



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

PROGRAMA DE POSGRADO EN PEDAGOGÍA

**REPRESENTACIONES MÚLTIPLES
DE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA EN
ESTUDIANTES DE SECUNDARIA Y BACHILLERATO**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORA EN PEDAGOGÍA

P R E S E N T A :

ALEJANDRA GARCÍA FRANCO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. FERNANDO FLORES CAMACHO



MÉXICO, D. F.

OCTUBRE, 2007



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.

Dedico este trabajo:

A mi padre, Arnaldo, porque imagino su cara si lo hubiera puesto en sus manos... por todo lo que me enseñó en su vida y mediante su muerte... por el viaje compartido... por su generosidad... por su voluntad... porque lo extraño mucho.

A mi abuelo, Ernesto, por su inmenso amor y su profunda sabiduría.

Al Chehis, por su amor y confianza. Por la apuesta que hemos hecho.

Agradecimientos:

Al Dr. Fernando Flores Camacho, por su guía paciente y respetuosa en la realización de este trabajo. Por compartir conmigo su entusiasmo por el conocimiento y por todas las oportunidades brindadas.

A la Dra. Leticia Gallegos Cázares, por el análisis crítico de este trabajo, por las discusiones que me permitieron enriquecerlo, pero sobre todo por su amable presencia y su compromiso con los proyectos que emprende.

Al Dr. Andoni Garritz Ruiz, miembro de mi comité tutorial, por su cuidadosa lectura y sus atinados comentarios, por continuar acompañándome en este proceso de formación.

A la Dra. Ana Ma. Salmerón por sus comentarios al trabajo que permitieron su enriquecimiento. Por haberme hecho recordar muchas cosas importantes.

Al Dr. Enrique Ruiz–Velasco, por la cuidadosa lectura de este trabajo.

Al Dr. Keith Taber, por haber sido un guía estupendo en la Universidad de Cambridge, por su generosa y amable presencia. Por todas las facilidades para llevar a cabo este trabajo.

A los miembros del Seminario de Investigación Educativa de la Facultad de Química, por compartir el espacio de aprendizaje.

A Cristina y Silvia del Centro Nacional de Educación Química, por su confianza y apoyo.

Al Colegio Madrid por seguir siendo un espacio de crecimiento y por las facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

Al Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico recibido para la realización de este trabajo bajo el proyecto “Representación y Cambio Conceptual en Estudiantes de Ciencias” 43918 – H.

Cuando uno termina un trabajo como éste, dan ganas de agradecer a todos los que de una u otra forma lo han permitido, alegrado, favorecido, compartido. Son muchos... menciono a algunos:

A mi mamá, Coquis, por su confianza y amor.

A mi herma, Mariana, compañera de la vida, por estar ahí siempre para mí y por dejarme estar para ella.

A mi familia: mis tíos Neto, Pedro, Martha Catalina y Pily; mis primos, Pedro, Ximena Raúl, Santiago, Héctor, Neto, Jorge y Gerardo; a mis tíos que ya no están, y a quienes recuerdo con amor, Héctor y Tile.

A las amigas y amigos de hace mucho y de hace no tanto por hacer de esta vida un espacio amable y posible: a Cynthia, Vareims, Marcela, Kuri, Juan, Ana Carolina y Valentina, por las transformaciones compartidas, por las lágrimas, las risas y las esperanzas; por la posibilidad de reflejarme en su mirada.

A los amigos con quienes comparto mi vida: mis compadres, Alberto y Begoña; a Mayra y Salmón; el Chief, el Oso, Sunshine, Fernando, Gaby, Marisa, Ofelia, Susana, Luz, y Nuria.

A Yolanda, por su cariño, por lo que compartimos y porque su trabajo hace posible el mío.

A mis compañeritos y amigos del CCADET: a Bea, Elena, Xóchitl, Maru, Manuel, Néstor, Sheila, Martha, Nayelli, Humberto, Lalo, José, Gerardo y Adny, por todas las risas y el apoyo que me han brindado durante este tiempo.

A Clara y Ricardo por los espacios que compartimos.

A mis alumnos, quienes me ayudan a seguir apasionada y comprometida con mi trabajo.

ÍNDICE

Introducción

1. Situando la investigación	1
2. Descripción del trabajo de investigación	4
3. Estructura de la tesis	5

Capítulo 1. De las concepciones alternativas a las representaciones múltiples

1.1 El camino del cambio conceptual	8
1.2 Las concepciones alternativas y el cambio conceptual	9
1.3 Las teorías <i>radicales</i> sobre el cambio conceptual	11
1.3.1 La teoría <i>clásica</i> del cambio conceptual	11
1.3.1.1 Las estrategias de enseñanza derivadas de la teoría clásica	13
1.3.2 Los modelos sintéticos	15
1.3.3 El cambio conceptual como cambio en las categorías ontológicas	17
1.3.4 El análisis histórico – filosófico y cognoscitivo	22
1.4 Los elementos comunes en las teorías radicales	24
1.5 El cambio conceptual que admite representaciones múltiples	26
1.5.1 Los perfiles conceptuales	26
1.5.2 Las trayectorias conceptuales	31
1.6 La posición de la fenomenografía	34
1.7 Algunas reflexiones finales	35

Capítulo 2: Los recursos conceptuales. Descripción de la perspectiva teórica

2.1 Una nueva noción para el cambio conceptual	37
2.2 La perspectiva de los recursos conceptuales	39
2.2.1 ¿Cuáles son los recursos conceptuales?	45
2.2.2 Los primitivos fenomenológicos como recursos conceptuales	46
2.3 La asociación de los recursos	50
2.4 Ubicando las preguntas de investigación a partir de la perspectiva teórica	52

Capítulo 3. La naturaleza corpuscular de la materia y las ideas de los estudiantes

3.1 El modelo corpuscular de la materia	55
3.2 Las concepciones de los estudiantes sobre el modelo corpuscular	57
3.3 Nuestra investigación sobre las concepciones de los estudiantes	59

Capítulo 4. Metodología

4.1 Perspectiva de la investigación	60
4.1.1 Perspectiva cualitativa en la investigación	60
4.1.2 El modelo de la 'teoría fundada' como aproximación al análisis de los datos	61
4.2 Metodología de la investigación	64
4.2.1 Población	65
4.2.1.1 Estudio piloto	65
4.2.1.2 Muestra final	65
4.2.1.3 Características de los estudiantes y acceso a la muestra	67
4.2.2 Método de recolección de datos: la entrevista	68
4.2.2.1 Las preguntas de la entrevista	69
4.2.3 Fenómenos presentados	70
4.2.4 Construcción de las categorías de análisis	73

