferia con lo que veíamos con lo sucedía con la molécula de agua?

E. Sí, la interacción de sus electrones

¿Cómo sería esa interacción?

E. Completar el número de electrones que le falta al elemento

¿Sabes qué carga tienen los electrones?

E. Negativa.

¿Y al centro del átomo hay carga?

E. Positiva

¿El átomo es neutro?

E. No es neutro.

¿Tiene carga, es positivo o negativo?

E. Sí

¿Cuando decías que el gas se mueve y hace que sube, es porque se expande hacia todos lados o tiene una dirección preferente?

E. Se expande hacia todos lados y se eleva porque la presión es mayor que la que está dentro por eso sube

¿Si es mayor, lo aplastaría?

E. Es por la presión pero, la densidad que tiene

¿Por qué cambia esta densidad?

E. No sé

Tercer semestre

Maribel

En un recipiente en el que hay aire, el recipiente está conectado a un globo, se calienta el aire y la pregunta es qué le sucede al globo y lo que pasaba dentro del aire. Tu representaste aquí una serie de bolitas ¿qué representan?

E. Las partículas del aire dentro.

¿Por qué no pusiste bolitas en el globo?

E. No sé, me ocurrió pero es obvio que hay aire aunque pocas.

¿Luego cuando calientas pones el aire en la boquilla y en el globo?

E. No sé, es suponer que hay en todo, el gas se expande, lo que yo quería mostrar ahí es que pasa al globo porque se expande entonces va al globo pero aún queda en el recipiente.

¿Qué hay entre las moléculas de las partículas de aire?

E. es el enlace intermolecular de las moléculas

¿Qué es ese enlace?

E. Pues el enlace, la unión entre las moléculas, o que está más distancia pero de todos modos lo mismo.

Aquí por ejemplo yo puedo decir que hay un enlace y hay un espacio intermolecular, éste espacio ¿qué tiene?

E. Es el mismo pero, el mismo aire

¿Es aire?

E. Si quisiera dar a entender que como se expande se pasa al globo, pero de todos modos hay aire

¿Qué significa que se expanda qué les pasa a las moléculas de aire?

E. Se separan o sea hay más espacio intermolecular

¿Por qué se separan?

E. Porque al calentar alguna cosa hace que se deshaga o sea se van separando más se van rompiendo los enlaces podríamos decir, entonces ya por eso se expande

¿O sea la expansión es separación?

E. No precisamente porque se pueden hacer más grandes y no romperse el enlace.

¿Qué se hace más grande?

E. El enlace, es que están juntos supongamos si es aire normal, están muy juntos un nitrógeno con un oxígeno y de repente cuando empezamos a calentar se empieza a separar, se separan y eso es lo que.

Cuando me decías que era aire el que salía cuando calientas un recipiente, las burbujas que se están formando en la parte de abajo, ¿dices que son de aire por qué?

E. Porque es el mismo que ya se está transformando a aire pero empieza a .

¿Se transforma?

E. Bueno si tenemos un recipiente con un líquido ese líquido pasa a vapor o sea a gas y el gas como empieza a calentarse de abajo no es un , quedó atrapado pero ese es gas.

Pero ese gas ¿qué es aire?

E. Podría ser aire, bueno depende del líquido que sea

¿Si es agua?

E. Es el oxígeno, como se llama

Pero de ¿dónde sale?

E. de que el agua pasa a gas, es el vapor de agua

¿Y el vapor de agua es aire?

E. no, es lo más raro.

Entonces ¿por qué dices que son de aire?

E. Es que me refería, no que fueran de aire sino que fueran del gas del agua que se está transformando en gas, a eso es a lo que me refería

No son de aire, son de vapor de agua. Si tu vieras molecularmente el vapor de agua ¿cómo sería?

E. Es el agua pero más separada

¿Qué está más separada?

E. Las uniones de hidrógeno y del oxígeno.

¿La molécula de agua tiene más separación entre los hidrógenos y los oxígenos?

E. Si.

En el caso del agua líquida ¿cómo sería?

E. Un poco más juntos.

¿Están juntos el hidrógeno y el oxígeno?

E. No exactamente juntos pero sí un poco más juntos, o sea lo que podemos decir, lo que yo entiendo es que si son sólidos las uniones son mucho más fuertes o sea están mucho más juntas

¿Las uniones de qué?

E. de los hidrógenos con el oxígeno aparte del puente de hidrógeno que hay entre el agua, pero están más fuertes cuando ya nos pasamos al líquido están más juntos, en el líquido es un poco más separado la unión de hidrógeno con oxígeno y ya cuando pasamos al gas más separado.

¿Pero siguen estando juntos el hidrógeno y el oxígeno, solamente están más separados?

E. Si

¿Qué hay entre los hidrógenos y los oxígenos?

E. Es el enlace molecular, o sea, lo que yo entiendo es el espacio donde están compartiendo sus electrones eso es lo que entiendo por el espacio que hay entre el hidrógeno y el oxígeno.

¿Es un espacio en el que puede haber electrones?

E. Está la unión de electrones en un intercambio

Bueno cuando pasa de sólido a líquido y a gas qué sucede con la materia, ¿cómo se da el cambio de fase?

E. Pues ese es si logro calentar, se hace la separación de las moléculas de la unión

¿Por qué se separa?

E. Por el calentamiento.

Al calentar ¿qué se produce?

E. Se da más energía y eso lo va separando.

¿Al calentar voy separando los oxígenos y los hidrógenos?

E. Primero está lo molecular, si tengo muchas moléculas de agua primero separan moléculas, cuando uno está pasando de sólido a líquido y al gas las moléculas no los hidrógenos y los oxígenos

¿Qué pasa con los hidrógenos y los oxígenos ¿

E. Si varían un poco pero es muy leve a comparación del molecular o sea el intermolecular es muy poco el que cambia

¿Es intramolecular o el intermolecular?

E. El intramolecular, o sea es el del hidrógeno y el oxígeno y las moléculas son las que se separan tengo una molécula de oxígeno y están unidas pero al ponerla a calentar se van separando.

En tu dibujo pusiste las moléculas ¿de qué están formados estos espacios que dibujaste?

E. En el caso del agua serían los puentes de hidrógeno

¿Estos serían puentes de hidrógeno igual aquí en los otros estados?

E. Es que es un poco más separado, o sea no es que haya siempre hay agua, va a haber agua, en los espacios hay la misma agua pero o sea la diferencia es que están muy juntas o más separadas pero están en el agua.

¿Qué sucede con la sublimación del yodo?

E. Se oxida, reacciona con el oxígeno y cambia su forma entonces se oxida y se pasa a otro estado.

¿Pasa a otro estado es la oxidación?

E. No precisamente implica todos los casos, pero en el yodo si. Si tenemos el yodo y lo tapamos y no dejamos que entre oxígeno al yodo no le pasa nada. Si lo calientas creo que también pasa lo mismo.

¿No se tiene que calentar?

E. Así solo si se deja al ambiente se evapora.

¿Pero entonces hay una reacción química ya que la oxidación es una reacción?

E. Si cuando está así al ambiente si hay una oxidación pero si se calienta es que se está separando el yodo.

¿Si lo caliente es una oxidación?

E. Si hay contacto de oxígeno sí.

¿Esa oxidación implica que el yodo ya no es tan solo yodo?

E. Exacto, no sabría, es que si es yodo solamente pero no sé.

Vamos a las disoluciones, en el caso del azúcar y el agua ¿qué sucede con la disolución a nivel molecular?

E. Lo que yo entiendo es que el azúcar está digamos digamos pura entre comillas, está ella sola, entonces entra el agua, se separa el azúcar.

¿Qué se separa?

E. Los espacios que tienen se separan, se rompen los enlaces y se separan entre las moléculas y esas se unen con el agua, cada molécula de azúcar se une con el agua.

¿Por qué se unen las moléculas?

E Porque hay una interacción intermolecular, hay atracción por las moléculas de azúcar.

¿Qué tipo de atracción existe?

E No sé.

¿Pasa lo mismo con la sal?

E Bueno es que con el azúcar el agua las rodea, las separa molecularmente pero no separa la molécula en sí.

¿La molécula está completa?

E Si pero la está rodeando el agua entonces se disuelve

¿Cómo sería la disolución de azúcar?

E Y la de la sal la separa, la unión entre el sodio y el cloro la separa y entonces la rodea el agua

¿Qué rodea?

E Al sodio y al cloro

¿Y si quito el agua qué pasa con el cloro y el sodio?

E No es que lo separes completamente, pero si hay más distancia entre el sodio y el cloro en la distancia en la que puede entrar el agua cuando se evapora el agua, como el agua se quita se vuelven a unir por las atracciones moleculares

Una vez que quito el agua otra vez se vuelven a unir. ¿Qué pasa con el gis por qué no se disuelve?

E Porque no lo puede atacar o sea el gis como no es un, yo entiendo es que el gis, el agua no lo puede separar no es tan fuerte la fuerza del agua para separar el gis

¿El agua no lo puede separar?

E No la puede disociar en iones y no la puede atacar

¿Por qué?

E Porque la fuerza que hay entre el gis es más fuerte que la fuerza que puede ser separada por el agua.

¿Hay alguna reacción en particular o solamente porque así es?

E No sé, podría ser porque el gis es más es diferente unión de las componentes del gis a la que tiene la sal.

¿Pero qué es lo que las hace diferentes que en un caso si te permite separarlas y en otro no?

E La fuerza de unión y el tipo de unión

Te acuerdas en la que se hablaba de lo que pasa en los fuegos pirotécnicos y se ven colores específicos de acuerdo a la sustancia que se utiliza ¿sabes por qué se dan esos colores?

E Depende del tipo de elemento que tienen por ejemplo el calcio al quemarse da un color rojizo, el magnesio da un color verde

¿Por qué dan esos colores?

E Es característico del elemento

¿Qué lo hace característico?

E El color, no sé

En el caso del hidrógeno puede emitir en 4 distintos colores, ¿puedes explicar lo que sucede? ¿por qué puede emitir en esos colores y no en todos, por qué no en un continuo por ejemplo del rojo hasta el violeta?

E No sé, en estructura vi que tenía que ver con la longitud de onda que tenía dependiendo de la longitud de onda que tenía entonces dependiendo de esa longitud de onda que tenía ese elemento podía emitir cierto color

¿Qué tiene que pasar para que suceda?

E Me acuerdo, que se lanzaba un electrón y salía un protón, se hacía un fotón y salía al salir el electrón emitía una luz.

¿Qué pasa con el electrón, átomo, luz, tienes cierta cantidad de energía que le pones al elemento qué pasa en el átomo de ese elemento?

E lo que pasa es que los electrones están cambiando de orbital porque se les da energía, tienen suficiente energía para cambiar de orbital y cuando brincan se supone que es cuando desprenden la luz

¿Cuándo suben o cuando bajan?

E Baja y cuando se le deja de dar la energía que se le dio vuelven a su estado normal pero creo que cuando salta

¿Puedo darle toda la energía que yo quiera que siempre va a saltar hasta el infinito?

E No es una energía tope, que aunque uno le de más no puede saltar porque ya no tiene más orbitales.

¿Puede cualquier elemento emitir en cualquier longitud de onda?

E No depende de la longitud de onda que tenga, es el color que va a emitir.

¿Pero por qué solamente en esas longitudes de onda?

E Porque solamente en esas es cuando va a cambiar su electrón es cuando va a brincar su electrón

¿Te acuerdas qué es lo que pasaba con la conductividad eléctrica en un circuito, cómo se conduce la corriente en el metal? ¿Qué es la corriente?

E El paso de cargas.

¿Por dónde pasa?

E Por el metal

¿Tu sabes que ha materiales que son conductores y que no lo son, los metales son buenos conductores, qué hace que esos metales son buenos conductores?

E Me lo explico porque las cargas se pueden mover.

¿En el metal?

E Está cargado el metal, tiene sus propias cargas, o sea ya tiene está neutro tiene las mismas positivas que las negativas, si yo toco un metal sin nada, pero si uno le hace pasar una corriente positiva o negativa como el metal puede transferirlas las cargas, si uno le acerca un polo positivo va a hacer que todas las negativas se atraigan hacia él y sin embargo los que no son conductores eso no se puede hacer

Entonces en un metal, lo que tú dices es que se pueden mover las cargas pero se mueven al pasar la corriente

E Exacto porque uno le hace pasar una corriente o sea uno hace que eso pase

Están los átomos, porque los átomos no están solos sino en los átomos y esos electrones que se mueven en donde están. ¿Cómo puede ser que se muevan si hablamos que tenemos átomos con núcleos electrones?

E. Supongamos que si estamos diciendo que tienen lo mismo de átomos positivos y negativos eso es lo que se refiere no, es que están neutros, cuando están ahí en el metal no están así porque unos están anulando con los otros pero cuando uno le acerca algo positivo que es más fuerte que lo otro que lo está neutralizando entonces se acerca, se mueve porque los atrae

¿Se salen del átomo?

E. No sé, nunca lo había pensado, yo siempre lo he pensado como están las cargas positivas y negativas y cuando uno le acerca algo positivo atrae a las negativas porque es más fuerte lo que le estamos poniendo entonces atrae a los otros

¿Sabes por qué se atraerían?

E. Porque pues siempre se quieren neutralizar un negativo con el positivo y quieren neutralizarse para estar en un estado más estable digamos.

Si eso fuera, la carga negativa de los electrones pasaría sobre el positivo, indicaba carga negativa que se iba al positivo

E. si porque los atraía el polo negativo

¿Cómo pasaron los electrones que se están moviendo hasta el otro extremo?

E. Pero es que no se puede neutralizar totalmente es la negativa que se está poniendo es más fuerte, o sea queda como atrapada ahí y esto hace que quede como negativa o sea primero si no tuviéramos la pila y no le pusiéramos nada el metal está normal, está todo, sus cargas están distribuidas, si le acercamos lo negativo + o - lo que vamos a hacer es que cambie sus polos, es como si se convirtiera en una pila el propio metal, entonces como todas sus cargas negativas se aplican aquí como lo estamos diciendo por eso hace que encienda porque aquí está negativo y lo hace positivo

¿Qué representación del átomo te es más cercana? ¿Elegiste el 8 por qué?

E. Porque la mayor masa del átomo está en el centro, o sea en el núcleo y los electrones no tienen ninguna, los orbitales no son como pensábamos o sea una línea redonda, no son círculos porque los orbitales son como longitudes de onda, el electrón puede estar aquí pero de repente puede estar allá sin pasar por en medio entonces no lo podemos dibujar las trayectorias. Un electrón no tiene trayectorias. Los electrones tienen un poco de movimiento, sobre su propia longitud de onda, o sea como tienen cierta energía se pueden mover sobre su propia longitud de onda

Aquí está el núcleo protones y electrones, ¿intermedio entre los electrones qué habría?

E. No sé, espacio porque lo que pasa es que como está el núcleo y después están los electrones pero esos electrones se van tapando, (como en capas), hay espacio entre ellos

¿Ese espacio qué tiene?

E. No sé

Selene Coria

¿Qué le sucede al aire si se calienta?, ¿qué sucede con el globo?

E. El globo se infla porque el gas que está dentro del recipiente al calentarse tiende a aumentar su volumen porque las colisiones aumentan y entonces se ejerce mayor presión y eso hace que se desplace hacia el globo inflándolo

Cuando dices que se desplace hacia el globo significa que ¿en un momento dado habrá un espacio en donde no haya más aire?

E. No tiende a ocupar todo el espacio del recipiente y el globo

Los dibujos de bolitas que pusiste ¿qué representan?

E. Las moléculas de nitrógeno, oxígeno, no distinguí.

Son diferentes moléculas que componen el aire ¿qué hay entre las moléculas?

E. Espacios vacíos

¿Hay mayor movimiento al calentarse?

E. Sí porque al calentarse le damos energía a esas moléculas por eso sube, la energía cinética es la que se incrementa por eso se empiezan a mover con mayor rapidez y las colisiones con las paredes son más fuertes.

¿Por qué tiene que ser vacío el que esté entre las moléculas y no más aire por ejemplo?

E. A nivel de las moléculas siempre hay espacios entre ellas, no entiendo que más, por muy apretadas que estén las moléculas siempre habrá espacios vacíos.

Al hervir el agua las primeras burbujas que se forman dices en el cuestionario que son de vapor de agua ¿cómo es que se forman esas pequeñas burbujas?

E. Es algo similar en donde se está calentando el vaso las moléculas están ganando energía y esa energía hace que se muevan más rápido y pueden llegar a tener una energía cinética suficiente para que puedan escapar de la fase líquida que vencen la fuerza de cohesión entre ellas y rompan la membrana que se forma entre la fase líquida y la de gas

¿De qué son esas burbujas?

E. Son moléculas de agua pero en fase más separadas que se van separando y son menos densas que las moléculas que están líquidas y por eso tienden a subir, y se forman las burbujas

¿Cómo es el estado sólido, el líquido y el gaseoso?

E. Hay un arreglo periódico hay varios tipos pero siempre es periódico causado por los puentes de hidrógeno

¿Qué son los puentes de hidrógeno?

E. Interacciones entre dos átomos muy electronegativos y el átomo de hidrógeno digamos que en la molécula del agua al átomo de oxígeno tiene varios electrones libres y cuando hay otra molécula de agua cerca hay interacciones electrostáticas y esas para moléculas donde hay elementos muy electronegativos como son oxígeno y nitrógeno son muy fuertes y se llaman puentes de hidrógeno y se dan entre dos átomos de dos moléculas distintas muy electronegativas y un átomo de hidrógeno, está ligado covalentemente a uno de ellos y con el hidrógeno al otro

¿Cómo son entonces en el caso del hielo los arreglos?

E. Las fuerzas de cohesión son ahí mayores que en el agua y que en el gas, el arreglo periódico lo hace ser estable y tener una forma geométrica y periódica

¿Hay movimiento?

E Si está vibrando los átomos pero muy poco no se mueven en comparación con los otros estados, casi no se mueven si hay vibración pero es muy poca

¿Qué hay entre las moléculas en el hielo?

E. Espacios vacíos

¿Cómo es en el estado líquido?

E. Yo creía que las moléculas de agua estaban ahí todas revueltas en la fase líquida y si había cierta interacción entre ellas que las mantenía en estado líquido, fuerzas de puentes de hidrógeno que las mantenía en ese estado pero en desorden pero ahora nos han dicho que si forman redes que no son muy fuertes como en el caso del sólido pero que si tienen cierto arreglo y se les conoce como icebergs, si tienen ciertos arreglos

¿Cómo están esos arreglos?

E Son moléculas de agua igual que están interaccionando por puentes de hidrógeno pero que se despegan con facilidad y entonces otras se acercan y se unen y andan ahí todas juntas

¿Qué implicaciones tiene ese arreglo a nivel macroscópico?

E Esas interacciones me dicen por qué es líquida, por ejemplo hay otros compuestos donde las interacciones no son tan fuertes y por eso aunque son muy parecidas estructuralmente al agua por los elementos que contienen no son líquidos no se presenta el puente de hidrógeno

¿En el caso del gas?

E. Pues ya están más separadas las fuerzas de cohesión no son tan grandes como las de repulsión y actúan como cualquier otro tipo de moléculas en estado gaseoso, tienden a ocupar el volumen en el que se encuentran se desplazan hay colisiones.

¿Hay mayor movimiento y separación?

E. Sí.

Tienden a ocupar todo el volumen, por ejemplo en el caso del gas que es el aire en la atmósfera ¿qué es lo que hace que no nos quedemos sin atmósfera?

E Que no se escape, no lo había considerado, fuera hay vacío podría ser la fuerza de gravedad, esa materia a una cierta distancia podría ser

Explicame ahora ¿cómo es que se cambia de estado sólido al líquido y al gas?

E Por ejemplo, el hielo a cero grados es sólido y así es estable pero si hay un incremento en la temperatura va a empezar la transición porque están ganando energía las moléculas y entonces igual vencen la fuerza de cohesión que las mantiene unidas y tienen la suficiente energía cinética como para pasar al estado líquido e igual en el estado líquido si seguimos dando energía vencen a la fuerza de cohesión.

¿Esta fuerza de cohesión son los puentes de hidrógeno?

E Si y entonces pasan a la fase gaseosa también puede ser por un cambio de presión por ejemplo si tenemos el agua en forma de vapor y empezamos a aumentar la presión vamos a reducir el espacio entre las moléculas y entonces las fuerzas de cohesión van a ganar importancia y así entre más aumentemos la presión las moléculas van a estar cada vez más juntas y van a pasar al estado líquido y bueno ya del estado líquido es más difícil comprimir que en el estado sólido pero son presiones muy altas

¿Con eso te explicarías lo que sucede con la sublimación del yodo?

E. La sublimación, si tal vez eso sea porque el punto de ebullición del yodo es muy bajo entonces una vez que se pasa al estado líquido casi inmediatamente se pasa a la fase de vapor porque es muy rápido.

A nivel molecular ¿qué sucede, según lo que dices de alguna manera pasaría al estado líquido?

E. Si pero en la sublimación no hay esa transición

¿No?

E. Es debido a cambios de presión, temperatura, pero no se cómo sucede, en alguna vez me lo explicaron pero se me olvidó.

¿Qué sucedería con las moléculas?

E. Pues que el yodo lo tenemos en algún medio que estuviera aislado que no sublimara y al ponerlo a temperatura ambiente empieza a cambiar de fase porque necesita muy poca energía para esta transición o porque a esta temperatura su estado natural es el gas por eso.

Eso no me explica lo que está pasando

E. No sé

¿Qué sucede con una disolución de azúcar y agua?

E. Se disuelve por las interacciones que hay entre las moléculas de azúcar y las de agua me parece que son dipolo-dipolo

¿Qué son esas interacciones?

E. Lo que pasa es que por ejemplo en la molécula de agua el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y tiende a jalar y poco más hacia él las cargas la nube electrónica de los hidrógenos y pareciera que la carga está desbalanceada hacia el oxígeno y algo similar sucede en el azúcar porque son también moléculas de me parece que el azúcar no es polar ahí no se presenta ese fenómeno porque el carbono no es tan electronegativo entonces más bien el azúcar sería un compuesto no polar pero al interaccionar con el agua que si es polar tenemos creo que una interacción dipolo-dipolo inducido y entonces es lo suficientemente fuerte esa interacción como para vencer las fuerzas de cohesión en las moléculas de azúcar

¿Qué pasa con el azúcar?

E. Pues podría decir que como el azúcar es una molécula más grande tiene un mayor número de átomos quedaría rodeada por moléculas de agua

¿Las moléculas completas?

E. Como habría moléculas de agua interaccionando en ciertas partes de la molécula de azúcar la glucosa

En el caso de la sal

E. Ahí la sal es un compuesto iónico y como que en estado sólido la interacción entre los átomos de cloruro de sodio son ión-ión y al ponerla en contacto con el agua que es una sustancia polar se dan interacciones ión dipolo es decir que los iones se separan dejan a la red cristalina en la que se encuentran y empiezan a interaccionar con las moléculas de agua y se solvatan

¿Qué significan que se solvatan?

E. Que se rodean de moléculas de agua, siempre es un número específico, me parece que son 6 moléculas de agua por cada ión, el primer es porque si el ión es muy electronegativo puede atraer aún a mas moléculas porque aunque no estén en contacto directo con el ión están cerca de él y se mueven cuando se mueve el ión

¿Es diferente entonces lo que pasa con el azúcar y lo que pasa en el cloruro de sólido?

E Si por la fuerza de la interacción, es mayor con el cloruro de sodio, por eso si se rompe la estructura cristalina que es muy estable, la del cloruro de sodio como sal, por eso si se disuelve porque son más fuertes esas interacciones que en el caso del azúcar.

Entonces ¿qué pasa en el gis?

E Ahí sería una sal y se supone que debería haber interacciones ión dipolo con el agua pero estas interacciones son más débiles que las interacciones ión-ión, y en el otro caso de la sal si se dan porque superan en número a las de ión-ión, pero en este caso.

¿Hay más de agua que de cloruro de sodio?

E Si aunque son muchas moléculas de agua no logran superar la energía que mantiene unidas a moléculas de esta sal porque es mucho más estable como sólido, la energía de red que es la que mantiene el estado sólido es mucho mayor que la que se puede llegar a tener en conjunto con las interacciones ión dipolo

Vamos ahora al caso de los colores que emiten ciertos metales, ¿por qué se ven esos colores con esos elementos?

E Los colores son característicos de esos elementos y de hecho los pueden identificar así, hay métodos en que por los colores de los espectros de esos elementos los identifican pero no lo tengo muy claro porqué dan esos colores

En el caso del hidrógeno a alta temperatura se podían ver 4 colores, ¿por qué esos colores y solamente pueden ser esos?

E Podría ser porque los elementos tienen cierta configuración electrónica y a la hora que se calientan se transmite cierta energía y lo que se hace es excitar esos átomos para que liberen fotones o cambien de nivel energético ciertos electrones pero al cambiar de un estado a otro liberan energía una cierta longitud de onda y eso pues es luz de color

¿Si caliento mucho el hidrógeno voy a tener más colores?

E. Puede liberar ciertas longitudes de onda que correspondan a ciertos colores, los colores son característicos porque esta energía es siempre la misma para cierto estado de excitación.

¿Por qué?

E. Porque está cuantizada, esto es para pasar de un estado basal que es cuando no hay está sin ninguna perturbación en los electrones todos en el nivel energético donde el átomo sin ningún tipo de energía, y a la hora que se le empieza a calentar se da cierta energía no va a tener ningún cambio hasta que no se le transmita la energía necesaria para una transición, esa transición siempre será cuando tiene esa cantidad de energía, y siempre esa cantidad que absorbe es la misma que libera entonces a la hora que libera esos colores es porque solo de ese tamaño, de esa magnitud es la longitud de onda que desprende a la hora de excitarse y regresar al estado basal

¿Nunca podré tener un espectro continuo?

E No depende de ..

En la parte de conductividad eléctrica, ¿cómo es que el metal conduce la corriente eléctrica?

E El arreglo de los átomos del metal que todos están formando una especie de red en el metal, organizados en forma de láminas y todos están a distancias iguales unos de otros están acomodados tienen orden

¿Por el orden es por lo que se conduce?

E No lo que sucede es que se dice que los electrones en un metal están deslocalizados es decir pueden pasar de un nivel energético de un átomo a otro átomo al nivel energético bueno a un orbital de otro átomo continuo y así sucesivamente entonces por ejemplo si llega un electrón a un átomo este puede aceptarlo en su última capa electrónica pero al tener un exceso de electrones es

fácil que el que está al lado pueda como ya no lo atrae con tanta fuerza porque ya tiene más carga el otro átomo puede atraer ese electrón hacia su nube electrónica y así es como se da la conducción a lo largo del metal

Tengo una pila ¿qué sucede?

E. Son portadores de carga pero no sé que, pueden ser iones, en la pila hay iones pero a través del alambre lo que están pasando son electrones pero no entiendo que sucede

Supongamos que pasa un electrón al metal, ¿se va a mover alrededor de las órbitas de los electrones que forman?

E Más externos que es en donde se dan estas transiciones

¿Salta el electrón de uno a otro?

E. No se queda digamos en la capa electrónica del primer átomo con el que se encuentra pero ese átomo libera otro electrón que puede que no sea el mismo sino que sea el que está más cercano al siguiente átomo o al siguiente electrón Este tiene una carga de más y entonces puede a la hora de que hay otro átomo al lado puede atraerlo sin ningún problema

¿No sería el mismo electrón es como si este entro y de él saltó a otro y sale el del extremo?

E SI porque los electrones se puede decir que no es el mismo, no de esa manera, no van brincando

Hay 8 modelos posibles de átomos tu elegiste el 4 ¿por qué?

E es el que nos han propuesto como el que mejor explica cómo pueden estar los electrones en el átomo es razonable que debido a que los electrones se están moviendo siempre alrededor del núcleo a una cierta velocidad y esas trayectorias aunque no son tan aleatorias por eso hay orbitales, no es tan simple como una órbita determinada, no se puede saber en todo momento donde está el electrón sino más o menos donde podría estar según los nuevos modelos que explican el movimiento.

¿Por qué no ten gustaron estos?

E Porque el electrón no se sabe en donde están los electrones en la nube alrededor del átomo no están localizado sino que se mueven a cierta distancia y en un cierto espacio alrededor del núcleo Se habla sobre probabilidad del electrón por ejemplo aquí se ven ciertas zonas donde está más denso y es probable encontrar al electrón en esa órbita y aquí pareciera que es un conjunto de electrones que se encuentran todos en movimiento y con la misma probabilidad de encontrar un electrón en cualquier lado alrededor del núcleo incluso en este modelo hay zonas en donde la probabilidad de encontrar un electrón es cero, en ciertas distancias radiales

Al centro de todos los modelos hay un núcleo ¿qué hay dentro?

E protones y neutrones, los protones tienen carga positiva y los electrones negativa

Eléctricamente ¿cómo es el átomo?

E Neutro, pero pueden tener carga cuando hay un desbalance de carga cuando hay menos electrones que protones

¿Qué hay entre los electrones y el núcleo?

E No hay nada, se habla de ciertas formas volumétricas para explicar donde estarían los electrones pero no hay nada hay espacio vacío

¿Al interior del núcleo?

E Se habla de que son esferas y que casi todo el espacio dentro está vacío y hay partículas y subpartículas pero no se como interaccionen

Quinto Semestre

Tsiu Lin

Me estabas explicando tus dibujos me estabas diciendo que aquí no había nada de aire (están hablando del recipiente de la pregunta 1).

E. porque al momento de que un recipiente se encuentra cerrado.

Aquí se te representaba como se vería el aire antes y después de calentar.

E. Mi concepción del aire es algo que no lo puedo ver

Aja.

E. Ahora así lo dibuje para demostrar su existencia

Eso implicaría que ¿hay aire en el primer globo?

E. Pues el aire que pueda contener nada más se le pasa al globo

Explicame ¿por qué aquí dibujaste algunas partículas dentro del globo, arriba y abajo nada?

E. Pues el aire que pueda contener en el espacio. Pues se excitan e incide en una fuerza que hace que estén más arriba.

¿Hay entonces más partículas arriba que abajo?

E. Sí.

¿Eso justificaría por qué se infló el globo (segundo cuestionario, globo de aire caliente)?

E. Al calentar el globo está recibiendo las partículas de aire, es el único espacio en el que pueda salir, algo caliente tiende a subir

Pero aquí saldría por abajo, ¿esto es bajaría? ¿Y tú decías que subía?

E. En el matraz sube y aquí en el globo de aire caliente no porque no se está haciendo incidir ninguna energía

¿Si pones una flama porque el enunciado decía que era un globo de aire caliente?

E. Entonces subiría

Entonces tu dibujo no correspondería

E. No

¿A dónde quedarían entonces las partículas de aire?

E. Suben

¿Quedaría como en el matraz?

E. Sí.

¿Quedaría arriba?

E. Sí

¿Por qué sube el globo?

E. Porque al calentar el aire, esto está haciendo que se desplacen hacia la pared opuesta de donde se pone la flama, entonces eso hace que las moléculas o las partículas de aire empujen a las paredes del globo.

Aquí lo explicabas como que las moléculas al salir

E Aquí lo explicaba como que las moléculas al salir serían menos denso, es decir al tener menos peso y por eso subiría

¿Por qué salían porque las calentaban?

E Yo supuse que era como un globo de aire de las fiestas en las que uno lo infla y lo amarra se va el globo y éste sube, porque sale el aire que uno metió, no leí que el aire se calentaba. Yo supuse que el aire que uno pone al globo está más caliente, no es un aire frío.

Se pone una gota de agua en un termómetro de gas ¿qué es lo que tiene dentro el tubo y el recipiente?

E Aire.

¿Por qué no cae la gota de agua?

E. Por el aire.

Si yo lo caliente

E Sube.

¿Qué le pasa al aire si yo lo caliente o lo enfrío?

E Está muy largo el alcance y al momento de ponerlo en el agua, se pone en contacto y es algo que

Debe estar en contacto o no necesariamente

E. No.

¿Qué le pasa al aire?

E. Tal vez no dejarse el estado de agregación porque

No pasaría algo como esto

E O sea que aquí con la botella aumenta la energía cinética de las moléculas.

Tu me dijiste que cuando aumenta la energía cinética sube ¿Abajo qué quedaría?

E. Más aire

¿Quedaría entonces más aire en las mismas proporciones o en menos proporciones?

E. En menos

¿O sea abajo queda en menos proporción y arriba queda en mayor cantidad y eso es lo que hace que suba la gota?

E. Si el aire está siendo desplazado por la misma flama y baja por la fuerza de gravedad

¿Qué pasa con el hielo cuando se pone al sol?

E Se derrite

¿Por qué se derrite?

E. El hielo son moléculas de agua condensadas, el agua al estar en un diferente estado puede decirse las condensadas está con una energía cinética entre ellas no hay un espacio están completamente unidas tienen una estructura sólida.

¿Cómo es la molécula del hielo?