Capítulo 5. Descripción e interpretación de los Resultados

5.1 Descripción de las categorías de análisis	76
5.1.1 <i>Mecanismos</i>	76
5.1.2 Primitivos fenomenológicos	82
5.2 Uso de los primitivos fenomenológicos y los mecanismos para construir explicaciones	89
5.2.1 Uso de mecanismos	93
5.2.2 Uso de primitivos fenomenológicos	95
5.3 Uso de mecanismos y secuencias de mecanismos por grupo de estudiantes	98
5.3.1 Secuencias de mecanismos	103
5.4 Uso de mecanismos y primitivos para describir las representaciones de los estudiantes	104
5.4.1 Peter	105
5.4.2 Aude	108
5.4.3 Martha	116
5.5 La construcción de las explicaciones	120

Capítulo 6. Conclusiones

6.1 Conclusiones de la investigación	123
6.1.1 Primitivos fenomenológicos	125
6.1.2 Mecanismos de explicación	126
6.2 Implicaciones para la educación	129
6.2.1 Las estrategias de enseñanza basadas en la perspectiva de los recursos conceptuales	130
6.2.2 Algunas orientaciones específicas para la enseñanza del tema de la estructura corpuscular de la materia	132

Referencias	137
--------------------	-----

Anexo 1	
Ejemplos de categorización	149

INTRODUCCIÓN

1. Situando la investigación

Uno de los problemas más relevantes en la investigación en enseñanza de las ciencias durante las tres últimas décadas, es el relativo a la comprensión que los estudiantes tienen sobre los conceptos científicos. A finales de la década de los setenta, comenzaron a aparecer trabajos que daban cuenta de las concepciones con las que los estudiantes llegaban a la clase de ciencias y que en general se encontraban muy alejadas de las concepciones científicas (Tiberghien y Delacôte, 1978; Viennot, 1979; Driver y Easley, 1978; Novick y Nussbaum, 1981). Muy pronto, la investigación con estudiantes de distintos contextos, países, edades y alrededor de diferentes conceptos científicos, hizo evidente que estas concepciones no son solamente *errores* de los estudiantes o interpretaciones incorrectas de los conceptos científicos, sino que más bien son construcciones racionales que permiten a los individuos adaptarse a su entorno cotidiano y actuar en él.

Desde mediados de los años ochenta se publicaron diversos trabajos que consideraban que las ideas de los estudiantes constituían “marcos alternativos” que tenían cierta coherencia y estabilidad y que permitían a los estudiantes explicar y darle sentido a diversos fenómenos naturales (McCloskey, 1983; Driver y Erickson, 1983; Vosniadou, 1994). El ‘movimiento de las concepciones alternativas’, como fue llamado de manera general (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994), se puso en el centro de la educación en ciencias y a partir de sus presupuestos teóricos, anclados en el constructivismo, se llevó a cabo un número importante de trabajos de investigación, ya fuera para indagar sobre las concepciones alternativas que los estudiantes tienen respecto a ciertos conceptos, o bien, para proponer estrategias que buscaran transformar estas concepciones por unas más cercanas a las concepciones científicas utilizando diversas

aproximaciones que se han llamado de manera general ‘cambio conceptual’, indicando que buscan un cambio *radical* en las estructuras conceptuales de los estudiantes (Taber, 2006). No es casual que por ello se note un cierto tono de decepción cuando se cita a Duit (1999), quien afirma que pese a todos los esfuerzos realizados no hay una sola investigación en la que se demuestre que es posible *erradicar* las concepciones alternativas y que en el mejor de los casos, las estrategias de enseñanza diseñadas explícitamente para el cambio conceptual, logran que las concepciones más cercanas a la ciencia escolar *coexistan* con las concepciones alternativas.

La evidencia empírica sobre la imposibilidad de erradicar las concepciones alternativas de los estudiantes, la notable influencia del contexto, la inconsistencia e inestabilidad de sus ideas y, probablemente también, la relevancia de las aproximaciones epistemológicas de los estudiantes en la construcción de sus concepciones científicas han obligado a los investigadores en el campo del desarrollo conceptual a *construir* modelos distintos al de las concepciones alternativas que puedan dar cuenta de esta complejidad.

La idea de las representaciones múltiples que pueden construirse alrededor de un mismo concepto no es nueva en el campo y trabajos como el de Mortimer (1995) quien toma la idea de ‘perfiles epistemológicos’ de Bachelard (1968), o bien las concepciones múltiples propuestas por Taber (2001); los modelos múltiples propuestos por Clement y Steinberg (2002); así como las trayectorias conceptuales propuestas por Scott (1992) y Petri y Niederer (1998) son ejemplos que permiten hablar de una transformación en la conceptualización del *cambio conceptual* como un proceso en el que las concepciones científicas no *sustituyen* a las concepciones cotidianas y en el que la transformación no es necesariamente radical, sino mucho más ligada al contexto y la experiencia de los sujetos.

Por otro lado, ya desde mediados de los ochenta, se escuchaban planteamientos que alertaban sobre los riesgos implicados en la consideración de las ideas de los estudiantes como entidades unitarias y estables que requerían una transformación y eventualmente una sustitución (Solomon, 1983; Viennot, 1985; Smith, diSessa y Roschelle, 1993). Dichos planteamientos han sido desarrollados y recogidos en lo que representa una perspectiva diferente a la que se denomina 'recursos conceptuales' y cuya tesis central es que los sujetos cuentan con una serie de recursos de distinta naturaleza que se activan y configuran de maneras diversas en situaciones específicas dando lugar a las representaciones expresadas por los estudiantes (Hammer, 2004; Hammer, Elby, Scherr y Redish, 2005). Desde esta perspectiva, el *cambio conceptual* o dicho de otra forma, el aprendizaje, no requiere procesos de sustitución de unas representaciones por otras, sino más bien, requiere que las relaciones entre estos recursos se transformen y que se añadan recursos nuevos generando conceptualizaciones más complejas.

El aspecto que se refiere al *proceso de construcción* de dichas representaciones ha sido mucho menos abordado en los trabajos de investigación. Es en la última década cuando se comienza a darle mayor importancia no sólo a *qué* es lo que se construye sino también a *cómo* es que se construye (Chiu, Kessel, Moschkovich y Muñoz-Nuñez, 2001). Dos ejemplos importantes que dan cuenta de *procesos* de construcción conceptual son las clases coordinadas propuestas por diSessa (1993) y sus colaboradores (diSessa y Sherin, 1998; diSessa y Wagner, 2006) y la constitución de espacios de variación propuesta por Marton (1981, 1986) y sus colaboradores (Marton y Pang, 1999; Marton y Booth, 1997) en el ámbito de la fenomenografía.

Es en este último aspecto en el que he centrado mi atención en este trabajo de investigación, buscando encontrar los elementos mediante los que los estudiantes de nivel secundaria y bachillerato *construyen* explicaciones para ciertos fenómenos relacionados con la estructura de la materia y que, desde el punto de vista escolar, podrían explicarse utilizando el modelo cinético-molecular.