E La del hielo es más unida, la molécula no cambia, las que están más unidas son las moléculas entre sí. Se van encontrándose entre sí, van perdiendo su energía cinética y tomando una forma definida. En estado sólido el movimiento es mínimo

¿Qué tienes que hacer para hacer el hielo líquido?

E. Es que las moléculas, poner la flama, dándole energía entonces las moléculas van a adquirir energía y cambian su estado de agregación, va a existir una fuerza de cohesión entre cada molécula entre los huequitos, cuando la haces que hierva, le das mayor energía cinética entre las moléculas de agua.

¿Entre cada molécula qué hay?

E. Debe haber aire.

¿Qué hay entre las moléculas de aire?

E. Más aire.

Entre las moléculas ¿qué hay?

E. Debe haber aire.

¿De qué está formada la molécula de agua?

E. En el líquido y en el sólido y en el gaseoso tendría el oxígeno y como dos orejitas serían los hidrógenos, no están pegadas tienen una cierta longitud de enlace, formando un ángulo de enlace también.

¿Cómo es que se agruparon las moléculas?

E. Están los enlaces, el enlace.

¿Dónde están los electrones?

E. Está formado por electrones, el oxígeno tiene mayor número de electrones entonces eso es lo que le da la estructura.

Al interior de cada uno de esos enlaces, ¿forma algo o nada?

E. Los electrones están alrededor del núcleo, de cada átomo.

¿Dentro hay algo más?

E. No hay un vacío, debe haber aire, entre los electrones debe haber aire para que se mantengan.

¿Ese aire es lo que hace que no se junten el núcleo y los electrones?

E. Yo supongo que sabemos que el núcleo está rodeado por los electrones de que este rodeado por ellos es un estado de la naturaleza, yo supongo que existe aire entre el núcleo y los electrones girando porque si no debe haber vacío.

¿Cuándo?

E. Cuando no haya nada de aire.

¿Bueno en qué condiciones? ¿En la naturaleza tu puedes encontrar el vacío?

E. En los hoyos negros o algo así. No debe existir el vacío.

Cuando me dices que entre el núcleo y los electrones hay aire sabes de ¿qué está compuesto el aire?

E. Por hidrógeno y oxígeno y por muchos núcleos y sus electrones respectivos.

¿Esto implica que dentro del átomo hay más aire con núcleos y electrones? ¿Hay moléculas de hidrógeno y oxígeno dentro de la molécula?

E. Si eso creo yo.

Vamos a otra pregunta observa las burbujas que se están formando en el recipiente al calentar el agua, ¿de qué crees que están formadas estas burbujas?

E. De Aire. Adentro de la molécula de aire y al calentar sale, las primeras burbujitas son de aire y se empiezan a pegar en las paredes porque está más caliente, el aire tiende a subir y va a se un aire que se pierde de la molécula Es un aire que aunque no lo veamos está saliendo de la molécula. Se está perdiendo aire de la molécula de aire

¿Si sale de la molécula entonces que pasa con el aire dentro de la molécula?

E. Siempre va a haber aire dentro de la molécula aún cuando se pierda algo al calentar y salir. También de la misma atmósfera está adquiriendo aire.

¿De la atmósfera entra aire a la molécula?

E. Sí.

¿Por qué estas burbujas tienen esta forma redonda?

E. Supongo que redondas por que esta forma es lo que les permite ir avanzando a través del agua tiene menos impedimento para poderse mover, tiene mayor superficie para ser atacada

¿Por qué es que crecen estas burbujas conforme va pasando el tiempo? ¿Los componentes del aire son las que está sacudiéndose la burbuja?

E. Yo tengo una idea cuando uno pone a hervir el agua, cuando el agua hierve demasiado tiempo está perdiendo el oxígeno, por eso es que surge que hay que oxigenar el agua. Esto implica volver a verter y del aire de la atmósfera.

¿De dónde sale el oxígeno?

E. Del aire

¿Las burbujas entonces son de oxígeno principalmente?

E. Yo considero eso, por eso es que dicen que hay que oxigenar, lo que se está haciendo es el aire que tenemos, luego al momento que se acaba el aire o que queda menor cantidad empezamos como a descomponer lo vamos a agitar, bueno no se descompone sino que el aire la menor cantidad de aire

¿Hay una desproporción en el aire? ¿No hay una combinación entre todos los elementos del aire?

E. No se puede decir que es una mezcla homogénea completamente y debe tener la misma proporción siempre, el aire dependiendo de la zona en donde veas habrá más de una sustancia que de otra.

¿Por qué crees que crecen las burbujas después?

E. Considero que el aire es más fácil que el aire tienda a subir y formar sus burbujas de oxígeno, estas burbujas por el puente de hidrógeno no se puede separar tan fácil

¿Cómo se forma una disolución?

E. Una disolución es donde hay un soluto y un solvente que no debe de ser un disolvente debe ser un solvente, y soluto puede ser algo sólido o líquido

¿Si pongo una pequeña cantidad de sal en el agua es una disolución?

E. Al momento en que se pone en contacto el soluto y el solvente ya es una solución, de hecho puede haber soluciones saturadas o no saturadas o sobresaturada

Si pongo azúcar y agua primero veo el soluto y después de cierto tiempo ya no los veo ¿Qué sucedió con el azúcar?

E. ¿Está caliente?

Puede ser

E. En general, al ser tan poca la cantidad de soluto el agua es un solvente muy polar

¿Qué significa que es muy polar?

E No sé, bueno al momento en que digo muy polar, es que es un buen solvente, tiene la facilidad de solventar, no se como explicar. El ser polar este va a desdoblarse no se si sea la palabra correcta, va a ser un mayor la fuerza del agua para, solventar es cuando la molécula y se rodea de agua, o sea al solventar es que se tiene la molécula de soluto y se van a ir pegando las moléculas de agua

A cada molécula de lo que tenga sólido el agua la va a rodear, ¿todas se van sobre la molécula del soluto?

E Depende de la energía que tenga el átomo del soluto.

¿Si pongo sal sucede esto?

E Ahí es que tiene electronegatividad, un compuesto iónico está formado por un átomo electronegativo que tiende a formar un par iónico, yo considero el par iónico como si fuera una pila, con un lado más y un lado menos, supuestamente aquí te puedo ilustrar el par iónico. La elipse es una molécula de agua, según lo que entiendo es que esta parte más electronegativa que forma el par iónico se une en un extremo y el otro en el otro extremo de la molécula del agua.

¿O sea esta molécula se junta a las dos entre el par iónico?

E Entre las dos

Alrededor ¿hay más moléculas o ya no hay más?

E Alrededor hay más.

¿Pero ya no sirve de nada, solamente es una molécula de agua que es la que entra entre el par iónico?

E No, la que interviene por completo es una molécula de agua, pero pues las otras pueden ser atraídas por los iones, por eso las puse pegadas

Estas pueden ser atraídas, ¿por qué se da esta atracción?

E Bueno, por la electronegatividad

O sea tiene que ver con la electronegatividad, ¿el agua de todas maneras va a ser atraída igual por los dos pares iónicos?

E No, considerando que va a ser diferente, cuando a uno le dicen par iónico, se supone que el compuesto está formado por algo menos electronegativo y algo fuertemente electronegativo, entonces eso hace que la parte más electronegativa atraiga más moléculas de agua

Es lo mismo que pasa con el azúcar, ¿por qué a final de cuentas macroscópicamente se ve igual?

E Yo considero que no, con el azúcar no es lo mismo porque es un compuesto orgánico, y que a comparación con el enlace iónico, éste es fuerte, eso también hace que sea diferente, en cambio el azúcar es más fácil de disolver o solventar, ya que el azúcar no está tan fuertemente unida y puede permitir más fácil la entrada de la molécula.

¿A cada molécula de azúcar el agua la rodea?

E Si la glucosa o azúcar está solvatada

¿Qué pasa entonces con el gis que no se puede disolver?

E Primera respuesta fue experimental, ya que es un hecho que no se puede disolver

¿Qué crees que pase con el gis?

E El gis es un compuesto como la sal, y sería algo lógico de pensar que si se disolvería pero la sal es higroscópica, el gis como es iónico y tiende a ser más inerte y no permite tan fácilmente el agua, no me he puesto a pensar que pasa con el gis

¿No hay muchas cosas que se sublimen o sí? ¿En el caso del yodo es característico el hecho de que se sublima

E Yo tenía duda de qué es lo que sucede, hemos visto varias veces que pasa del sólido a gas, me parece que queda en las paredes como embarrado eso traté de poner en el cuestionario, yo lo interpreté como que queda embarrado y no en el fondo. Esto pasa porque se excita tan fácilmente que no lo podemos, ha de pasar por el estado líquido, pero no lo podemos ver ya que es tan solo por unas milésimas de segundo

Hay una fase que se pasa muy rápido, ¿no es que se pueda saltar de sólido a gas?

E Si se puede saltar, cuando decimos que se sublima que es de sólido a gas yo creo que debe pasar por líquido en milésimas de segundo que no alcanzamos a percibir, en algún momento va a tener algunas características de esta fase.

¿Tú sabes cómo es la molécula de yodo?

E La molécula está pegada por dos yodos, son dos yodos

¿Tú lo has visto?

E Según yo quedan como bolas apelmazadas

Llegamos ahora a la parte del átomo Tu pusiste aquí que se debía al homo, explícame lo que esto significa

E Según lo que yo entiendo por homo sabemos que un compuesto tiene cierta cantidad de electrones, y va a tener ciertos niveles de energía, cada nivel de energía va a estar ocupado por cierta cantidad de electrones, el último nivel de energía es el homo y el nivel siguiente superior no está ocupado es el umó

¿Cuándo caliente la sustancia qué sucede entonces?

E Los electrones del nivel del homo pasan al humo, son excitados y adquiere cierta energía, ya que se le tiene que dar energía al sistema

¿Lo que veo como luz qué es?

E Es como si fueran isómeros, pero no son isómeros, es un estado excitado de un mismo compuesto, este es hierro, que va a seguir siendo hierro hasta que llega la flama, la coloración es simplemente un cambio de nivel de energía Este cambio hace que adquiere sus características si cambian pero hay mucho, el comportamiento no implica que cambia sus características físicas y químicas es lo que sucede con la espectroscopia

Bueno a raíz de la espectroscopia se descubrió que ciertos elementos emitían ciertos colores específicos ¿Cómo explicar que esto sucede?

E En si es diferente compuesto, las condiciones y la energía que se está proporcionando, el color es por los electrones, no se puede cuantificar por el número de electrones, si tengo 8 me da rojo y si tengo 7 me da un naranja. Debe ser entonces por el número de electrones que tuviera cada elemento Según el electrón puede tomar, no se puede tomar por el número que es una característica periódica sino el número de los niveles de energía, depende de cómo se puede reacomodar en si en el átomo.

¿Se mueven los electrones o los átomos los que se mueven de nivel?

E Sólo este lado, los electrones

Con la energía se reacomoda, y al reacomodarse ¿qué sucede?

E Se debe a los niveles energéticos, la coloración se debe al cambio de nivel de los electrones exclusivamente en los dos de arriba, son los que se excitan los otros están fuertemente atraídos por el núcleo, según yo debe de ser, conforme se tiene cierta energía

¿Cómo es que se conduce electricidad por una barra de metal en el circuito?

E. Va a proporcionar como un puente, lo veo como una solución, en el momento en que tenemos, en ciertas soluciones van a tenderse a ánodo y otros al cátodo y en otros van a tender a combinarse con los menos

¿Y aquí con la barra?

E. En la barra magnética este debe ser un material conductor para que conduzca si no conduce, se acomodan las cargas, en el momento en que entran los electrones se acomodan

Sobre los modelos atómicos

E. Los electrones en todos estos están en un espacio limitado y limitan al átomo, cada orbital, tiene sus electrones, parece un sistema planetario, con eje de rotación y traslación. Elegí este porque considero que todo está en un espacio tan grande y va a tener un caminito y va a pasar siempre. Aquí están muy simétricos yo pienso que los electrones no van a volver a pasar por el mismo punto, está ocupando el espacio que tiene el núcleo. Están al azar, y tienen una fuerza que evita que se acerquen los electrones al núcleo. El núcleo atrae a los electrones para que no estén volando alrededor de él.

Leny

¿Qué sucede cuando se calienta un recipiente con aire y con el globo?

E. El aire caliente tiende a subir es menos denso entonces el globo se levanta.

¿Qué hay de diferencia con el aire frío y el caliente?

E. El aire caliente se expande empieza a ocupar más espacio y cuando está frío

¿Qué es lo que se expande?

E. El gas dentro del matraz

¿De qué está formado el gas?

E. Pues es aire nitrógeno, oxígeno, agua, argón, CO₂

Estos puntos que pusiste aquí ¿qué representan?

E. Las moléculas de aire.

¿Cuando lo calientas hay alguna diferencia entre antes y después de haberlo calentado?

E. Cambia el volumen del gas.

¿Qué pasa con las moléculas que hacen que el volumen sea diferente?

E. La energía cinética de las moléculas es mayor entonces tienden a chocar más y pues sus movimientos son más grandes y se separan

¿Entre las distintas moléculas qué hay?

E. Vacío, pero debe ser un vacío. Ese vacío es muy pequeño tomando en cuenta que las moléculas y átomos son extremadamente pequeños

¿Las podríamos ver con el microscopio?

E. No, pues miden como un nano.

¿Por qué no pusiste ninguna molécula en el primer globo?

E. Se me pasó pero debe tener alguna molécula.

Cuando se calienta el agua, ¿las burbujas que aparecen al inicio dices que son de aire?

E. El agua tiene aire disuelto y primero las burbujas de aire pues se calientan son menos densas que el agua y por eso empiezan a subir

¿Por qué son menos densas, antes estaban ahí y no se veían por qué ahora sí se ven?

E. El aire es menos denso pero adquieren energía. Se puede decir que se empiezan a hacer conglomerados de moléculitas de aire y que juntas con la energía que han adquirido empiezan a elevarse

¿Qué hace que se junten?

E. No sé.

¿Una vez que empieza a hervir el agua, esas burbujas siguen siendo de aire?

E. No ya después las moléculas de agua empiezan a evaporarse y después de cierto tiempo solo son moléculas de agua

Describe lo que es el estado sólido, líquido y gaseoso del agua. ¿Cómo es su estructura?

E. la vería ordenada como red con oxígenos y puentes de hidrógeno

¿Qué son los puentes de hidrógeno?

E. Pues son uniones entre el hidrógeno de un oxígeno con el oxígeno de otra molécula. La misma atracción de los oxígenos y el hidrógeno, el oxígeno que tiene una carga negativa y el hidrógeno positivo se van a arreglando así

¿Qué tipo de atracción es esa?

E. Electrostática

En el caso del sólido, ¿están ordenadas?

E. Sí, más ordenadas que en el líquido

¿Pero la separación entre ellas sería equivalente?

E. En el estado líquido y en el sólido la separación es un poco más grande que en el líquido, esperaríamos que fueran más compactos en el sólido pero no el sólido ocupa más volumen debido a sus puentes de hidrógeno

¿En el sólido está más separado?

E. Sí

¿Se mueven o no?

E. Sí vibran

¿Los átomos o las moléculas?

E. Las moléculas.

¿Cómo es el estado líquido?

E. Las moléculas están desordenadas más que en el sólido, y el volumen está limitado al lugar donde estén no hay un corte tajante una línea como en el sólido, porque aunque no esté en un recipiente está limitado.

¿En el caso del líquido está limitado?

E. Sí, pero no de una forma más rígida

¿Están menos o más separadas las moléculas que en sólido?

E. Están más juntas, en el caso del agua si están más juntas, ocupan menor volumen

¿Y si fuera otro material?

E. Esperaríamos que ocupara menor volumen

¿O sea sólo para el caso del agua sucede esto?

E. Sólo que tenga puentes de hidrógeno

¿Si tiene puentes de hidrógeno en el sólido es mayor la separación pero si no es así, si fuese un metal, como el mercurio si al calentarlo pasará al estado gaseoso o al sólido?

E. Las moléculas estarán menos separadas en el estado sólido

¿Lo que hace que en el agua estén más separadas son los puentes de hidrógeno?

E. Sí

¿En el estado gaseoso?

E. Ahí están todavía más desordenadas que en el líquido y el volumen puede ser infinito

¿Hay más o menos movimiento?

E. Más movimiento de las moléculas

¿Cómo es que se pasa del estado gaseoso al líquido y luego al sólido?

E. Por un cambio en la temperatura y la presión se dan esos cambios.

¿Si cambia la presión entonces qué cambia?

E. Por ejemplo, cambia el estado puede jugar con las dos variables lo que son la presión y la temperatura podría ser una misma temperatura si tenemos un líquido pero aumentamos la presión a esa misma temperatura entonces tenemos un sólido y así podemos disminuir la presión y podemos tener un gas.

¿Qué hay entre las moléculas de agua en cualquier estado?

E. Vacío.

Y si veo la molécula del agua en su interior ¿de qué está formada?

E. Por átomos de hidrógeno y oxígeno.

¿Y cómo estaría formada?

E. Arreglada con (indica un ángulo con los brazos abiertos) el oxígeno al centro y los hidrógenos a los lados.

¿Cómo es que están unidas?

E. por atracciones.

¿De qué tipo de atracciones?

E. Atracciones electrostáticas.

¿Producidas por qué?

E. Por los electrones.

Y entre los átomos de oxígeno e hidrógeno ¿qué habría?

E. Pues están los electrones, que los unen.

¿En donde están los electrones?

E. Vacío, y los niveles de energía.

¿Cómo podrías explicar el caso del yodo?

E. Que sublima, no sé por qué.

¿El yodo solamente puede sublimarse, o si habrá algún momento en el que podamos pasar por el estado líquido?

E. Si se puede pasar por el estado de líquido.

¿Bajo qué condiciones?

E. En un diagrama de fases, podría verse, condiciones de presión y temperatura para cada estado y sus cambios.

¿Sería un caso particular la sublimación del yodo a temperatura y presión ambiente?

E. Sí.

¿Microscópicamente cómo es que se pasa del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido?

E. No sé, el aumento de energía de las moléculas debe ser muy grande pero no recuerdo qué tienen al yodo para que no esté sublimando.

¿En su estado normal se está sublimando?

E. Sí, sin calentar se sublima

¿Qué pasa con la disolución de azúcar y agua?, ¿por qué se disuelve?

E. Los cristales de azúcar empiezan a ocupar los lugares vacíos de las moléculas de agua, se van acomodando ahí.

¿Por qué se acomoda?

E. Por las características del azúcar que pueden introducirse fácilmente y ocupar los espacios.

El azúcar se mete en pedacitos de azúcar, varias moléculas. El agua tiene huecos y ahí se mete, pero ¿por qué se mete ahí?

E. Por el tamaño de las moléculas y el azúcar es más densa que el agua y en el gel es menos denso y se queda arriba

Pero el gel no se disuelve, ¿por qué el azúcar sí se puede meter en los huecos, de una estructura más o menos fija que tiene el agua, y no en el caso del gel?

E. El tipo de interacciones entre moléculas de agua debe ser semejante al tipo de interacciones entre el agua y azúcar para que estas puedan producirse.

¿La interacción que existe entre las moléculas de agua es la misma que existe entre las moléculas de agua?

E. No la misma sino semejante

¿Sabes en qué consiste esa semejanza?

E. En cómo esté el tipo de enlace que tengan los átomos que conforman el azúcar y el tipo de conforma el agua, deben de ser semejantes, a lo mejor la molécula de azúcar también es polar igual que la de agua y eso le facilita que entre.

¿Qué significa que sea polar?

E. Que parezca que la molécula está cargada, tiene cierta carga positiva de un lado una carga negativa, una molécula positiva y una negativa

¿En el caso del azúcar es lo mismo?

E. Sí, no sé

¿En el caso de la sal que también se disuelve qué sucede?

E. Eso sí como son iones les es más fácil introducirse, se disocian totalmente el cloruro de sodio en agua

¿Por qué se disocian?

E. El agua es polar de un lado del que están los hidrógenos y del oxígeno negativos, entonces la sal al entrar se disocia en sus iones y entonces le es más fácil el cloro se va acomodando, le es más fácil acomodarse entre los hidrógenos y los oxígenos.

¿En el momento en que se introduce la sal en el agua se disocian los iones?

E. No, como es muy grande el agua rodea al agua y lo disuelve

¿Por qué se puede separar en este caso?

E. Se empezaría como que a pegar el agua por la misma carga y empezaría a desencadenar, le quitó un electrón entonces empiezan a aparecer cargas.

¿Por qué cuando explota con pólvora ciertos metales se producen ciertos colores característicos, por qué?

E. Ciertos elementos dan ciertos colores.

¿Por qué?

E. Tiene que ver con el arreglo electrónico de los elementos, hay elementos que tienen capas más cercanas sus capas d y p, entonces les es fácil que sus electrones salten de una capa a otra y la energía que necesitan para saltar de una capa a otra está definida y esa energía es la que obtienen de la luz del espectro cuando ellos captan esa luz o esa energía emiten otra, y ese es el color.

Yo caliento el hidrógeno y sé que puede emitir en rojo, verde y la pregunta era ¿por qué puede emitir solamente en esos colores? Me dices que la explicación depende de los niveles de energía por los que esté pasando el electrón en sus órbitas entonces si lo caliento ¿qué sucede al interior de sus átomos?

E. Que adquiere energía por calentarlos, con esa energía pueden pasar a un nivel superior pero tienen que regresar, y al regresar es cuando emiten esa energía y esa energía es la que observamos.

¿Si aumento la cantidad de energía que le estoy dando a ese átomo puedo tener más colores?

E. No, esa energía está definida porque al pasar de un nivel a otro es una energía que está cuantizada.

¿Qué significa que esa energía está cuantizada?

E. La entiendo por paquetes que solo pueden tomar un paquete específico de energía no pueden tomar otro, en todo caso si le aviento más energía entonces más electrones van a tener la posibilidad de captar esa energía pero un electrón solo puede tomar un paquete.

¿No puede tomar toda la que sea y pasar a cualquier nivel?

E. No.

¿Cada elemento puede emitir solo sobre cierta longitud de onda?

E: Sí.

¿Por qué el caso del hidrógeno puede tener 4 colores diferentes?

E. Llega uno y es como pasar de nivel, llega a un nivel y ahí puede tomar otro, hasta llegar a cada nivel.

Teníamos aquí 4 modelos atómicos, ¿por qué elegiste el 5?

E. Entre el 4 y el 5 porque los electrones en sí no están bien localizados alrededor de un, pueden estar en volúmenes definidos pero no sabes dentro de ese volumen en donde está entonces puede estar en todos lados y entre más electrones es mayor el caos.

¿Este sería para representar cuando tienes muchos electrones, si fuera solo el caso del hidrógeno, se representaría igual?

E. Si, sería representarlo como una esfera en donde a medida que nos alejamos del núcleo empieza a ser menos oscuro el color.

Al centro está el núcleo, ¿de qué está formado?

E. De neutrones y protones.

¿Están alrededor?

E. Los electrones.

Entre el núcleo y los electrones ¿qué hay?

E. Vacío.

¿En el interior del núcleo?

E. Están los neutrones.

¿Cómo esferas pegadas?

E. No, están intercalados los neutrones y protones porque los neutrones son los que están actuando ahí para que los protones no sé, como todas son cargas positivas se repelen y los neutrones los pegan. Al centro se tiene una carga positiva y alrededor están los electrones con una carga negativa.

¿Cómo es el átomo entonces con carga?

E. Es neutro

¿Pueden haber átomos con carga?

E. Cuando están cargados ya son cationes y aniones

¿Cómo se formaron?

E. Que tienen más o menos electrones

¿Por ejemplo en el caso del cloruro de sodio que son dos iones estaría en ese caso?

E. Si uno tiene más y el otro menos de los que le corresponden.

¿Cómo se conduce la corriente eléctrica en los metales?

E. En el caso de los metales en general pues están unidos y el enlace metálico que se caracteriza porque son los núcleos inmersos en un mar de electrones, los electrones andan ahí por allá, ese mar de electrones es el que permite el flujo de corriente

¿Qué es un mar de electrones?

E. Los electrones no están tan unidos al núcleo están un poco apantallados, el núcleo no los atrae tanto y los deja libres, eso que andan libres es que andan entre los otros átomos andan de aquí para allá y no están unidos al núcleo.

¿Si forman parte de los átomos pero están menos atados?

E. Sí.

¿Cómo se conduce la corriente?

E. La corriente es algo así como un fenómeno en cadena que un electrón le pega y la vibración o el movimiento se transmite

¿Esa energía se transmite?, ¿los electrones no se movieron, sólo fue la energía?

E. Pues metí un electrón y saqué a otro y así sucesivamente

Si se van empujando ¿el que entró no sale?

E. No, sale el último

Séptimo Semestre

Dante Castillo

Si se pone un recipiente con aire con globo conectado y si se calienta el aire, ¿qué sucede con el globo?

E. Dibujé más grande el globo porque se expande

¿Dibujaste algo dentro de los recipientes?

E. No, porque no se indicaba que se hiciera

Si te hubiera pedido que dibujas algo ¿Qué habrías puesto?

E. Si me decía que representara las moléculas las hubiera dibujado con flechas porque aumenta la cinética de las moléculas y eso también ejerce cierta presión en el contorno del ambiente en el que esté, por eso es que luego se expande

¿Por qué hay una presión sobre el entorno?

E. Debido al choque de las moléculas

¿Algo les pasa a las moléculas?

E. Si aumenta su cinética, su movimiento porque se les está dando energía con la temperatura se excitan chocan unas contra otras.

¿Qué hay entre las moléculas?

E. Pues casi no hay una relación que las mantenga juntas

Esto implica que están separadas, y en la separación ¿qué hay?

E. No sé, en el aire, lo que decía es que hay aire pues no se hay otras moléculas, el aire está compuesto de otros elementos.

Pon tu que están todas las moléculas que componen los distintos gases de los que está compuesto el aire. ¿Están todos estos elementos en igual o distinta proporción?

E. En distinta proporción

¿Ya que están representadas y me dices que están separadas porque es un gas?

E. Si y tienden a ocupar todo el volumen

Entre las moléculas que están separadas ¿qué hay?

E. Bueno, yo con lo que me explico es que todo está lleno de las mismas moléculas, no se, están en movimiento y al estar en movimiento no están ocupando una sola posición, no están estáticas sino que chocan y eso hace que se muevan en el espacio

¿Eso en el que se mueven qué es?

E. No sé, es un espacio que existe y que ocupan y en el que se mueven

Un espacio que ¿quien sabe qué tenga?

E. Creo que como se están moviendo muy rápido pues a la vez están ocupando todo el espacio entonces ese espacio es ocupado por la misma molécula

Pero si esto fuera entonces ya no se movería

E. Si debe haber algo, bueno aparentaría moverse, parecería que estuvieran estáticas pero si nos vamos al fondo estarían moviéndose

Vamos al vapor de agua, te acuerdas que la pregunta era ¿cómo representarías el vapor de agua?
E El vapor de agua, de acuerdo a lo que hemos leído todavía en el vapor de agua hay puentes de hidrógeno las moléculas de agua están todo el tiempo interactuando entre ellas.

¿Qué es eso del puente de hidrógeno?

E. Puentes de hidrógeno son los enlaces instantáneos a la vez débiles por ser instantáneos entre un átomo de oxígeno y un átomo de hidrógeno unido a otro átomo distinto al hidrógeno

¿De qué tipo es esta fuerza?

E Lo que sucede el oxígeno al tener electrones disponibles, o sea de sobra, porque está interactuando en la molécula de agua con dos hidrógenos no está enlazado pero aparte tiene dos pares de electrones con los cuales puede compartirlos a otros átomos y en este caso el hidrógeno es un buen átomo, que depende del tamaño, esto es algo muy importante para que se presente el puente de hidrógeno

¿El tamaño de átomo?

E. Si, esto le permite tener una mayor facilidad para tener un enlace o no

¿Qué le da la diferencia en el tamaño del átomo?

E Pues le permite tener mayor movilidad porque los puentes de hidrógeno no son eternos están interactuando un hidrógeno un oxígeno y a la vez están con otros, bueno hay un número determinado, o sea el oxígeno con él forma interacciones con cuatro hidrógenos, 2 con los que se supone está la mayor parte del tiempo enlazado y los otros son interacciones instantáneas de corta duración, no sé.

Al interior de esta molécula de agua, ¿qué hay?, me dices que están dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno están pegadas como bolitas, que hay dentro, cómo te imaginas que está dentro la molécula de agua

E. Pues las interacciones de las moléculas disminuyen comparadas con el agua en estado líquido no sé, los puentes de hidrógeno de los que hablaba que le dan esta forma al agua con todas sus propiedades, disminuyen al haber una mayor separación entre las moléculas las interacciones se dan en menor proporción

Eso es que en el caso del gas, si fuera en el agua líquida ¿cómo estarían las moléculas?

E. El vapor de agua tiene interacciones entre las moléculas de agua son menores

¿En el caso como en la fase líquida?

E Son mayores.

¿Cuándo se hace sólida?

E En principio debería aumentar la interacción pero cuando tenemos un hielo, por eso la densidad disminuye, porque tenemos moléculas de gas atrapadas entre tantas moléculas de agua hace que su densidad sea menor. Por eso es que el hielo flota

Estarían más juntas, ¿me dices y hay mayor interacción?

E Yo esperaré que fuera eso pasar de un estado líquido a un sólido se forma una estructura más compacta

¿Sabes qué tipo de estructura se forma en el hielo?

E No pero en el agua no sucede así, el volumen aumenta pero también tiene que ver el aire que quedó atrapado, digamos en los cubos de hielo hace que flote

¿Si tu lo vieras a nivel molecular ese aire que quedó atrapado lo distinguirías de las moléculas de agua, en este caso son moléculas de gas y las que ves en los otros caso son de agua?

E Si porque ahí estaría todavía como gases interaccionando con las de agua en estado sólido.

¿Cómo sería eso?

E No sé, tal vez serían estructuras unidas dos moléculas de agua o tres o cuatro como cúmulos entre ellas separándolos moléculas de aire. O tal vez toda una estructura normal pero con suficiente espacio entre las moléculas de agua entre el gas.

Esas fuerzas de unión ¿a qué se deben?, ¿qué tipo de fuerza es aquella que les permite tener mayor o menor interacción de la que me has hablado y de dónde viene ésta?

E. En el agua, digamos en el hielo, se supone que se mantiene la misma relación entre las moléculas, o sea se siguen formando puentes de hidrógeno es que esa es la principal interacción que tienen entre ellas, entonces nada más que depende de la temperatura va a ser la cinética que tengan, la fuerza que las mantiene unidas, no es una fuerza sino una es una forma de explicarlo, a veces un átomo de hidrógeno está unido

¿Entonces esos puentes de hidrógeno son como pegamento?

E. Como un pegamento pero elástico

¿De dónde viene ese pegamento?

E No sé ¿cómo que de donde viene?

Si de algún lado tiene que venir no puede aparecer de la nada

E Los átomos que forman las moléculas son los que tienen que ver, el oxígeno si está junto a otra molécula de agua, puede ceder el par de electrones a un átomo de hidrógeno de la otra molécula y a la vez este otro puede aceptar el átomo de hidrógeno de otra molécula de agua con el par que tiene ese átomo de O_2 y así se van, es una cadena, como un polímero pero no en forma lineal

¿Dices que son como cúmulos?

E. Es que no son cúmulos, esto es en estado sólido, en el que se formen cúmulos o toda una red en donde le había dichos que podían estar huecos con aire.

¿Entre los huecos de las moléculas de agua hay aire?

E Si que forman toda esa red

Y el aire de que está formada, ¿podrías ver las moléculas de los diferentes gases del aire?

E Ahí separadas no

¿Verías el aire y las moléculas de agua?

E Aire porque está todo mezclado no se puede estar el nitrógeno en una parte por lo mismo que ya habíamos dicho de la cinética de las moléculas que componen el aire no están en un solo lugar.

¿Sabes como da a cabo el cambio de estado?

E. Bueno, aumentar la cinética de las moléculas

¿Cómo la aumento?

E Dándole energía, o también cambiando la presión y tendríamos que ver muchas cosas Partiendo de que a una presión tenemos el sólido y agua, si disminuimos la presión y mantenemos la temperatura constante puede darse el caso de que el agua se empiece a evaporar

¿Tiene que haber alguna relación entre las tres variables?

E Bueno es que también si estamos aplicando una gran presión, el agua va a tender a formase lo que es el estado sólido, que normalmente se da así en la mayor parte de la Tierra pero una mayor presión hace que las moléculas cada vez se junten más y se darían los cambios de estado

¿Qué sucede en el caso de la sublimación del yodo?

E. Bueno hay un equilibrio entre el estado sólido y el estado gaseoso constante, en el cual la presión que tiene al exterior el yodo es mínima, y ese equilibrio se va a desplazar hacia el gas

¿Qué le pasaría al yodo?