La estructura de la materia ha sido un tema ampliamente investigado en cuanto a las concepciones alternativas que tienen los estudiantes (Flores et al, 2002; Duit, 2007) y éstas han sido analizadas utilizando diferentes perspectivas (Andersson, 1990; Renstrom, Andersson y Marton, 1990; Johnson, 1998; Gallegos, 2002; Gómez Crespo, 2005). Algunas de estas investigaciones tienen como objetivo explícito indagar sobre la consistencia en el uso de estas concepciones o representaciones (Pozo y Gómez Crespo, 2005; Engel Clough y Driver, 1984). Sin embargo, no hay muchas investigaciones que den cuenta de *cómo* se construyen estas concepciones, que indaguen *por qué* los estudiantes utilizan una concepción o representación específica en una situación determinada y que traten de *determinar* cuáles son los recursos mediante los cuales los estudiantes construyen las representaciones que utilizan para explicar los fenómenos.

2. Descripción del trabajo de investigación

Este trabajo tiene como objetivo principal hacer un análisis detallado de las explicaciones que los estudiantes construyen para ciertos fenómenos relacionados con la estructura de la materia, con el fin de proponer y describir algunos de los elementos que son considerados al construir explicaciones.

Para llevarlo a cabo se hizo un análisis interpretativo de entrevistas semi-estructuradas con estudiantes de entre 12 y 18 años, en las que se les solicitaba explicar diversos fenómenos relacionados con la estructura de la materia que les eran presentados durante la entrevista. Las investigaciones anteriores respecto a este tema, nos permiten considerar una base sólida de evidencia empírica respecto a las concepciones más comunes de los estudiantes, de forma que se tomaron como una orientación para elegir los fenómenos presentados y elaborar las preguntas de las entrevistas.

El análisis se hizo siguiendo el modelo heurístico de la ‘teoría fundada’¹ (Glaser y Strauss, 1999; Strauss y Corbin, 1998), llevando a cabo un proceso en el que la recolección y análisis de datos se hace de forma lo más simultánea posible, lo cual permite generar categorías y validarlas al aplicarlas en un proceso iterativo de análisis a distintas porciones de los datos. Dicho proceso de análisis se encuentra orientado también por la revisión de la literatura en el campo y por los presupuestos teóricos respecto a los *procesos* que los sujetos llevan a cabo en la construcción de explicaciones.

A partir de este proceso de análisis se proponen algunos *mecanismos funcionales* y *primitivos fenomenológicos* (diSessa, 1993), utilizados por los estudiantes en la construcción de explicaciones. Encontramos también las relaciones entre mecanismos y primitivos y cómo éstos se modifican en función del contexto.

La proposición y descripción de estos elementos permite avanzar en nuestra comprensión de los procesos mediante los que los sujetos construyen explicaciones que les permiten darle sentido a los fenómenos físicos que les son presentados. Si bien, el interés último podría estar centrado en indagar aspectos sobre la dinámica de construcción, se requieren investigaciones como ésta, de naturaleza más descriptiva, que busquen mostrar cuáles son los elementos conceptuales y sus relaciones para después proponer aspectos relacionados con la dinámica del proceso de construcción.

3. Estructura de la tesis

Esta breve sección introductoria ha pretendido situar a la investigación dentro del campo de la educación en ciencias, en lo siguiente se hace una breve descripción de la estructura de la tesis y los contenidos generales.

¹ El término original es *grounded theory*, la implicación es que la teoría está fundada (grounded), en los datos que se obtienen de la investigación.

En el capítulo 1 se presenta una revisión que pretende dar cuenta de las diferentes posiciones que se encuentran en la investigación con relación al cambio conceptual. Se hace énfasis en la transformación que se ha dado respecto a las posturas que sostenían que el cambio conceptual se trataba de un reemplazo de unas concepciones por otras hacia posiciones que consideran que existen múltiples concepciones que pueden coexistir en los individuos.

En el capítulo 2 se presenta la perspectiva teórica que da sustento al presente trabajo, y en él se recogen distintas posturas que sostienen que las concepciones de los estudiantes no son entidades unitarias ni estables, sino que más bien, son construcciones emergentes que tienen estrecha relación con el contexto en el que se construyen.

En el capítulo 3 se hace un breve recuento de la importancia del tema de la naturaleza corpuscular de la materia en la comprensión de muchos fenómenos científicos y de las investigaciones que se han llevado a cabo sobre este tema.

En el capítulo 4 se aborda la metodología que se siguió en la investigación, describiendo y justificando la perspectiva de “teoría fundada” que fue elegida para el análisis de los datos. Se describen también en ese capítulo los distintos aspectos de la investigación relacionados con la recolección de datos y el proceso de análisis.

En el capítulo 5 se presentan los resultados del análisis de los datos y la interpretación que se hace de los mismos.

Finalmente, a manera de conclusión en el capítulo 6, se da cuenta de la forma en la que esta investigación puede contribuir a comprender los recursos conceptuales de los estudiantes, los procesos de aprendizaje de los conceptos científicos y se proponen algunas formas en las que estos resultados podrían considerarse para mejorar la enseñanza de las ciencias en el nivel educativo de secundaria y bachillerato.

CAPÍTULO 1

DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS A LAS REPRESENTACIONES MÚLTIPLES

1.1 El camino del cambio conceptual

Después de tres décadas de investigación en enseñanza de las ciencias, es claro que los estudiantes llegan a la educación formal con un conocimiento previo, construido a través de su interacción con el mundo o en los cursos escolares anteriores y que, aunque en muchas ocasiones se encuentra alejado del conocimiento científico, les permite interactuar y actuar en el mundo. Desde muchas perspectivas y a partir de distintos marcos de investigación, como la psicología cognitiva, la pedagogía y la enseñanza de las ciencias, se afirma que el conocimiento que los estudiantes tienen previo a la enseñanza, es un factor determinante para el aprendizaje.

Como consecuencia de este reconocimiento, en la enseñanza de las ciencias, y en la psicología cognitiva se han propuesto diversas teorías para tratar de explicar cómo es posible transitar desde concepciones construidas en la experiencia cotidiana hacia concepciones cercanas a las científicas. En términos generales, estas investigaciones se han enmarcado en un esquema común denominado *cambio conceptual*. Debido a que la investigación en torno al cambio conceptual ha sido fundamental para mejorar nuestra comprensión respecto a la forma en la que los estudiantes aprenden ciencias, es pertinente hacer una revisión de las diversas formas en las que se conceptualiza el *cambio conceptual*, que nos permita situarnos en la perspectiva teórica de la investigación realizada.

1.2 Las concepciones alternativas y el cambio conceptual

Comenzando con el trabajo de Piaget en 1920 y hasta la actualidad (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994; Pozo y Gómez Crespo, 1998), se ha hecho un enorme esfuerzo por tratar de comprender la forma en la que los estudiantes comprenden el mundo natural y, de manera complementaria, lo que los maestros necesitan hacer para facilitar esta comprensión.