E. Pues está disminuyendo la fuerza de los átomos.

Pero disminuye igual que en el caso del hielo puede pasar entonces hacia el estado líquido ¿Por qué no pasa por el estado líquido?

E. El cambio es directo probablemente, está establecido ya que es el cambio de sólido a gas, suponiendo que llegara a existir el estado líquido sería demasiado estable, esto es lo que sucede no se nota porque no es estable, por ejemplo el agua podemos ver el sólido, el líquido y el gas, pero en el agua hay varias interacciones entre las moléculas que están favoreciendo que se establezcan estos estados, los sólidos son una red, en el líquido se están los puentes de hidrógeno que también están en el sólido y es estable, se siguen manteniendo puentes de hidrógeno, en yodo yo creo que si no es en estado sólido, interacciones entre los átomos de yodo.

¿Sabes cómo quedan los yodos?

E. Quedan las moléculas de yodo que son dos átomos de yodo

Vamos a las disoluciones, se disolvía azúcar en agua, ¿explícame cómo se llevó a cabo la disolución del azúcar, en este caso?

E. Lo que pasa es que la molécula de glucosa tiene grupos OH (oxidrilo) que pueden interaccionar con las moléculas de agua formando puentes de hidrógeno, las moléculas de agua pueden interaccionar con la mayoría de los compuestos OH en su estructura

¿Al menos uno?

E. Si un grupo puede interaccionar, de ahí a que se disuelva eso es otra cosa, no por tener un grupo oxidrilo una molécula se va a dar la disolución porque también depende del tamaño de la molécula para disolver una molécula muy grande también necesito varios grupos oxidrilo para hacerla soluble, con una tal vez no me sería suficiente y aunque la tenga, interaccionará con él pero no va a hacer que toda la molécula sea soluble en agua

¿Por qué se disuelve la sal?

E. la sal se solvata.

¿Qué es eso de la solvatación?

E. Es algo que da una explicación, pues el agua llega a romper la red cristalina del cloruro de sodio y rodea tanto a los iones de sodio y esa fuerza se hace cada vez más grande que la unión entre el sodio y cloro, por eso se separan la molécula de agua separa los iones

¿Qué diferencia habría entre disolver azúcar y disolver sal en agua?

E. Disolver azúcar es como se forman un enlace con los grupos oxidrilo con el agua y la solubilidad depende de que se favorecen los puentes de hidrógeno en la molécula en cambio con cloruro de sodio la solubilidad se por ese fenómeno de solvatación, esa fuerza de que rodean las moléculas de agua a los iones de sal

¿Por qué el gis no se disuelve?

E. Por lo mismo, no se disuelve porque la solvatación no es tan fuerte como en la sal

¿Sería por solvatación o por moléculas como en el caso del azúcar?

E. Solvatación, porque lo que compone al gis. el gis es calcio

¿Decías que se iba al fondo?

E El gis es solito, dependiendo de la cantidad que se adicione en principio iba a quedar arriba por la misma densidad superficial del agua, con poco te quedaba, pero si es una gran cantidad de gis se va al fondo pero siempre quedará algo en la superficie

¿Por qué se ve la luz de colores característicos de ciertas sustancias al quemarlos?

E Porque todos estos compuestos tienen distintos metales y absorben a una determinada longitud de onda

¿Qué absorben y qué absorbe?

E El metal es el que absorbe, al absorber energía los electrones que están en un nivel pasan a otro de nivel 3 del metal, electrones d. Cada uno de los metales va a tener una distinta separación entre los niveles que tiene vacíos y los que tiene en la última capa de esa forma, unos van a necesitar una mayor energía que se va a traducir en, tener distintas diferencias en estos niveles energéticos van a absorber a distintas longitudes de onda, van a necesitar distinta energía para dar ese salto a la última sobre todo lo que pasa a los electrones en la última capa. Los electrones internos no pueden ser, tienen que ser de los electrones de las últimas capas, pero dentro de los externos hay distintos niveles.

¿Por qué un color determinado? ¿Pueden emitir en cualquier color?

E Es que primero existe esa absorción de energía y ya después al excitarse ese electrón regresa a su estado basal emite esa frecuencia, onda

¿No puede emitir en otra?

E. No, podría emitir en demasiadas depende de la energía que se le haga llegar

¿Cualquier elemento puede emitir en cualquier frecuencia?

E No a una frecuencia determinada, es que si se llega a aplicar demasiada energía podríamos excitar a los electrones que están un poco más abajo que los externos, podemos llegar a deshacer al átomo, puede llegar a hacerse, entonces podemos hacer que los electrones salten hasta donde uno quiera si se le da la suficiente energía. En un caso normal, en los fuegos pirotécnicos, las transiciones son más sencillas.

¿Cómo es que tiene colores característicos cada elemento?

E. Bueno es que las transiciones que ya he mencionado son para los elementos.

¿No se pueden tener otras transiciones? ¿Decías que si le das suficiente energía podías hacer que los electrones que están más abajo puedan excitarse y subir de nivel?

E Si ya cambia todo, es que es muy difícil que un electrón que está en niveles bajos lleguen, teniendo orbitales d, como el del estroncio, cobre y todos ellos, primero tienen que ocuparse todos los d para que llegue a pasar todo eso.

¿Te acuerdas de los dibujos de los átomos con qué modelo te identificas más?

E Entre el 8 y el 5, porque en realidad votaría por el 8, ya que en los otros dibujos se representa como si los átomos tuvieran carreteras y cosas así, un camino que seguir para los electrones, y ellos están dibujando trayectorias.

¿Tú no quieres que haya trayectorias?

E. Este lo tomamos en un momento, digamos que si esta fuera la fotografía de un átomo en un momento lo veríamos así, tendría que ser una fotografía muy rápida que se abra y cierre.

¿Una fotografía imaginaria?

E. Yo digo que este es.

¿Sin límites?

E Ahí tiene un límite que es la presencia de los electrones.

Luzelene

¿Qué sucede en un recipiente que tiene aire y está conectado a un globo?, ¿qué sucede al globo si el recipiente se calienta?

E. se infla

¿Por qué?

E. Al calentar un gas éste adquiere mayor energía cinética entonces se mueve y ocupa mayor volumen

¿Qué ocupa mayor volumen?

E. Las moléculas que lo conforma

¿Qué sucede con las moléculas?

E. Con cualquier mayor energía cinética se mueven más rápido, el número de vibraciones que hay entre ellas es mayor, entonces esto hace que se expanda el globo

Choca con las paredes del globo, ¿tendrá que ver con la presión del gas?

E. Si al aumentar el número de colisiones pues va a aumentar la presión dentro del globo que es lo que hace mueva

¿Qué hay entre las moléculas?

E. Espacio vacío.

¿Cómo te imaginas los estados sólido líquido y gaseoso?

E. Las moléculas con muy poco movimiento, y siguiendo una secuencia ordenada en el sólido

¿Por qué se mantienen unidas?

E. Siguiendo el mismo argumento que había dado para el gas la energía cinética al disminuir la temperatura, disminuye hasta que ya no se puede mover tanto, no están fijas porque si se pueden mover ligeramente pero ese movimiento es tan ligero que no es apreciable.

¿No se nota?

E. Además nos decían que a menor temperatura las moléculas tienden a ordenarse que es lo de la entropía, disminuye.

¿Qué es lo que hace que se mantengan juntas?

E. Yo supongo que no es tanto que se mantengan unidas sino que las distancias entre ellas, al estar en un cierto arreglo, al no moverse tanto, pues se mantienen unidas

¿Por qué no están separadas, o bien qué es lo que las hace mantenerse a esa distancia?

E. No sé, no me lo había preguntado

Pasemos al estado líquido

E. Ahora como ya empieza a adquirir mayor movimiento los líquidos tienden a adoptar la forma del recipiente entonces, como se están moviendo, esto es lo que denota el estado

¿En este caso qué es lo que hace que tenga esas características?, ¿qué es lo que las hace mantener esa forma?

E. Que su distancia no es tan grande

¿Qué hace que esa distancia no sea tan grande?

E. No sé.

Si te asomaras a la molécula del agua ¿cómo dirías que está formada la molécula de agua?

E Entre las moléculas de agua hay interacciones con otras moléculas de agua mediante los puentes de hidrógeno, podría ser que eso sea lo que las mantiene unidas, porque un puente de hidrógeno no es tan fuerte, sin embargo, al haber tantos dan fortaleza a la estructura del agua

¿Que es entonces un puente de hidrógeno?

E Bueno se establece entre un protón, un hidrógeno que está soportando en un átomo electronegativo y otro átomo electronegativo

Y entonces si tu te asomas a una sola molécula, ¿cómo estaría esta la molécula de agua?

E. Oxígeno unido covalentemente a hidrógeno

¿Qué hay entre los átomos?, ¿cómo te imaginas que estarían los átomos en la molécula?

E. Pues estaría la molécula el enlace y la otra molécula

Dentro de la molécula ¿qué hay?

E Serían los átomos, un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno

Entre los átomos ¿qué hay?

E Nada

Me hablabas de algo electronegativo

E Así, es aquel elemento que atrae densidad electrónica

¿Qué causa densidad electrónica?

E. Es una propiedad intrínseca del átomo, se supone que al estar en un medio si se tienen dos diferentes átomos, hay una mayor densidad electrónica que en el otro, sin embargo, se ha clasificado, es un modelo, entonces se ha dicho que algunos átomos tienen la capacidad de atraer densidad hacia ellos y a eso se le atribuido lo de electronegatividad

¿Tendrá que ver algo la estructura interna del átomo?

E Pues me supongo porque no todos los átomos tienen la capacidad de atraer la densidad electrónica, entonces tiene que se algo que está dentro de ellos o sea esa fuerza

¿Te imaginas qué será?

E No

Vamos al gas

E Las moléculas están vibrando fuertemente y esto hace que aumente las distancias entre las moléculas, el gas tienda a expandirse

¿Hay alguna forma de unión de las moléculas del gas o no?

E Bueno se supone que dentro de una molécula de oxígeno o nitrógeno, están dos átomos de oxígeno o nitrógeno Pero no hay por así decirlo relación entre una molécula y otra de un gas también se pueden mover libremente y quedan separadas

¿Qué sucede a nivel molecular para pasar de sólido a líquido y al gas?

E Se supone que aumentamos la energía, entonces el movimiento de las moléculas aumenta y es así como las conformaciones cambian y ya pasamos de un estado a otro De líquido a gas estamos rompiendo puentes de hidrógeno para pasar al gas

¿Por qué se sublima el yodo?

E No sé, del yodo pero se supone que hay sustancias que el paso de un gas a un líquido, se supone que no es muy estable el estado al que se llega y entonces pasa directamente al siguiente.

¿Si pasa entonces por el estado líquido?

E Es que no se ve cuando sublima vemos directo el paso de gas a sólido, como no se ve asumimos que no

¿Pero si pasa?

E. Es que no sé.

Vamos a las disoluciones, tenemos una disolución de azúcar, ¿explícame qué sucede con la disolución de azúcar si lo viera molecularmente?

E La estructura de la glucosa tiene varios hidroxilos, que pueden formar puentes de hidrógeno con el agua y hace que se solubilice

¿Entonces qué es la solubilidad?

E Es la interacción entre un sólido y un líquido que provoca, la solubilidad se atribuye con moléculas semejantes si son semejantes, lo polar disuelve a lo polar y lo no polar disuelve a lo no polar, se supone cuando son medios iguales, yo creo que se pueden distribuir entre ellos y ahí hace que se solubilizan. Por ejemplo en el agua, es un medio polar y el azúcar tiene muchos hidroxilos que la hacen una molécula polar, como es polar en el agua se puede disolver.

Pero bueno, eso no te explica, ¿qué es polar y qué es no polar?

E Una molécula polar es aquella que tiene como unas, está compuesta por cargas, de un lado de la molécula tiene un $\delta+$ y del otro un $\delta-$ entonces eso es lo que confiere que una molécula sea polar o no polar. Si la molécula es totalmente semejante de todos lados se dice que es no polar.

Por ejemplo, el agua es polar entonces está separada en cargas distribuidas, Necesita a una molécula no polar pero puede disolver a las polares, entonces el azúcar es polar ¿La molécula de azúcar es semejante a la del agua?

E En estructura no difiere muchísimos pero tiene sitios que son también, tienen polaridades, átomos electronegativos que hacen que se asemeje al agua

¿Estas partes similares a qué se deben en el átomo?

E En la glucosa a los grupos hidroxilos que tiene la glucosa y que es parte de la molécula de agua podríamos verlo de esa manera.

¿Entonces cuando se disuelve la glucosa en el agua, un pedazo de la molécula de glucosa o es la molécula completa la que queda insertada junto con las de agua?

E La molécula completa de glucosa que se encuentra como rodeada e interacciona con las del agua por puentes de hidrógeno

¿Qué pasa con la sal, es igual?

E En la sal se supone que tenemos iones, que es así como el extremo de polaridad entonces ahí tenemos una carga formal positiva y otra negativa, esto hace que como el agua tiene dos extremos uno positivo y uno negativo, los positivos son los hidrógenos y el oxígeno es un cierto $\delta-$ entonces va a tender eso a encapsular a los iones y la parte positiva va a estar con la negativa del otro y así es como se disuelve

Por ejemplo tienes un poco de sal ¿cómo se disuelve?

E El agua la rodea comúnmente se dice que la está solvatando, el agua rodea a la sal y se supone que ya se disolvió cuando ya no es aparente la estructura sólida de la sal

¿Rompe toda la estructura?

E. La estructura cristalina

¿Es lo mismo o qué diferencias entre la disolución de la glucosa en agua y de la sal en agua?

E. La sal se disocia en iones y esos iones son los que están solvatándose por el agua

Por ejemplo cuando quiero recuperar la sal en una disolución, ¿qué pasa cuando evaporo el agua?, ¿qué pasa con la sal?

E. Bueno precipita, quitas las aguas que están rodeando los iones, entonces los iones se unen.

¿Vuelve a formarse la misma estructura?

E. Si por ser la más estable

¿Qué pasa con el gis?

E. El gis es sulfato de calcio, el gis no se disuelve en agua

¿No?

E. Si son iones, entonces ahí falla el modelo

¿Qué le estará pasando?

E. No sé, no lo había pensado, es que debería pasar lo mismo que con la sal porque tienen iones.

¿Cuándo me hablas de moléculas de agua entre ellas hay algo?

E. Debe haber un espacio vacío.

Entre los átomos habrá algo

E. Está fuertemente compacto, están fuertemente compactos no, el átomo es así están los orbitales pero es tan pequeño que esa distancia

¿Pero esta distancia de qué estará llena o no está llena?

E. No está llena

¿Qué tiene?

E. Debe ser vacío

¿Al interior de un átomo que hay entre los electrones y el núcleo?

E. Es que no hay grandes espacios, se supone que el núcleo está rodeado por muchos orbitales y estos orbitales tienen subniveles

¿Está tan compacto, que está lleno totalmente?

E. Si no habría pequeños espacios

¿Qué sucede una los fuegos pirotécnicos explotan y emiten ciertos colores dependiendo del material, por qué dan esa coloración?

E. Se supone que cada metal tiene diferente, bueno los átomos que lo conforman tienen diferentes orbitales y niveles de electrones y diferentes ordenamientos de los electrones entonces cuando estos se excitan saltan a diferentes niveles, y los cambios de energía, los cambios de un nivel a otro se reflejan en colores.

¿Cuando salta de un nivel interior a un exterior emite?

E. No cuando regresa, cuando damos energía a un electrón este salta a un nivel superior de energía y al regresar para lograr el equilibrio emite una cierta energía que esa se ve reflejada en los diferentes colores.

¿Yo puedo obtener cualquier color de cualquier elemento Por ejemplo del hidrógeno?

E. ¿Que me dé todos los colores?

Si

E. No

¿Por qué no?

E. No porque no todas las transiciones están permitidas entonces no voy a tener todas deltas de energía para que me den todos los colores

¿Por qué?

E. Porque bueno se supone que hay transiciones permitidas y no permitidas, según nuestro modelo, todo está dado por modelos. El modelo dice que hay transiciones cuánticas permitidas y transiciones no permitidas que son las cuánticas dobles y bueno no se cero o algo así, que no todos los electrones pueden saltar a diferentes niveles de energía ya sea porque lleven a niveles en donde no sea estable y por eso es que no pueden dar todos los colores

¿Qué justificación habría en el modelo por lo que no puede ser así?

E. En el modelo, tendríamos que dar muchísima energía

Supongamos que estuviéramos en las estrellas en las que se produce la suficiente energía, ahí se tiene un buen laboratorio para este tipo de experimentos, entonces, ¿podríamos observar un continuo?