Durante las tres últimas décadas, una cantidad considerable de la investigación educativa en el campo de la enseñanza de las ciencias, ha tratado de encontrar cuáles son las ideas que los estudiantes tienen acerca de los conceptos científicos. La mayor parte de esta investigación se ha centrado en aquellas concepciones que son diferentes a las aceptadas científicamente, de ahí que, usualmente, se les denomine "*concepciones alternativas*" (Petri y Niedderer, 1998). En general, este término apunta a una concepción estudiantil alterna al conocimiento científico, que pudo construirse antes del estudio formal del concepto o bien, a raíz de la participación del estudiante en un curso de ciencia, al haber asimilado errónea o incompletamente algún concepto.

Existe un gran número de estudios empíricos que proporcionan evidencia de que las concepciones de los estudiantes, en muchos campos del curriculum científico, son sustancialmente diferentes a las concepciones científicas aceptadas (Duit, 2007). Así mismo, se ha encontrado que estas concepciones son compartidas por estudiantes de diversas edades, habilidades, sexo y diferencias culturales y se ha hecho evidente que estas concepciones son estables y resistentes al cambio, de hecho, sobreviven incluso a los cursos universitarios e incluso a las estrategias de enseñanza explícitamente diseñadas para modificarlas (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994).

Gran parte de la investigación realizada desde finales de los años setenta, hasta mediados de los noventa, se centró en la descripción de las concepciones de los estudiantes acerca de conceptos científicos aislados, tales como combustión, fotosíntesis, fuerza, evolución, reacción química, estructura de la materia y energía, entre otros (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994). Desde la mitad de los años ochenta, las investigaciones sobre las concepciones de la naturaleza de la ciencia y del aprendizaje (*meta concepciones*) comenzaron a recibir también atención considerable (Duit, 1999)

Si bien, en los primeros estudios realizados había cierta tendencia de los investigadores a considerar que estas concepciones eran equivocaciones de los estudiantes (*misconceptions*, errores conceptuales), producto de un aprendizaje deficiente, al encontrar su persistencia y su ocurrencia en situaciones tan diversas, fue claro que estas concepciones alternativas son construcciones personales y racionales de los individuos que les permiten hacer inteligible el mundo que les rodea así como actuar en él.

La base de datos de Duit (2007), que enlista todos los trabajos de investigación relacionados con las concepciones alternativas cita aproximadamente 7000 trabajos en su última edición. Ya en 1995, Driver y Scott advertían que ya no era necesario realizar estudios descriptivos acerca de las concepciones de los estudiantes, sino que más bien se debía ampliar el espectro de las investigaciones cubriendo otros factores, como su origen o su transformación. Así, desde mediados de la década de los noventa hubo un aumento notable en los estudios cuyo objetivo es analizar la transformación de estas concepciones, o bien, diseñar aproximaciones de enseñanza que tiendan a modificarlas, la mayor parte de ellos enmarcados en una aproximación que, de manera general, se ha llamado cambio conceptual. La gran mayoría de la investigación en este campo se ha realizado desde una perspectiva constructivista, desde la cual, de forma general, se concibe a cada sujeto como constructor activo de su conocimiento, reconociendo así, que el proceso de conocer es activo, individual y personal y que se basa en el conocimiento previamente construido.

El término cambio conceptual ha sido utilizado con diferentes significados en la enseñanza de la ciencia y la investigación acerca del aprendizaje; desde la perspectiva constructivista, este término se entiende como sinónimo de aprendizaje. En la gran mayoría de estos enfoques sobre la enseñanza y el aprendizaje, el cambio conceptual se entiende como una reestructuración mayor del conocimiento existente, que representa un aprendizaje más profundo y difícil de lograr (diSessa y Sherin, 1998).

1.3 Las teorías *radicales* sobre el cambio conceptual

Dentro de las distintas aproximaciones al cambio conceptual, existen algunas que lo consideran como un proceso revolucionario, en el que las concepciones que los estudiantes tienen antes de la instrucción, son reemplazadas por otras, más cercanas al conocimiento científico o a los modelos de ciencia escolar que se pretende que aprendan (Kind y Taber, 2005). Las teorías que se revisarán a continuación comparten algunos elementos, sin embargo, también presentan diferencias en cuanto a la forma en la que consideran el conocimiento inicial y su posible transformación.

1.3.1 La teoría *clásica* del cambio conceptual

La teoría más reconocida sobre el cambio conceptual surgió a principios de los años ochenta, en la universidad de Cornell, con Posner, Strike, Hewson y Hertzog (1982). Esta teoría se ha aplicado de manera muy extensa, tanto en la enseñanza de las ciencias como en otros dominios, y como consecuencia de ello, se ha modificado (v. g. Strike y Posner, 1985; Hewson, Beeth y Thorley, 1998). Esta teoría considera el aprendizaje como una tarea racional, mediante la cual los individuos construyen concepciones que les permiten comprender y explicar el mundo de manera más eficiente. Este cambio ocurre dentro de la ecología conceptual del individuo que puede considerarse como la cosmovisión que éste sostiene del mundo y que incluye no sólo sus concepciones sino también sus creencias y compromisos ontológicos y epistemológicos (Flores y Gallegos, en prensa).

La teoría propuesta por Posner y sus colaboradores, se fundamenta, por un lado en los supuestos epistemológicos de historiadores y filósofos de la ciencia, como Kuhn (1970), Lakatos (1970) y Toulmin (1972) y por otro lado, tiene un componente psicológico, basado en la noción piagetiana de acomodación, para explicar la forma en la que las nuevas concepciones son incorporadas en la estructura conceptual de los individuos.

Para que el cambio conceptual pueda llevarse a cabo existe una serie de condiciones que deben cumplirse y que guardan mucha similitud con las condiciones propuestas por Kuhn para llegar a un periodo de revolución científica (Kuhn, 1970):

- Insatisfacción con las concepciones existentes.
- Existe una nueva concepción que resulta inteligible.
- Esta nueva concepción es inicialmente plausible.
- La nueva concepción sugiere la posibilidad de un programa de investigación fructífero, o bien puede ser aplicada con éxito en diferentes dominios.

Centrales para esta teoría son las nociones de *ecología conceptual* y *nichos ecológicos* (Strike y Posner, 1985, p.217). Estas nociones se utilizan para describir e interpretar la interrelación que existe entre los conceptos dentro de la estructura cognitiva de cada individuo. La ecología conceptual comprende los compromisos epistemológicos de quien aprende, su experiencia pasada, ejemplos e imágenes, analogías y metáforas, anomalías, así como creencias metafísicas. Es por medio de ella que el sujeto, determina racionalmente, si las nuevas concepciones son inteligibles, plausibles y fructíferas.