E. No porque la energía está cuantizada.

¿Eso que implica?

E. Sólo cierta cantidad de energía es la que se aprovecha si se da de más no se va a aprovechar o si se da de menos tampoco

Esto tendría que ver con los elementos, ¿cada elemento tiene un número de colores en los que puede emitir?

E. Sí

¿De qué dependen estos colores?

E. De cuál sea la cantidad de energía que estemos irradiando, que pueda emitir el átomo para excitarse

Cuando se habla aquí de transmisión de electricidad, en el ejemplo del circuito, ¿qué pasa en el metal?

E. Se supone que los electrones se pueden mover a través de él

¿Cuáles electrones?

E. La corriente, o lo que llaman corriente son electrones que van pasando por el metal y el movimiento es lo que va generando la corriente, al pasar por el metal si se van moviendo

¿Por qué en el metal se pueden mover y en el plástico no?

E. Por la estructura del metal que permite que los electrones lleven un cierto movimiento

¿Es porque los metales tienen una estructura ordenada?

E. Sí, es que nunca se ha dicho, los metales nunca describen una estructura ordenada se supone que están los átomos formando el metal juntos, y por eso permiten el paso libre de los electrones pero no se que tan ordenadas estén

¿Algo debe haber qué lo hace diferente?

E Son capas, los metales son capas de átomos según yo

¿Hay polímeros muy ordenados en capas y no conducen?

E No, no sé.

¿Cuál modelo elegiste?

E El 5, se supone que el átomo es el núcleo y los orbitales alrededor de él, pero no son así separados a cierta distancia todos sino que también están orbitales de subniveles u orbitales dentro de él y no necesitan estar en un cierto orden o llevar una cierta forma, antes se decía que si que eran elípticas los orbitales pero ahora se sabe que no que todos están alrededor del núcleo y que no llevan un orden definido que no es así como antes se había dicho, lo que más se asemejaba era este. Se supone que tiene que ver con una zona de mayor densidad electrónica

Noveno Semestre

Valente

¿Qué sucede si se calienta el aire en un recipiente conectado a un globo, qué sucede con el globo?

E. Se infla, porque se calienta el aire, el aire tiende a subir y golpea las paredes.

¿Tiende a subir?

E. Bueno no tiende a subir se incrementa la energía cinética de todo, empieza a golpear y o si no igual la primera impresión está mal por lo menos debería notar algún aumento en la presión.

Aumenta la presión y ¿por ello se infla el globo?

E. Bueno no necesariamente eso fue lo primero que se me vino a la cabeza, pues sí, si tengo un globo con aire caliente, se infla el globo

¿Por qué?

E. Aumenta la energía cinética, le doy una fuerza, calor a un gas, esas moléculas van a intentar sacar porque tienen más energía lo que va a pasar es que va a aumentar la energía cinética de los gases y aumenta la presión hacia las paredes, porque está contenido en un recipiente

¿Se empujan las paredes del globo?

E. Así pensando estas preguntas todo lo estoy pensando de manera cualitativa y no estoy poniendo ninguna fórmula de por medio si me pongo a pensarlo abusadamente tendría que pensar al menos en mi fórmula de gases ideales para pensar por qué es, podría decir que el volumen aumenta si es que aumenta nRT/P si aumenta la presión pero estoy también aumentando la temperatura, está directamente relacionado con el volumen

Si lo vemos macroscópicamente, si vieras microscópicamente ¿qué les está pasando a las moléculas de los gases de los que está compuesto el aire?

E. Pues aumenta la energía cinética están de un lado a otro

¿Por qué en el segundo caso si pones bolitas con flechas que representan movimiento y en el primero no lo pusiste?

E. Bueno no recuerdo, es que no se me pedía.

Se pone a calentar un recipiente y aparecen unas burbujitas y explicas que son de CO_2 ¿por qué?

E. Bueno es aire disuelto en el agua

¿Por qué hasta que se calienta se ve el aire?

E. Porque cuando aumenta la temperatura se disuelve menos el aire, tiende a subir entonces primero se forman las burbujas, los agregados de burbujas de aire y si siguiera hirviendo.

¿Las burbujas son de aire disuelto en el agua?

E. Si, bueno ahí no especifica a qué temperatura voy a llegar no me dice nada

¿Si son las primeras burbujas de que dirías que son?

E. Aire

¿Si son después de que están en ebullición qué dirías?

E. De agua pero no pensándolo así de aire, son cosas que son de lo más simple pero que nunca nadie se ha puesto a pensar, yo nunca me he puesto a observar cuando hierve el agua si una vez

de cierto tiempo transcurrido se forman también las burbujas, a primera impresión podría decir que hay

¿Cómo te representas el estado sólido, líquido y el gaseoso del agua?

E En el hielo tenemos un arreglo ordenado de las moléculas de agua, hay un arreglo ordenado en tercera dimensión o sea podría ver como se van juntando por interacciones de dipolo todas las moléculas ordenadamente, nada más en extensiones laminares como puede ser en el agua sino en tercera dimensión y en agua el arreglo es semejante pero solamente se pueden dar en pequeños grupos y bueno hay varias teorías, pienso que hay cierto orden pero no es un arreglo cristalino en tercera dimensión estático sino que es más dinámico podría pensar que son estructuras laminares que están flotando unas sobre otras cambiando continuamente y en el gas pues tenemos las moléculas todas dispersas no son tan fuertes esas interacciones por lo que es un gas en sí están separadas las moléculas unas de otras, las interacciones ya no son tan fuertes.

¿Ese tipo de interacciones qué son?

E Básicamente son interacciones dipolares, el agua por el momento dipolar existen en el caso particular del agua puentes de hidrógeno.

¿Cómo me explicarías el puente de hidrógeno?

E. Un puente de hidrógeno tengo la parte negativa de la molécula pensándola como un O-H y tengo una carga negativa o densidad electrónica hacia el lado del oxígeno, entonces el otro protón que queda por ahí tengo una densidad o deficiencia electrónica, tengo una carga positiva cuando junto una molécula de agua esta deficiencia electrónica un $\delta+$ va a ser atraído por esta carga negativa por este $\delta-$ que hay sobre el oxígeno se va juntando el, también hablar de química al aire, necesito lápiz y papel.

(Ahora escribe)

E Esa es la interacción de puente de hidrógeno, se forma entre dos moléculas electronegativas, es tan fuerte la interacción que siente este hidrógeno por este que está enlazado y por este que es una interacción dipolo-dipolo que puede pensarse incluso como un enlace

Esta es una molécula de agua y están unidas, en el caso del agua me decías que se acomodan por bloques y ¿se están metiendo unas en otras?

E No en el hielo puedo pensar un arreglo tridimensional de estas cosas, están muy ordenadas en el agua puedo pensarlo como estructuras bidimensionales, como láminas que están unas sobre otras

Son especie de planos, ¿en realidad hay capas de estas redes?

E Si puede pensarse así, las interacciones no son las mismas, están un poco más alejados pero hay arreglos no todo es desorden como en un gas

¿Entre los oxígenos y los hidrógenos, qué hay?

E Un enlace

Si tengo dos objetos hay un espacio y en él hay aire, entre las moléculas ¿qué habrá?

E. tengo el oxígeno y el hidrógeno

¿Están pegados no queda nada entre ellos?

E. No sé, son demasiado pequeños los espacios para que haya algo, todo el tiempo están moviéndose los electrones, nosotros nos lo imaginamos como densidades electrónicas, no podemos decir donde están realmente

No, pero entre el núcleo y esas nubes electrónicas está un espacio y ¿qué tiene ese espacio?

E. No, nada que va a tener, tengo ese espacio a nivel microscópico no hay nada más pequeño que un átomo, bueno las partículas pero no puede haber nada. Puedo pensar que están todos juntos, se están moviendo en un espacio que no tiene nada.

¿Está vacío?

E. Nunca lo había pensado, en el átomo así, no no hay nada, los electrones están todo el tiempo en movimiento y no sabemos en donde están, a primera aproximación podría decir que si hay vacío pero tendría que pensar más la pregunta para que no me arrepintiera.

¿Por qué no te convence que haya vacío ni que no lo haya?

E. No sé, si pongo cualquier cristal o sal la pregunta se repite y le pongo vacío, que hay solo electrones e interacciones electrostáticas de todo pero también al pensar que hay algo me estoy yendo al tiempo de los griegos de que hay una sustancia etérea pero no me convence tampoco.

¿El tamaño de la molécula de agua en cualquiera de sus fases es la misma y con el mismo tamaño?

E. Sí, las dibujé diferentes, porque lo hice muy rápido.

¿Cómo es que se da el cambio de fase?

E. Es a nivel microscópico, hay una energía involucrada suficiente como para pensar esas fuerzas atractivas, estoy pensando en el líquido a gas, para exista eso debe existir un cambio ΔH de vaporización involucrada, solitos no pueden pasar, necesita aplicar cierta energía para el cambio. Por ejemplo si se le pone energía al agua las moléculas que tienen esa red bidimensional empieza a vibrar de manera muy intuitiva hasta que empiezan a separarse unas de otras, con un movimiento que haya diferente de una las interacciones ya no van a ser las mismas entonces se puede ir rompiendo ese arreglo que existe.

¿Esto te explicarían lo que pasa con la sublimación del yodo?

E. Sí, igual, nada más que pasa de una fase hasta la otra.

¿Por qué?

E. Porque necesito, no sé, en el agua también tengo un punto triple y paso de una condición a una presión y temperatura dadas de un estado a otro.

¿El agua se puede sublimar?

E. Sí, dadas las condiciones de presión y temperatura.

¿A qué se debe eso?

E. Mi modelo explica eso pero no sé como explicarlo, si cambio la temperatura y la presión no sé, si le pongo presión es como si estoy compactando, si pongo un polvo y hago una pastilla ahí la tengo con presión, si le quito presión puedo pensar que se están dispersando todas las moléculas y si además le aumento la temperatura quiere decir que a parte tienen energía cinética y se están moviendo para todos lados entonces si encuentro esas condiciones adecuadas puedo pasar de una a la otra sin pasar por el estado líquido o sea es lo mismo.

En el caso de las disoluciones ¿qué sucede con la disolución de azúcar en agua?

E. Pues se forman interacciones dipolo-dipolo del agua con el azúcar.

¿Es la molécula completa del azúcar o no?

E. Bueno la parte del aldehído es la que va a ser más polar, y puedo pensar que ahí existen las interacciones pero también tienen muchos O-H, bueno 5, y este bueno también ahí puede haber interacciones. Debo pensar en la glucosa así, se debe a toda la molécula porque puedo tener distintos arreglos espaciales de la glucosa entonces el O-H el oxígeno no va a estar protegido por

el hidrógeno sino que como va a estar en diferentes formas en el espacio se puede pensar que también el oxígeno del hidróxilo va a interactuar con la parte del dipolo positivo. Es que todo tengo que dibujarlo, pero la hoja no me es suficiente para todo lo que quiero, debería tener modelitos

¿No te puedo dar un modelo pero puedes dibujar todo lo que quieras en el papel?

E. Aquí va a haber fuertes interacciones con el agua, y por el arreglo puedo pensar que también pueden existir arreglos dipolo-dipolo con los O-H.

¿En el caso del cloruro de sodio es igual?

E. No ahí se separan totalmente, primero tengo el arreglo cristalino, tridimensional las moléculas de agua llegan, la parte negativa de la molécula interactúa con el catión sodio pero como está espacialmente, debido a su forma puede llegar otra por todos lados entonces solvatan, el agua tiene el tamaño suficiente para irse metiendo poco a poco en la red y llega un momento en que la interacción del agua con un solo ión es tan fuerte que se empieza a deshacer la red y lo que empieza a formar son especies iónicas solvatadas por las diferentes moléculas de agua

En el caso del gis ¿por qué no se disuelve?

E. Porque la energía de red cristalina es mucho mayor que la energía que le da solvatoado, en todo esto hay energías involucradas. Es más estable en su arreglo cristalino que en su forma de iones solvatados

¿Sería por equilibrio energético?

E. Sí

Si se quema con pólvora ciertos metales se observan ciertos colores dependiendo del elemento o el hidrógeno los distintos colores con los que pueden emitir ¿por qué son esos colores?

E. De los metales los electrones de la última capa están en orbitales d entonces de acuerdo a todas las energías de todos los electrones sumadas y restadas y después de todos los hamiltonianos que puedan representar eso queda si están en orbitales d quedan los electrones en dos subniveles, tenemos los 5 orbitales d degenerados el caso es que se pueden de acuerdo al arreglo que tengan, porque no le ponemos hierro sino sales entonces hay cosas ahí, la diferencia de energías hace que cuando le pongo una energía o sea calor, que es cuando se enciende la mecha brinque de un estado a otro y esa δ de energía cae en el espectro visible y por eso vemos colores

¿Es porque sube?

E. Bueno no es cuando baja, porque debe haber primero energía que haga subir al electrón y luego cuando regresa es cuando emite.

¿Eso explicaría lo que ocurre con el hidrógeno?

E. Sí, claro

¿Por qué son distintos los colores que se pueden observar?

E. Porque así es el hidrógeno

¿A qué corresponde cada color?

E. El color específico es que solo hay niveles energéticos permitidos y si esos niveles caen en algún color bueno así lo vemos igual si no caen en ningún color bueno en el UV y no lo vemos

¿Puedo tener entonces todos los colores entonces?

E. No, porque depende de los niveles que puede ocupar el hidrógeno, pensar que el hidrógeno va a brincar hasta un 3d esta grueso quien sabe cuanta energía debería de aplicarle y si le aplico demasiada energía mi átomo va a quedar como protón no como hidrógeno, va a quedar como

núcleo, si le doy demasiada energía le vuelo el electrón y ya no regresa y ya no puedo ver colores ya no es, lo cambio pues, lo ionizó.

¿A qué corresponde la luz que se observa?

E. A cambios de niveles de energía, en el caso del hierro nada más es el dentro de un nivel d podemos pensar que, son modelos, se desdobra por su forma por su magnetización etc y eso es lo que estoy visualizando nada más por eso es de ciertos colores nada más, por eso veo un complejo de color rojo. Si lo que estoy haciendo es dándole energía si puedo llegar a ver muchas transiciones hasta que ya no pueda ver más el electrón se lo haya botado

¿Podría tener un continuo?

E. Hay valores que no sé, el espectro del continuos y discontinuos, las líneas de Balmer y Paschen y todas esas cosas, hay valores discretos que no va a absorber, aunque le agregue toda una gama de energías no significa que las va a absorber toda esa gama sólo los valores discretos de energía. No sé si me estoy dando a entender

¿Por qué sucede eso?

E. Así se comportan y ya, con eso lo explico así es la naturaleza y ya.

En el caso de la conductividad eléctrica ¿cómo se conduce la electricidad en el metal?

E. Se supone que en el metal puedo pensarlo como núcleos rígidos que están en cierta área espacial y con las primeras órbitas bien definidas alrededor del metal, pero las capas más externas de electrones con luz, la luz es suficiente para poner a brincar un electrón de un lado al otro, o sea las nubes externas no están sobre su núcleo sino que el electrón puede pasar de un lado a otro

¿De un átomo a otro?

E. Si prácticamente, si por eso es el brillo metálico

¿Qué pasa con la corriente eléctrica cuando llega al metal?

E. Es como si agarro una canica y lo aviento a una bolita de canicas

¿Pasa por las canicas o qué sucede?

E. Pues en semiconductores se van formando huecos y el hueco va pasando de un lado a otro.

¿Qué es ese hueco?

E. Huecos electrónicos, puedo pensar lo mismo para metales, para un metal no tiene que ser semiconductor. Es una barra metálica, la corriente eléctrica son cargas que fluyen de un lado a otro

En el dibujo están los átomos con su capa de electrones cuando pasa la corriente ¿qué les sucede?

E. Bueno no se en el estado inicial, supongamos, que están todos los electrones revueltos, entonces llega uno y puede pensarse en un anión momentáneamente se formara y que este electrón externo que llegaría aquí haría que existiera cierta repulsión con los demás electrones que ya existen y este electrón pasaría al otro y este al otro y así con todos se podría ir impulsando así.

Se presentaban 8 distintos modelos atómicos seleccionaste varios ¿por qué?