La idea de la ecología conceptual es fundamental porque determina que los cambios en los conceptos no suceden de manera aislada sino que afectan una red de conceptos. Para elevar el estatus de una concepción (*nicho ecológico*), el

estatus de otras debe disminuir, de esta forma, más que *borrar* una concepción, se intenta disminuir su estatus frente a otras. Si bien, la teoría inicial fue duramente criticada por hacer demasiado énfasis en el aspecto racional del aprendizaje (Pintrich, 1993), en las revisiones posteriores, y sobre todo en la noción de *ecología conceptual*, se admite que cualquier cambio en un concepto ocurre enmarcado en otra serie de factores no directamente relacionados con el concepto (creencias metafísicas, compromisos epistemológicos, etc.)

“... muchas concepciones son tan complejas que un cambio particular en un momento determinado puede **acomodar** ciertos aspectos de la concepción pero no todos (...) que la acomodación sea un cambio radical, no implica que sea abrupto”

(Strike y Posner, 1985, p. 221)

1.3.1.1 Las estrategias de enseñanza derivadas de la teoría clásica

En uno de sus primeros artículos sobre este modelo de cambio conceptual, Strike y Posner advierten que:

“... estas ideas pueden tener muchas implicaciones pedagógicas, no es nuestra intención diseñar una teoría pedagógica, sino, sobre todo, bosquejar las características generales de un punto de vista acerca de cómo pensar el aprendizaje...”

(Strike y Posner, 1985, p. 221)

A partir de algunas interpretaciones de esta teoría, se generó el modelo más utilizado para el diseño de estrategias de aprendizaje, que pone en el centro el “conflicto cognitivo”, atendiendo que la primera de las condiciones necesarias para que el cambio conceptual ocurra es la insatisfacción con las condiciones actuales. De acuerdo con este modelo se espera que si una concepción resulta conflictiva, o

insuficiente para resolver un problema o explicar un fenómeno, el estudiante tratará de buscar una concepción nueva que tenga más sentido y permita explicar un número más amplio de fenómenos. De hecho, la gran mayoría de las aproximaciones de enseñanza que se basan en este supuesto, comienzan por hacer evidente (de diversas maneras) el conflicto entre las concepciones de los estudiantes y los problemas por resolver. La demostración de que las nuevas concepciones son plausibles y fructíferas, no es considerada de manera tan clara en muchas de las estrategias (Petri y Niedderer, 1998).

Si bien, existen algunas investigaciones (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994) que sostienen que las estrategias que se basan en el conflicto cognitivo han resultado exitosas, o al menos más que las estrategias *tradicionales* de enseñanza, otros investigadores como Duit (1999), aseguran que no hay un solo reporte de investigación en el que una concepción alternativa haya sido reemplazada por una concepción científicamente aceptada a partir de una estrategia de enseñanza.

Una de las razones por las que se argumenta que estas estrategias no son exitosas es que para los estudiantes el conflicto cognitivo no es evidente, aún cuando, desde el punto de vista científico o del maestro, éste lo sea. Desde el punto de vista epistemológico, esta teoría apoya la hipótesis del *estudiante como científico*, sin embargo, los estudiantes tienen formas de pensar muy distintas de aquellas que se utilizan en la ciencia, por lo que no puede pensarse que un estudiante resolverá sus conflictos de la misma forma en la que los científicos lo han hecho a lo largo de la historia (Caravita y Halldén, 1994).

De acuerdo con Vosniadou (1999), existe suficiente evidencia empírica que demuestra que aún cuando los estudiantes perciban el conflicto cognitivo, esto no siempre implica que se lleve a cabo un cambio conceptual. Más bien, los estudiantes conservan sus concepciones alternativas, porque son las que les permiten relacionarse con el mundo que les rodea, y cuando son exitosos en la escuela, muchas veces es porque han aprendido el lenguaje de la ciencia y de

hecho aplican las concepciones científicamente aceptadas para resolver ciertos problemas, sin que ello implique, de ninguna manera, que las concepciones científicas han reemplazado a sus concepciones cotidianas.

1.3.2 Los modelos sintéticos

De acuerdo con Stella Vosniadou (1994), los conceptos se encuentran contenidos dentro de estructuras teóricas más amplias que son las que determinan el proceso de adquisición de conocimiento. Basándose en estudios de adquisición de conocimiento en niños, Vosniadou argumenta que todos los seres humanos tienen una *teoría intuitiva de la física*, que funciona como marco de referencia y que al estar formada por una serie de presupuestos epistemológicos y ontológicos determina el conocimiento que se adquiere.

“... los niños comienzan el proceso de adquisición de conocimiento al organizar sus experiencias sensoriales bajo la influencia de la cultura cotidiana y del lenguaje en pequeños marcos coherentes explicativos, distintos de la ciencia aceptada”

(Vosniadou, 2003, p. 61)

De acuerdo con esta perspectiva, las presuposiciones que forman las teorías representan sistemas coherentes de explicación, en general, basados en la experiencia cotidiana y que han resultado funcionales durante muchos años. La presuposición de la coherencia en el sistema explicativo de los estudiantes ha sido cuestionada por diversos investigadores (Viennot, 1985; Smith, diSessa y Roschelle, 1993; diSessa y Sherin, 1998), al argumentar que el sistema conceptual de los estudiantes no tiene la coherencia, ni estabilidad necesarias para considerarlo una teoría.

De acuerdo con Vosniadou (1994), para poder conocer las representaciones de los sujetos se cuenta con los *modelos mentales* que son una clase de

representaciones mentales que los individuos generan durante la función cognitiva. Estos modelos mentales son dinámicos y, en general, se crean *in-situ*, para dar respuesta a las demandas cognitivas de ciertas tareas o problemas, sin embargo, algunos de ellos, pueden constituirse en estructuras mentales separadas, almacenadas en la memoria a largo plazo. Se considera que estos modelos mentales, pueden darnos información importante acerca de las estructuras de conocimiento a partir de las cuales se generan y que pueden ser teorías específicas o teorías generales (*teorías intuitivas*). En sus propias palabras:

“... comprender los modelos mentales genéricos, que los individuos utilizan para responder una diversidad de cuestiones diferentes referidas a un mismo concepto pueden darnos información relevante acerca de las teorías marco y las teorías específicas que determinan el proceso de adquisición de conocimiento”

(Vosniadou, 2003, p. 65)

De acuerdo con esta teoría, el cambio conceptual ocurre cuando los conceptos que deben aprenderse son inconsistentes con las presuposiciones existentes, y el individuo se ve obligado a modificar dichos marcos para *acomodar* los nuevos conceptos. En muchas ocasiones, sin embargo, al tratar de incorporar información nueva a teorías existentes, se generan *modelos mentales sintéticos* (concepciones alternativas), que son modelos inestables y que representan intentos de los que aprenden por darle sentido a la información nueva, sin reestructurar de manera sustancial las teorías existentes.

“El proceso de aprender ciencia parece ser lento y gradual, durante el cual los elementos de una teoría científica se asimilan en el marco explicativo inicial destruyendo su coherencia y creando modelos sintéticos”

(Vosniadou, 2003, p. 65)

El cambio conceptual, desde este punto de vista es un proceso lento que se lleva a cabo a través de la suspensión gradual y la revisión de las presuposiciones que componen las teorías generales o teorías marco hasta que son reemplazadas con un diferente marco explicativo. Si bien, Vosniadou considera que distintas concepciones pueden coexistir durante un periodo de tiempo, el cambio conceptual no se obtiene hasta que la teoría general de referencia, cambia sus supuestos epistemológicos y ontológicos.

En este último punto podemos encontrar ciertas coincidencias con el planteamiento de Chi (1992), que expondremos enseguida. Sin embargo, para Vosniadou, el cambio ontológico o de categorías ontológicas, representa solamente un tipo de cambio conceptual, inmerso en un proceso más amplio que implica un cambio de teorías.

1.3.3 El cambio conceptual como cambio en las categorías ontológicas

Un trabajo importante en el campo del cambio conceptual ha sido el de Michelene Chi (1992), quien parte de una visión que privilegia el aspecto cognoscitivista y una concepción de ciencia enmarcada en el racionalismo crítico, en la cual se asume que los conceptos son estructuras organizadas en redes jerárquicas de distinta naturaleza ontológica y que éstas forman una teoría científica. De acuerdo con Chi y Roscoe:

“... el conocimiento intuitivo tiene dos propiedades: frecuentemente es incorrecto (al compararlo con el conocimiento formal) y frecuentemente (pero no siempre), impide el aprendizaje del conocimiento formal con una comprensión profunda”

(Chi y Roscoe, 2003, p. 3)

Desde este punto de vista, el cambio conceptual implica la reasignación de un concepto en una categoría ontológica diferente:

“... las concepciones alternativas son, de hecho, categorizaciones erróneas de los conceptos (...) son conceptos clasificados en una categoría ontológica inapropiada. El cambio conceptual es simplemente el proceso de reasignar, o cambiar, un concepto erróneamente categorizado en una categoría ontológica diferente”

(Chi y Roscoe, 2003, p. 4)

Chi (1992) parte de la afirmación de que todo nuestro conocimiento está dividido en diferentes categorías ontológicas y propone que existe un número pequeño de éstas, dentro de las cuales puede clasificarse todo lo que conocemos. Desde su punto de vista, las categorías son: materia (o sustancia material), eventos (o procesos) y abstracciones. Estas categorías ontológicas son independientes de los individuos, existen y tienen características determinadas independientemente de los conceptos que contengan o del uso que los individuos hagan de ellas.

Chi distingue entre dos tipos de cambio conceptual, el cambio conceptual dentro de una misma categoría ontológica, en el que se reasignan significados dentro de una misma categoría mediante procesos cognitivos como diferenciación, generalización y discriminación. Por otro lado, distingue, el cambio conceptual radical que es el que se lleva a cabo cuando un concepto es asignado a una categoría ontológica diferente.

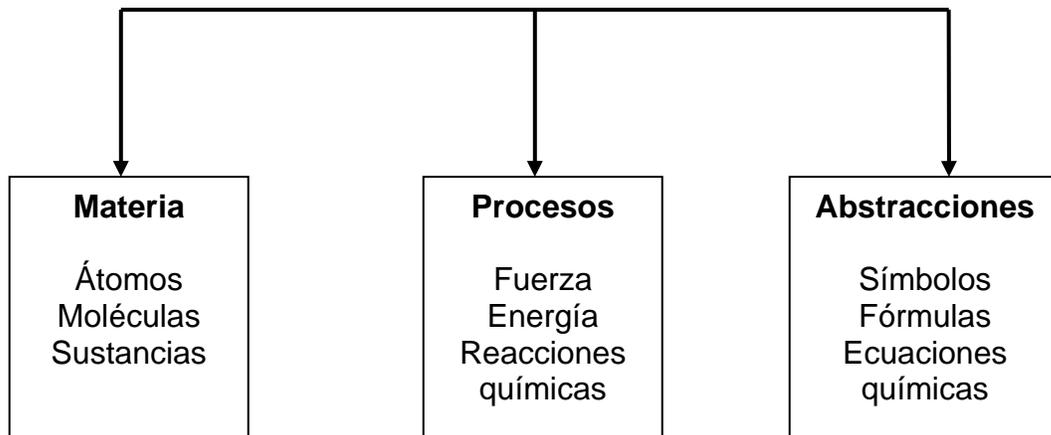


Fig. 1. Categorías ontológicas propuestas por Chi (1992). Adaptada de Bello (2004)

Los estudiantes tienden a clasificar los conceptos físicos como fuerza y calor, dentro de la categoría *sustancia material*, por lo que les dotan de propiedades y características que no les corresponden. De esta asignación pueden surgir muchas de las concepciones alternativas más comunes. Por ejemplo, al categorizar la electricidad dentro de la categoría ontológica “*sustancia*”, más que en la categoría de “*procesos*”, se cometen algunos errores comunes tales como afirmar que “*la electricidad se almacena en una batería*”, del mismo modo que otras sustancias se almacenan en cajas o latas (Chi y Roscoe, 2003, p.14). Al reasignar el concepto a una categoría ontológica diferente se remueven obstáculos importantes que permitirán la reasignación de características para el concepto en cuestión.

Para explicar por qué el cambio conceptual radical es difícil, Chi argumenta que las dificultades se encuentran en el hecho de que tanto la nueva categoría como el hecho de que un concepto pertenezca a ella deben ser aprendidos, más que en características inherentes al concepto.

Otra de las dificultades radica en que el estudiante no reconoce la necesidad de un cambio:

“El problema de la conciencia es fácilmente tratado, en teoría. Todo lo que uno tendría que hacer es decirle al estudiante que está equivocado y confrontarlo con la información y demostraciones que muestran que su comprensión presenta errores. Uno puede incluso explicar los principios correctos a los estudiantes. Sin embargo, en la práctica, esto no siempre lleva a una comprensión más profunda y exacta. Como ya se ha dicho, uno puede directamente refutar o contradecir una concepción alternativa sin efecto alguno. El problema es que a menos que los estudiantes tengan una categoría alternativa a la cual reasignar el concepto, este tipo de enseñanza no puede ser efectivo”

(Chi y Roscoe, 2003, p.19)

De acuerdo con Chi las teorías epistemológicas, como las de Posner *et al* (1982) o la de Nersessian (1989) que suponen que para que el cambio conceptual sea posible debe existir insatisfacción con las concepciones actuales, no consideran que para que algunos eventos sean vistos como anómalos y exista un conflicto cognitivo, debe haberse llevado a cabo previamente una reasignación de categoría ontológica. Mientras ésta no se lleve a cabo, los eventos discrepantes serán de alguna forma *acomodados* en la explicación actual.