E. Es que si me preguntan a mí como es un átomo me lo imagino con el centro y muchas nubes que representan los orbitales de acuerdo a los niveles de energía. Por ejemplo, las representaciones gráficas más adecuadas para las moléculas son como bolitas por eso puse el 6 como esferas de densidad electrónica, el 4 es muy útil porque podemos pensar en que aquí estaban dibujadas como los orbitalitos o sea que es en donde se ha visto que las funciones de onda que vaya esto es un modelo pero bueno las ecuaciones que han dado son adecuadas para las energías, y cuando pienso en un orbital o en un átomo siempre me dicen el orbital d entonces

todo depende para qué me pregunten cuál es el mejor. Si me pregunta cómo es un átomo yo pongo este o este si me preguntan como lo represento mejor no se es depende para qué lo quiero

¿Por qué el 1 2 y 3 no te gustan?

E. Es que no entiendo que son, son como las orbitas así pero no sé, se supone que así han ido evolucionando los modelos del átomo, este no me gusta o no lo entiendo, en cambio en este el electrón no está fijo con puntitos más bien está así como rayas como yo dibujo por eso me gustó el 5 y el 4 se puede decir que este es un p_x , p_y o p_z y también me sirve este es un s porque es la esférica

Abel

¿Qué sucede si calientas un recipiente con aire caliente que está conectado a un globo?

E. Se infla porque el aire se calienta y las moléculas del aire, su energía cinética aumenta, estaba en un estado en el que estaban con un movimiento mínimo aumenta su tamaño y va ocupando su volumen.

¿Aumenta el tamaño de las moléculas?

E. No, las moléculas son las mismas pero aumenta su energía cinética y en vez de que se muevan en un espacio de 3 mm van moviéndose con más fuerza y ocupan más lugar donde moverse y aumentan su energía cinética, por eso digo que el globo como es un polímero se estira y va aumentando su volumen.

¿Ocupa todo el espacio?

E. El espacio del globo y conforme el mismo material del globo lo permita puede llegar un momento en que revienta y viene a ocupar el lugar del espacio de la habitación en donde estamos por ejemplo.

En este caso, ¿por qué en el primer caso no dibujaste ninguna molécula, y sin embargo si sientes la necesidad de explicarlo ahora así?

E. Con las moléculas, es que no lo pensé y lo dibujé que crece el volumen del globo, yo di por entendido que al momento en que se están movimiento con mayor fuerza las moléculas se están aumenta el volumen del globo, o sea que se infle.

¿Si no te pido que dibujes las moléculas no lo hubieras hecho en ningún caso?

E. Es que te digo lo daba por entendido

¿Entre las molécula de los distintos gases del aire qué hay?

E. Nitrógeno, oxígeno

¿Entre ellas?

E. En los espacios intermoleculares ¿dices tú?

¿Qué hay en esos espacios?

E. En realidad nada, hay vacío, simplemente como la molécula se mueve tanto no podemos decir que esté, en promedio está en un solo punto, pero no podemos decir que esté en un segundo lo ves en un lugar y en otro ya está en otro, pero hay otra molécula que ya ocupó ese lugar

¿Siempre están llenos los lugares?

E. En promedio

¿Si sacáramos una instantánea?

E. Diríamos que no hay nada en esos espacios, diríamos que está vacío

¿En el segundo problema, de qué son las primeras burbujas que se forman cuando empieza a calentarse agua en un recipiente?

E. Es vapor de agua, se supone que el calor pasa de abajo hacia arriba, entonces lo que se calienta primero es el agua que está abajo y se va haciendo vapor y como es más ligero ya busca la manera de salir.

¿Por qué se hace más ligera?

E. Pues pasa lo mismo que con el aire, el aire es más ligero, la gravedad ya no la atrae tanto hacia la tierra, pasa lo mismo con el agua, en estado líquido tiene cierto peso y cuando está en vapor su peso disminuye lo mismo pasa que sus moléculas se empiezan a excitar y empiezan a subir.

Si la gravedad no actúa tanto sobre el aire, ¿eso implicaría que no tendríamos en un momento atmósfera?

E. Bueno me refiero más bien a un sistema cerrado porque obviamente.

Imagínate la Tierra, con la atmósfera, ¿como el aire sube por qué no se va y nos quedamos sin atmósfera?

E. Bueno es un sistema bastante grande, es que creo que más bien la energía de las moléculas no es tanta, no es un sistema tan grande y tan basto entonces. No ocurre porque el aire se vaya porque no todas las zonas de la Tierra son de la misma temperatura sino que hay varias temperaturas, por ejemplo en este salón tenemos una temperatura y allá afuera tenemos otra.

¿Si aumenta en un momento más la temperatura nos podríamos quedar sin atmósfera?

E. Pues si porque dicho se está adelgazando la capa de ozono, también lo que pasa es que como se gasta esta capa entonces entran los rayos solares digamos que con más intensidad entonces ese ozono es un filtro que filtra la radiación ultravioleta del sol, y entonces nos llegan los rayos tal cual y son más peligrosos. Los gases se están concentrando en ciertas zonas específicas y hace las veces de un domo que guarda el calor en un lugar, por eso es el calentamiento pero solo en unas zonas de la tierra y no en todas, obviamente va a llegar un momento en que se va a generalizar si no tenemos cuidado con eso.

¿Puede haber zonas de muy distinta temperatura en la tierra?

E. No lo se debe haber alguna diferencia, para que existan diferentes zonas, existen zonas en las que no la calienta el sol que son los polos porque no les llega el sol, tantito por la posición y la forma de la tierra como que le hace sombra puede ser que todo estuviera parejo. Lo de las burbujas se hacen en las paredes del recipiente porque el área es un poco más fría y todavía no se puede calentar entonces el vapor que va subiendo se condensa se vuelve a formar una gota de agua y su energía cinética vuelve a disminuir. Cuando el vaso está completamente caliente pues ya sale todo, pero siempre queda una parte, digamos en la boca del vaso con el que se llegan a condensar unas gotas de agua en lo que llega al equilibrio con la temperatura fuera del vaso.

En el caso de los tres estados de la materia, bueno en el caso del agua, ¿cuáles son las características que distinguen a los tres estados?

E. Lo que pasa en el hielo, las moléculas están pegaditas no hay nada que las altere, están juntitas, tienen mínima energía cinética, cuando pasamos al estado líquido esas moléculas ya empiezan a tener energía cinética es decir se empiezan a mover obviamente esto fue porque recibió cierto tipo de energía en este caso calor, empieza a haber un poquito más de movilidad, de energía en las moléculas y se encuentran un poquito más separadas toda la las moléculas llegan a tener cierto arreglo cierto orden pero ya están moviéndose un poco y en el caso de vapor de agua ya es demasiada la energía, se le pone el mechero y se empieza a evaporar el agua entonces empiezan a moverse más entonces ya no están como te decía hace rato en un solo lugar sino que se están moviendo.

¿Qué es lo que hace que mantengan esos arreglos?

E. Yo digo que la condición que le estas imponiendo, por ejemplo en el caso del hielo si yo lo contengo en un vaso y así está el hielo, el mismo vaso va a hacer que no se mueva, y obviamente si lo tengo en un ambiente frío en donde no haya ninguna fuente de energía, en el líquido el mismo vaso que contiene el agua de hecho la forma del agua es la del recipiente que lo contiene igual que lo tuviera a una temperatura.

¿Es externo lo que hace que se mantenga en ese estado?

E. Yo creo que en el caso del hielo debe haber unas fuerzas que mantengan esa posición de las moléculas y que en parte ayuda que lo tengas en un vaso, igual en el agua, en el vapor ya no es tanto que lo mantengas en un recipiente bueno si si lo mantienes en un recipiente como el globo o un matraz. El gas tiene la forma del recipiente y existen ciertas fuerzas que en este caso están haciendo que se muevan y de tal manera que empiecen a agrandar el recipiente si es que se puede agrandar o que estén chocando continuamente con las paredes del recipiente y el mismo recipiente provoca que no se salgan.

¿Qué las mantiene unidas?

E. Las fuerzas intermoleculares entre las moléculas del agua lo puentes de hidrógeno que forman entre si.

¿Qué son esos puentes de hidrógeno?

E. Interacciones que se forman entre los electrones del oxígeno y los protones del hidrógeno, cargas opuestas se atraen entonces el oxígeno en la estructura del agua tiene un par de electrones libres digo dos pares de electrones libres, entonces ese par de electrones buscan con quien compartir sus electrones para no estar bailando solitos, entonces se encuentran un espacio en donde no hay electrones entonces van y se acomodan en ese espacio de forma que hacen que se atraiga el hidrógeno de otra molécula de agua y así se forman como cadenas como si fuera una celda de un cristal en este caso el sólido del agua se forma un sólido

¿En el sólido es un cristal y en el líquido como es?

E. Como cadenas pero no están quietas están moviéndose todas juntas

¿En el caso del gas?

E. En el gas habría pocos puentes de hidrógeno, se notaría por la movilidad de las moléculas, en algún instante estarían unidas pero llegaría otra y la empujaría y se volvería a separar y a unir con otra

¿Al interior de la molécula de agua qué hay aparte de los átomos de oxígeno e hidrógeno?

E. Los electrones que hacen que se estabilicen estas estructuras, electrones protones, neutrones

¿Hay algún espacio o están todos pegados?

E. En teoría debería haber un espacio pero no lo sé con seguridad, creo que debe haber un espacio vacío entre ellas

¿Cómo es que sucede la transición de fases?

E. Pues veríamos cambio pero más, estaría viendo las moléculas, en el hielo estaría aparentemente sin movilidad, digo aparentemente porque tienen poco pero tienen movilidad sobre todo si lo ves al microscopio si vas a ver tantito, cuando esté pasando a estado líquido la movilidad va aumentando, como si estuviéramos en una habitación todos juntos y de repente empezamos a ver que hay huecos o empezamos a sentir más calor y empezamos a sentir más calor y queremos a buscar un lugar más cómodo donde tengamos más aire o una temperatura más adecuada nos empezamos a mover, y empezamos a tener más espacio y a movernos un poco más, yo pienso que lo mismo nos pasaría aquí se empiezan a mover un poco más las moléculas entre sí y empieza a haber más movilidad y ya que empieza a estar en estado líquido empiezan a tener una movilidad mucho mayor empiezan a rebotar entre las paredes del recipiente.

¿La movilidad es en todo el sólido?

E. Solamente por donde le empieza a llegar la fuente de energía si empezamos por estos dos átomos son los que se empezaría a mover y paulatinamente empezaría a moverse por todo el cubo

¿Qué pasaría con la sublimación del yodo?

E Yo pensaría que en yodo el estado líquido es inestable para este elemento, dado su presión de vapor se compensaría para que esté en estado líquido y de inmediato se pasa al estado gaseoso, esto es que estas moléculas se empiezan a mover tan rápido que no permiten que haya ese paso intermedio, solamente del sólido se pasa al vapor y de hecho no necesitas una fuente de energía sino con tenerlo a temperatura ambiente es suficiente para que el vapor salga de los cristales

¿Podría pasarle lo mismo al agua?

E. Pudiera si le ponemos las condiciones de presión pero no sería tan apreciable porque para que tengas un sistema con cierta presión necesitas un sistema cerrado, no lo podrías ver, no estoy muy convencido de que se dé.

¿En realidad la sublimación se presenta como un aumento rápido de energía?

E. Que necesita muy poca energía para excitar todas sus moléculas

¿Su punto de ebullición es muy bajo?

E Esto se usa para revelar las placas de fotografía y se puede evaporar solo el yodo

En el caso de las disoluciones, ¿qué sucede con la disolución de azúcar y agua?

E. Precisamente por la forma de la molécula de la glucosa, tiene una parte que es afín al agua, tiene un O-H en su estructura y es afín al agua, pasa lo que decíamos hace un rato tenemos el oxígeno con el hidrógeno y tiene igual sus electroncitos ahí, puede ser que se tenga una molécula de agua con una de azúcar o puede ser que el agua pueda rodear a la molécula de azúcar

¿Cómo sucede esto?

E. Porque puede ser como en un promedio en el momento en que tienes el agua tienes cierta movilidad en las moléculas entonces puede ser que llegó una y luego otra y empujó y está ocupando ese lugar.

¿Si la empuja ya no está?

E Tienes razón sería una por una nada más que dada la, depende de cuanta agua le pongas porque el azúcar no la disuelves tan fácilmente necesitas poca azúcar y tienes bastante agua. Con que veas que el agua tenga un exceso con respecto al azúcar verás que hay moléculas de agua que no se están uniendo a las del azúcar

¿Sería una a una?

E El otro caso es el de la sal, en este caso el agua provoca una ruptura entre el sodio y el cloro de tal manera que quedan cloros con su electroncito y sodios con sin carga, los sodios tienen carga positiva no tienen un electrón, esa carga del sodio atraería una carga negativa del agua para unirse y los cloros quedan ahí

¿Se unirían un sodio y un cloro con la de agua de igual forma?

E Pudiera ser porque como el oxígeno tiene dos pares de electrones libres pudiera ocupar uno para pegarse con un sodio y el otro con el otro sodio, pero no me suena, no lo había pensado de esa manera.

¿La sal está compuesta de gran cantidad de redes de cloruro de sodio y el agua con sus moléculas?

E Yo creo que esa red de cloruro de sodio tiene 4 y 4 en una celda, estaríamos hablando de que al ponerlos en agua se están liberan 4 sodio y 4 cloros por una celda y son los que se rodean. Un cristal no tiene una celda

¿Qué hace el agua para decir que se está disolviendo en el agua?

E Está rompiendo los enlaces entre sodio y cloro y ya estando los iones disueltos ya no ves la molécula de cloruro de sodio sino solo los iones bailando en el agua.

Si evaporo el agua ¿se vuelven a juntar?

E. Sí

¿Qué tipo de enlace tiene la sal?

E. Enlace iónico es un enlace que se comparten cargas, en este caso el sodio tiene una carga positiva y el cloro una negativa y como las cargas opuestas se atraen y esa es la onda que tienen.

¿La orientación de la molécula de agua con los iones igual rodean a cada ión?

E. Si se podría decir que si lo rodean, los sodios tiene su carga, su ausencia de electrones y los oxígenos de los O-H del agua estarían unidos, pero igual en la misma proporción los protones del agua estarían unidos con los cloros pero sin necesidad de tener una solución ácida tendríamos hidrógeno con cloro tendríamos un ácido pero se está equilibrando ese ácido con la base que estamos formando con el sodio y el O-H

¿Estaría varias moléculas o una sola como en el caso del azúcar?

E. Una de agua por un ión, tienen suficiente fuerza de atracción

¿Qué sucede con el gis?

E. Porque esa ionización no se da tan fácilmente en estos casos por el tamaño del ión, el ión cloruro es un solo elemento, un solo átomo y ya al estar hablando de un ión sulfato es un poco más grande.

¿Por el tamaño entonces?

E. Como es un poco más grande el ión que se va a formar, para que sea afín a una molécula de agua no le ayudaría mucho para que hubiera interacción del ión sulfato con el protón, también interviene qué tipo de catión es el que se tiene, en este caso tenemos un ión bivalente, o sea que va a tener dos cargas positivas en teoría si el oxígeno tiene también dos pares de electrones libres debería de unirse pero yo creo que el tamaño del compuesto formado por el compuesto formado entre el calcio y O-H del agua sería de un buen tamaño para que su densidad fuera mayor a la del agua y se precipite.

¿Por qué se observan los colores característicos dependiendo del tipo de metal que se hace explotar?

E. Yo lo entiendo como que el átomo del elemento tiene varios niveles de energía lo que está pasando es que tienes en el ambiente con la misma luz del sol tienes cierta longitud de onda en esas ondas, esas ondas chocan contra esa capa del elemento y emite una luz con diferente longitud de onda

¿Choca con una longitud de onda y emite con otra distinta?

E. No la luz blanca tiene todas las longitudes de onda, me estoy equivocando, entonces choca con el elemento o el átomo y solo absorbe ciertas longitudes de onda, y esas que absorbe son las que emite y son las que corresponden a diferentes colores, si vemos la región del espectro corresponde desde 200 hasta 400 el visible, entonces todas esas longitudes de onda si apagáramos cada una veríamos que todas son de distintos colores

Si quemo el estroncio el color que veo es rojo y si quemo cobre entonces veo el verde, ¿por qué esos colores específicos?

E. Son oxidación o reducción del elemento según el tipo de reacción que vamos a hacer entonces estamos provocando que sus orbitales de alguna manera se llenen de electrones o no se llenen y eso también interfiere en las longitudes de onda que se van a emitir por eso vemos los diferentes colores.

¿Podría tener otros colores para el estroncio?

E. No creo, bueno si, si podría depende de la reacción que se tenga, en este caso lo estas quemando y lo estas haciendo reaccionar con el oxígeno y estas cambiándole su configuración

Estos colores se producen porque se produce una reacción, pero en el caso del hidrógeno en gas y a alta temperatura emite en rojo, verde, azul y violeta ¿No emite en todos los colores, pero podría ser?