Desde su punto de vista, para el cambio conceptual radical, se requiere:

- 1) Aprender las propiedades de la nueva categoría ontológica mediante un proceso de adquisición.
- 2) Aprender el significado de conceptos individuales dentro de esta misma categoría mediante un proceso de adquisición.
- 3) Reasignar un concepto a esta nueva categoría ontológica con tres resultados posibles:

- a) Abandonar el significado original del concepto y reemplazarlo con el nuevo significado de manera consciente.
- b) Permitir que ambos significados coexistan y utilizarlos dependiendo del contexto
- c) Reemplazar de manera automática el nuevo significado por su coherencia y poder explicativo.

De acuerdo con esta teoría, el cambio conceptual radical podría ocurrir en un ambiente de aprendizaje similar al *tradicional*, siempre y cuando para cada dominio conceptual se haga énfasis en su categoría ontológica, de manera que los estudiantes puedan construir el puente que conecta la información que se está recibiendo con la categoría ontológica adecuada, incorporando información nueva sin modificar los conocimientos intuitivos existentes.

Finalmente, Chi establece que el cambio conceptual radical requiere de un aprendizaje extensivo acerca del dominio conceptual específico, por lo que es probable que solamente ocurra en pocas ocasiones, sobre todo cuando las personas están en el proceso de convertirse en expertas en su campo de estudio. De acuerdo con ella, *“solamente después de cientos de horas de aprender las nuevas concepciones, su sola abundancia, coherencia y fuerza explicativa podría alcanzar y rebasar a las concepciones existentes”* (Chi, 1992, p. 81). Es de hacer notar, de nuevo, que esto no implica que las concepciones existentes hayan desaparecido sino más bien que el uso de las concepciones nuevas es más frecuente y consistente.

Desde este punto de vista, el aprendizaje o el cambio conceptual, no es necesariamente un proceso constructivo, sino más bien un proceso que se lleva a cabo mediante adquisición de conocimiento y en el que las estructuras mentales iniciales pueden permanecer idénticas, sin que esto implique un problema para la adquisición y aplicación del nuevo conocimiento. Es un proceso radical que se da una vez que los estudiantes cumplen con los requisitos necesarios (conciencia y

existencia de una categoría ontológica apropiada). Sin embargo, se reconoce que cuando no existe una categoría ontológica adecuada, el proceso de adquisición no resulta tan sencillo y deja aún muchas preguntas sin resolver respecto a de qué formas se pueden adquirir las nuevas categorías ontológicas que permitan hacer una clasificación correcta de los conceptos (Chi y Roscoe, 2003).

1.3.4 El análisis histórico – filosófico y cognoscitivo

Nancy Nersessian (1989, 1992), hace un análisis del cambio conceptual en la historia de la ciencia haciendo énfasis en los aspectos generales de la reestructuración del conocimiento. Nersessian asume que la naturaleza de los cambios requeridos en una reestructuración conceptual y el tipo de razonamiento requeridos para construir una representación científicamente adecuada es básicamente la misma en la ciencia y en los estudiantes, asumiendo que la dimensión cognitiva de ambos procesos es fundamentalmente la misma. Con este supuesto en mente, Nersessian analiza algunos cambios de paradigma en la historia de la ciencia, tratando de inferir cuáles fueron los elementos que les dieron origen, así como su proceso de construcción. Si bien, el énfasis de la autora no está en lo educativo, es posible pensar que existe una relación directa entre los procesos de construcción de conocimiento en la historia de la ciencia y en los individuos.

De acuerdo con Nersessian, un cambio conceptual siempre involucra un número importante de cambios coordinados, probablemente de acuerdo con las versiones revisadas de la teoría de Strike y Posner (1985), que sugieren que los conceptos se encuentran dentro de una ecología conceptual y que cualquier cambio en ellos, conlleva, necesariamente, cambios en las relaciones y en los elementos asociados. En su análisis sobre el cambio del concepto aristotélico de fuerza hasta el concepto newtoniano, asume que una de las características más importantes, es que, en el marco de referencia aristotélico, la fuerza es una propiedad de los objetos, mientras que en el marco de trabajo newtoniano, la fuerza es una relación

que explica los cambios en el movimiento. Este cambio necesario concuerda con el cambio conceptual radical propuesto por Chi (1992), dado que implica un cambio en la categoría ontológica a la que se asigna el concepto *fuera* de ser una sustancia material a ser un proceso, o relación entre dos cuerpos, en este caso, Nersessian busca y distingue un mecanismo para el cambio, que permita explicar cómo se lleva a cabo la reasignación de categorías ontológicas.

De acuerdo con Nersessian, la persistencia de las ideas previas tiene un paralelo con la dificultad de modificar las estructuras conceptuales en las teorías científicas, al menos debido a tres factores:

1. En todos los cambios conceptuales son grupos grandes de conceptos los que han cambiado. Las *revisiones locales*, es decir, los cambios en un solo concepto, no necesariamente conllevan revisiones en toda la red conceptual.
2. Comúnmente, la misma palabra se utiliza tanto en la estructura conceptual antigua como en la nueva, aunque se refieran absolutamente a conceptos distintos. Este punto oscurece la comunicación de los cambios y los avances de la ciencia.
3. La historia de los cambios en una teoría, es, de manera importante, un cambio en la ontología de esta teoría. Si bien, de acuerdo con Chi, no existe una razón clara por la que los cambios ontológicos son más difíciles que otros cambios, la autora adelanta algunas posibles razones: la primera tiene que ver con el hecho de que las presuposiciones conceptuales están en el centro de toda la red conceptual, es decir, un cambio en estas suposiciones generaría cambios sustanciales a lo largo de toda la red (en principio de acuerdo con Vosniadou, 1994), en segundo lugar y de acuerdo con Chi, los cambios en los que una propiedad se convierte en una relación involucran cambiar de una representación concreta a una representación abstracta y bien puede ser que este cambio represente una dificultad adicional para los estudiantes.

De acuerdo con Nersessian (1992), para que los estudiantes puedan realizar una construcción conceptual análoga a la que ha tenido lugar en la construcción científica, es necesario que el contexto de la argumentación (contexto de aprendizaje) sea de descubrimiento y no solamente de justificación, como es el caso de los libros de texto y de la mayoría de la enseñanza *tradicional*. En el contexto de descubrimiento, Nersessian identifica algunos principios heurísticos que podrían ser utilizados de manera sistemática, tales como el análisis de los casos límite, los experimentos pensados y las representaciones figuradas.