E. No creo

Entonces, ¿por qué solo en esos colores?

E Por lo que te decía hace rato, de que en el momento en que estas calentando estas haciendo que tus niveles de energía pasen a otros niveles entonces llega la luz blanca con todas las longitudes de onda y absorbe

Tiene que ser con luz blanca, ¿si sólo lo estoy calentando?

E Entonces sería por el hecho de que estas variando los niveles de energía de los electrones que tiene tu átomo de hidrógeno, al momento que están en un estado basal y pasan a un nivel excitado pasan a un estado del 0 al 1 y al regresar al estado basal, pero al regresar emiten una cierta onda longitud de onda, por eso es porque se ve el color

¿Si doy más y más energía podría emitir a más y más colores?

E Si, si podría pero dependiendo también de las características del gas porque como todos los elementos si los pones a elevadas temperaturas se pueden llegar a descomponer, entonces se descompone tu elemento entonces ya no puedes ver nada, regresaría a su estado basal pero ya regresaría de otra forma, estarías viendo otro elemento diferente, a lo mejor ya un compuesto ya oxidado o simplemente carbonizado o digamos que se hubiera fundido algo del recipiente que hubieras utilizado.

¿Puede aceptar el átomo de hidrógeno cualquier cantidad de energía para emitir?

E En teoría si, podría recibir cualquier tipo y cantidad de energía pero todo debe tener un límite, si tiene más de la que puede recibir lo descompongo o una reacción de esas que ocurren en las estrellas de fisión nuclear, ya no tendría hidrógeno sino otro elemento. Con cierta cantidad de protones y neutrones y tu molécula resultante ya no tiene el mismo peso atómico, sino que ya pesa más y entonces ya no tendría las características de hidrógeno sino a lo mejor de otro compuesto con mayor número y masa atómica

¿Cómo es que se conduce la electricidad en un metal?

E La electricidad es un flujo de electrones y que hay ciertos materiales que tienen esos electrones pero que los utilizan para formar enlaces, en este caso de un metal de cobre tiene electrones libres que no está utilizando mas que unos y otros para unirse entre sí y que tiene otros que están libres y que están ahí para que haya este flujo de electrones y facilite el paso de la corriente y si pusiera un material no buen conductor ese material no tiene las condiciones

¿Cuáles son las condiciones que me permiten o no conducir la electricidad?

E EL metal tiene niveles de digamos vemos el átomo con sus órbitas y sus electrones en sus diferentes órbitas, se supone que las que están más internas son las que usa para la valencia y las externas son las que usa para unirse con las demás esos electrones que tiene en las capas más externas esos utiliza si tiene 3 solo dos y deja 1 como para que sea el mensajero que lleva los demás electrones que puedan fluir por ahí

¿Hay un electrón libre?

E Si, en todos los átomos porque esto es como una cadena de átomos y en el caso de un plástico es un polímero que está formado básicamente por hidrocarburos entonces ahí no se da esa situación

¿Están bien amarrados?

E. Si y tiene ciertos arreglos que da reacciones hidrofóbicas de manera que las cargas negativas quedan ocultas de manera que no puedan pasar la corriente y en el caso del metal es una característica que pueden conducir calor y electricidad y los otros tipos de vibraciones.

Llega el flujo de electrones y ¿cómo se conduce en esas capas?

E. Yo vería que pasa simplemente, se supone que debe haber alguna interacción porque si está pasando algún flujo durante bastante rato o un flujo bastante fuerte de electrones esto se llega a calentar, me imagino que debe haber algún tipo de fricción entre los mismos electrones o se estén atrayendo entre sí para pasarse como la bolita de un lado al otro y ya que llegue a un extremo pasarla a otro y así hasta que llegue al foco y haga reaccionar al filamento.

Es como si estuvieran chocando y ¿van pasando?

E. Si, como pasando una bolita.

¿El que entra es el que sale?

E. Si, y si entrara demasiado a lo mejor podrían entrar más o provocar alguna fricción con los electrones y provocar que se caliente el cable.

De los modelos que se presentaron escogiste el dos ¿por qué?

E. Porque es el que me explica como está formado el átomo por un núcleo que tiene.

Preguntas bloque 1-4 estados de la materia: Tercer semestre

		Cuestionario 1												
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	Total (%)	
Cuestionario 1	Continuas	3°	s/c (%)		1.09								1.09	
				1.09									1.09	
				1.09								2.17		3.26
		1 (%)												
			1.09							1.09		1.09		3.26
											1.09			1.09
		2 (%)								1.09				
												1.09		
		3 (%)									1.09			
												1.09		
												2.17	1.09	
	4 (%)									1.09				
	6 (%)		1.09		4.35				1.09	1.09	2.17	1.09		10.87
								1.09		3.26	2.17	3.26		9.78
										1.09	4.35	7.61		13.04
									1.09		4.35	8.7		15.22
	I (%)		1.09		1.09				1.09	1.09				4.35
										5.43		1.09		6.52
										1.09	1.09			2.17
	II (%)				1.09				1.09	1.09	3.26			6.52
											2.17	2.17		
										1.09			4.35	
													1.09	
III (%)											4.35			
											2.17		4.35	
											2.17		2.17	
Discretas													2.17	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 1-4 estados de la materia: Quinto semestre

		Cuestionario 2													
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	Total (%)		
Cuestionario 1	Continuas	5°	s/c (%)					1.56					1.56		
				4.69							1.56			1.56	
		1 (%)													
											1.56	1.56			3.13
		2 (%)			1.56						1.56				3.13
								1.56							1.56
		3 (%)											1.56		1.56
												4.69	3.13		7.81
		4 (%)	1.56												1.56
											1.56	1.56			3.13
		6 (%)			6.25						1.56				7.81
			1.56								3.13	1.56	1.56		7.81
		II (%)										6.25	10.94		17.19
										1.56	4.69	9.38	3.13		18.75
		III (%)	1.56		1.56							6.25			6.25
			1.56									3.13			3.13
												1.56			1.56
												1.56			4.69
															1.56

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 1-4 estados de la materia: Séptimo semestre

		Cuestionario 2												
	Sem	s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	Total (%)		
Cuestionario 1	Continuas	7°	s/c (%)						1.19			1.19		
										1.19			1.19	
		1 (%)												
			1.19										1.19	
		2 (%)			1.19						1.19		1.19	
		3 (%)				1.19				1.19				2.38
									1.19	2.38				3.57
		4 (%)						1.19						1.19
										2.38	2.38			4.76
		6 (%)	1.19							1.19				2.38
			1.19		1.19				2.38	1.19	3.57			9.52
	I (%)	1.19							1.19	1.19	1.19		5.95	
		1.19							1.19	9.52	4.76		15.48	
	II (%)	1.19					1.19		5.95	7.14	5.95		20.24	
									3.57	1.19			7.14	
	III (%)								2.38	3.57			5.95	
										1.19			1.19	
	Discretas	II (%)			1.19					1.19			2.38	
									1.19				1.19	
											1.19		1.19	
												1.19	1.19	
												1.19	1.19	
													1.19	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 1-4 estados de la materia: Noveno semestre

		Cuestionario 2													
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	Total (%)		
Cuestionario 1	Continuas	9°	s/c (%)						1.09				1.09		
										1.09	1.09		2.17		
		1 (%)													
			1.09							3.26	1.09	11.96		17.39	
			2.17	1.09										3.26	
		3 (%)													
			1.09			1.09				1.09					3.26
											1.09	2.17		3.26	
										1.09				1.09	
		4 (%)							1.09	1.09	1.09		1.09		4.35
		6 (%)				4.35				1.09	3.26	3.26	1.09		13.04
	1.09								2.17		2.17	2.17		7.61	
		1.09							1.09	4.35	4.35	6.52		17.39	
	Discretas	I (%)			1.09					4.35				5.43	
										3.26		4.35		7.61	
												2.17		2.17	
										2.17				2.17	
	III (%)		1.09									4.35		5.43	
												2.17		2.17	
										1.09			1.09		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 5-7 disoluciones: Primer semestre

		Cuestionario 2															
Cuestionario 1	Sem		s/c	1	2	3	4	5	6	I	II	III	IV	V	Tot		
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	al	
Cuestionario 1	Continuas	1°	s/c	2.67						1.33						4	
			(%)	1.33						4						5.33	
				2.67													2.67
		2	(%)								4			1.33			5.33
				1.33							1.33	1.33		1.33			5.33
											2.67						2.67
		4	(%)														
											4						4
				2.67							1.33	8	2.67		1.33		16
		5	(%)	4						1.33		2.67	1.33		1.33		10.6
			2.67						5.33	1.33	5.33		1.33			16	
										1.33						2.67	
	6	(%)	1.33							1.33						2.67	
			1.33													1.33	
			2.67													2.67	
	I	(%)	1.33									2.67				4	
			1.33									4		1.33		6.67	
											4					4	
	II	(%)									1.33					1.33	
												1.33				1.33	
															1.33		
IV	(%)	1.33													1.33		
													2.67		2.67		

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 5-7 disoluciones: Tercer semestre

		Cuestionario 2														
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Tot al (%)	
Cuestionario 1	Continuas	3°	s/c (%)											2.9	2.99	
			2 (%)		1.45					2.90						4.35
					1.45					2.90						2.9
						1.45				4.35	1.45					7.25
		3 (%)											1.45			1.45
												2.90				2.9
											1.45	1.45				2.9
			1.45						1.45	1.45	4.35	1.45				10.14
		6 (%)									1.45	1.45				2.9
			1.45													1.45
	Discretas	I (%)									4.35		5.8			10.14
											1.45	1.45				2.90
			1.45								4.35	2.9	1.45			10.14
		II (%)											5.8	1.45		7.25
			1.45										2.9	1.45	1.45	7.25
													2.9	1.45		4.35
		III (%)											1.45	1.45		2.9
													1.45	2.9		4.35
		IV (%)											1.45		1.45	2.9
															7.25	1.45

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 5-7 disoluciones: Quinto semestre

		Cuestionario 2																	
	Sem		s/c	1	2	3	4	5	6	I	II	III	IV	V	Tot				
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	al			
Cuestionario 1	Continuas	5°	s/c (%)																
			3 (%)				2.08												
														2.08					
			5 (%)	6.25							2.08	4.17						12.5	
				4.17							6.25	2.08						12.5	
				8.33								14.5							22.9
			6 (%)								2.08								2.08
											2.08								2.08
			I (%)	2.08								4.17							6.25
											2.08							2.08	
		2.08									2.08							4.17	
		II (%)										6.25						6.25	
											2.08		2.08					4.17	
											2.08	2.08						4.17	
		III (%)									2.08		2.08					4.17	
		IV (%)	2.08									2.08		6.25				10.4	
																		2	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 5-7 disoluciones: Séptimo semestre

		Cuestionario 2																
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Tot al (%)			
Cuestionario 1	Continuas	7°	s/c (%)	1.59												1.59		
				1.59													3.17	
		1 (%)																
						1.59												1.59
		4 (%)																
								1.59										1.59
		5 (%)										6.35	4.76	1.59				12.7
												3.17		1.59	1.59			6.35
			4.76							3.17		4.76	6.35					19.05
		6 (%)														1.59		1.59
											1.59	1.59					3.17	
	Discretas	I (%)		1.59														3.17
		II (%)		1.59								1.59	7.94	3.17				14.29
													3.17		1.59			4.76
													1.59					1.59
		III (%)											3.17					3.17
													1.59	1.59	3.17			6.35
		IV (%)												3.17				3.17
	4.76												3.17	4.76			12.7	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 5-7 disoluciones: Noveno semestre

		Cuestionario 2																
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	II (%)	III (%)	IV (%)	V (%)	Tot al (%)			
Cuestionario 1	9°	s/c (%)	1.45													1.45		
			1.45														5.8	
		2 (%)								1.45								2.9
												1.45						1.45
		5 (%)																
			1.45										2.9					4.35
		6 (%)																
										4.35		4.35	8.7					17.39
		I (%)																
			1.45															1.45
	II (%)																	
		2.9										2.9					2.9	
	III (%)																	
											10.14						13.04	
	IV (%)										1.45	1.45		1.45			4.35	
												7.25					7.25	
	V (%)										1.45		5.8				7.25	
	Discretas		IV (%)							1.45	1.45	1.45					4.35	
				1.45											18.84		21.74	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 8-9 emisión de luz y conductividad eléctrica: Primer semestre

		Cuestionario 2												
Cuestionario 1	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	1 (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)	
			Continuas	1°	s/c (%)	18								
1 (%)	12	2							2				16	
4 (%)	14	4											18	
5 (%)														
6 (%)	16							2						18
1 (%)	4							2						6
4 (%)	4							2						6
5 (%)										2				2
6 (%)											2			2
Discre	1°	1 (%)								2				
		V (%)	6	2									8	
		V (%)										2	4	
											2	2		

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Preguntas bloque 8-9 emisión de luz y conductividad eléctrica: Tercer semestre

		Cuestionario 2												
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	1 (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)	
Cuestionario 1	Continuas	3°	s/c (%)	2.17								2.17	4.35	
		1 (%)	13.04	6.52						4.35	2.17		26.09	
		2 (%)												
		4 (%)	2.17											2.17
		5 (%)	8.7											8.7
	Discretas	1 (%)	8.7						4.35					13.04
		I (%)	15.22	2.17					4.35		4.35	2.17	6.52	34.78
		IV (%)		2.17										2.17
		V (%)	2.17										4.35	6.52
				2.17										2.17

Preguntas bloque 8-9 emisión de luz y conductividad eléctrica: Quinto semestre

		Cuestionario 2												
	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	1 (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)	
Cuestionario 1	Continuas	5°	s/c (%)	6.25									6.25	
		1 (%)	6.25	3.13					3.13			3.13	15.63	
		4 (%)												
		5 (%)	3.13									3.13		6.25
		6 (%)	6.25											6.25
	Discretas	1 (%)	3.13	3.13								3.13		9.38
		I (%)									3.13			3.13
		IV (%)	6.25	3.13					3.13					12.5
		V (%)										3.13		3.13
										3.13		6.25		9.38

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Preguntas bloque 8-9 emisión de luz y conductividad eléctrica: Séptimo semestre

		Cuestionario 2												
Cuestionario 1	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)	
														Continuas
Cuestionario 1	7°	s/c (%)	2.38										2.38	
			2.38										2.38	
		1 (%)	7.14							2.38	2.38			11.9
			2.38											2.38
		4 (%)											2.38	2.38
			2.38						2.38					4.76
		5 (%)	7.14											7.14
	6 (%)							2.38	2.38				4.76	
	Discretas	I (%)	2.38											2.38
			14.29							4.76	2.38	4.76	4.76	30.95
		IV (%)	4.76									7.14		11.90
												2.38		2.38
		V (%)											7.14	7.14
		2.38										4.76	7.14	

Preguntas bloque 8-9 emisión de luz y conductividad eléctrica: Noveno semestre

		Cuestionario 2												
Cuestionario 1	Sem		s/c (%)	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	I (%)	IV (%)	V (%)	Total (%)	
														Continuas
Cuestionario 1	9°	s/c (%)	4.35								2.17		9.52	
			2.17										2.17	
		1 (%)	10.87										4.35	15.22
		2 (%)												
		3 (%)												
		4 (%)												
	6.52								2.17			2.17	10.87	
	5 (%)	4.35							2.17				6.52	
	6 (%)											2.17	2.17	
	Discretas	I (%)	2.17								2.17			4.35
			6.52										6.52	13.04
		IV (%)	2.17									2.17	2.17	4.35
														2.17
V (%)		2.17										8.7	10.87	
	6.52								4.35	2.17	8.7	21.74		

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Pregunta 9. Modelos atómicos

Modelos	Semestres					
	1	3	5	7	9	T
Sin contestar	0	1.9	0.9	2.8	0	5.6
1	4.6	4.6	0.9	0.9	0.9	12
2	13	5.6	0	4.6	4.6	27.8
3	0	0.9	0.9	0	0	1.9
4	0.9	4.6	7.4	4.6	6.5	24.1
5	1.9	0.9	1.9	6.5	4.6	15.7
6	0.9	0	0	0	0.9	1.9
7	0.9	0	0	0	0	0.9
8	0	2.8	0	0	0.9	3.7
1 y 2	0.9	0	0.9	0	1.9	3.7
2 y 5	0	0	0.9	0	0	0.9
1, 3 y 4	0	0	0.9	0	0	0.9
4, 5, 6 y 7	0	0	0	0	0.9	0.9

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**