En la misma línea de Strike y Possner (1982), Nersessian hace paralelismos entre la historia de la ciencia y el aprendizaje de conceptos científicos por parte de los individuos, poniendo mucho mayor énfasis en el proceso cognitivo mediante el cual tienen lugar estos cambios, proponiendo así algunos elementos que deben presentarse si se pretende que los estudiantes lleven a cabo cambios como los ocurridos en la historia de la ciencia. Nersessian admite un proceso constructivo del conocimiento, en el cual las teorías antiguas dan lugar a teorías nuevas al encontrarlas más explicativas y coherentes de acuerdo a su marco de referencia.

1.4 Los elementos comunes en las teorías radicales

En los cuatro modelos que hemos revisado hasta este momento para explicar el cambio conceptual, podemos afirmar que existen diferencias importantes respecto a lo que cada uno de ellos considera que son las concepciones alternativas, así como la explicación sobre cuáles son los elementos necesarios para llevar a cabo el cambio conceptual.

Existe en todas ellas, sin embargo, la idea de que los conceptos o teorías, o concepciones deben ser reemplazadas, unas por otras, de forma que es posible seguir su evolución a lo largo del proceso de cambio (Spada, 1994). En ningún momento se afirma que este reemplazo sea inmediato o sencillo, sin embargo, no se considera que el cambio conceptual está completo hasta que las concepciones alternativas han sido reemplazadas por concepciones nuevas, con mayor poder explicativo o más coherentes en términos de las teorías científicas aceptadas, o

bien, hasta que se tengan teorías nuevas con distintos supuestos epistemológicos y ontológicos.

En la tabla 1.1, se hace una síntesis sobre las diferentes teorías revisadas y la manera en que cada una de ellas considera las concepciones alternativas y el proceso del cambio conceptual.

Teoría	Concepciones alternativas	Proceso del cambio conceptual
Strike y Posner	Conceptos erróneos de acuerdo con el punto de vista científico, anclados como nichos ecológicos dentro de una ecología conceptual.	Conflicto cognitivo al reconocer que las concepciones son insuficientes para explicar determinados fenómenos y al reconocer que existen concepciones nuevas que son inteligibles, plausibles y fructíferas.
Vosniadou	Ocurren cuando se trata de incorporar información nueva a las teorías existentes, siendo que existe incompatibilidad epistemológica y ontológica, formando <i>modelos sintéticos</i>	Un proceso gradual de revisión de los presupuestos de las teorías, que culmina cuando los presupuestos epistemológicos y ontológicos de las teorías intuitivas son reemplazados por presupuestos nuevos, formando modelos nuevos.
Chi	Asignaciones incorrectas de conceptos dentro de una misma categoría ontológica o a través de categorías ontológicas diferentes	Reasignación de los conceptos a una categoría ontológica diferente mediante procesos adquiridos.
Nersessian	Conjunto de conceptos y relaciones erróneas (<i>modelos mentales</i>), que tienen paralelo con algunas ideas en el curso de la historia de la ciencia	Procesos cognitivos similares a los que se llevan a cabo en el contexto de descubrimiento de la historia de la ciencia

Tabla 1.1 Una comparación de algunos modelos de cambio conceptual.

Por otro lado, existen otras aproximaciones al cambio conceptual que consideran que las concepciones alternativas son concepciones fructíferas, ya sea porque se pueden refinar y desarrollar para constituirse en concepciones con mayor poder explicativo, o bien, porque son adecuadas en determinados contextos.

Smith, diSessa y Roschelle (1993) critican estos modelos porque no están de acuerdo con una epistemología constructivista, dado que no se establece una continuidad (o proceso de construcción) entre los conceptos o teorías.

“La idea del reemplazo entra en conflicto con la premisa constructivista de que el aprendizaje es el proceso de adaptación del conocimiento previo (...) Si aceptamos que las concepciones alternativas están equivocadas, entonces no pueden servir como recursos para el aprendizaje (...) Existen al menos dos grandes razones para dudar del reemplazo como un proceso cognitivo o una metáfora útil para el aprendizaje: la evidencia empírica de la complejidad del conocimiento y el aprendizaje y consideraciones de consistencia teórica”

(Smith, diSessa y Roschelle, 1993, p. 125)

1.5 El cambio conceptual que admite representaciones múltiples

1.5.1 Los perfiles conceptuales

E. Mortimer (1995), propone un modelo diferente para analizar el aprendizaje de conceptos científicos, denominado *evolución conceptual*. Su intención es encontrar un modelo que describa los cambios en el pensamiento de los individuos como resultado de un proceso de enseñanza. Mortimer sostiene, como ya lo habían hecho otros autores (v. g. Linder, 1993; Caravita y Hallden, 1994), que el reemplazo de una concepción o una teoría por otra, más cercana a la científicamente aceptada es una tarea que no tiene sentido, dado que es posible utilizar diferentes formas de pensar en diferentes dominios, planteando así una postura diferente a la sostenida hasta entonces por los teóricos del cambio conceptual.

La idea de que existen distintas formas de representar un mismo concepto o experiencia no es nueva, ya había sido propuesta por Schutz (1976), al dejar claro que el mundo social no es homogéneo y más bien tiene una estructura multiforme, dependiente de la experiencia subjetiva de quien lo construye. Así mismo, Berger y Luckmann (1968), hacen énfasis en las diferencias que existen entre la forma de conceptualizar el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano y cómo este último está siempre presente, aún en un contexto evidentemente científico, o escolar. El conocimiento de la realidad, desde este punto de vista, es subjetivo y personal, atado a las experiencias de cada persona, pero, al mismo tiempo, estas formas de experimentar o construir la realidad no son infinitas, sino que pueden agruparse en un número determinado de categorías, dando lugar a una suerte de *representaciones colectivas*, que aún proviniendo de experiencias individuales tienen características *supraindividuales*. Marton (1981) ha encontrado que para los conceptos científicos siempre existe un número pequeño de categorías en las que se pueden agrupar las concepciones de los individuos y que éstas representan *formas cualitativamente diferentes de experimentar la realidad*.

Bachelard (1968) proponía que cada concepto científico puede ser explicado desde diversas posturas epistemológicas que se complementan para explicar las diferentes *facetas* de un concepto. Por lo tanto, cada individuo tiene también formas diferentes de comprender o explicar un concepto y la forma en la que utilice éstas depende del contexto en el que se desenvuelve, de su experiencia previa y de su conocimiento sobre el tema, entre otros factores. Bachelard acuñó el término *perfil epistemológico*, para describir un perfil formado por categorías que constituyen las diferentes maneras de comprender un concepto.

Para el concepto de masa, por ejemplo, distingue las categorías de realista, empirista, clásico racional y relativista (Figura 2.2) y éstas son las *zonas* que forman el perfil conceptual. La altura de cada categoría o zona está determinada por la influencia que esta noción tiene en el sistema de pensamiento del individuo, la cual a su vez está relacionada con las oportunidades que ha tenido de utilizar esta categoría y por su entorno cultural.

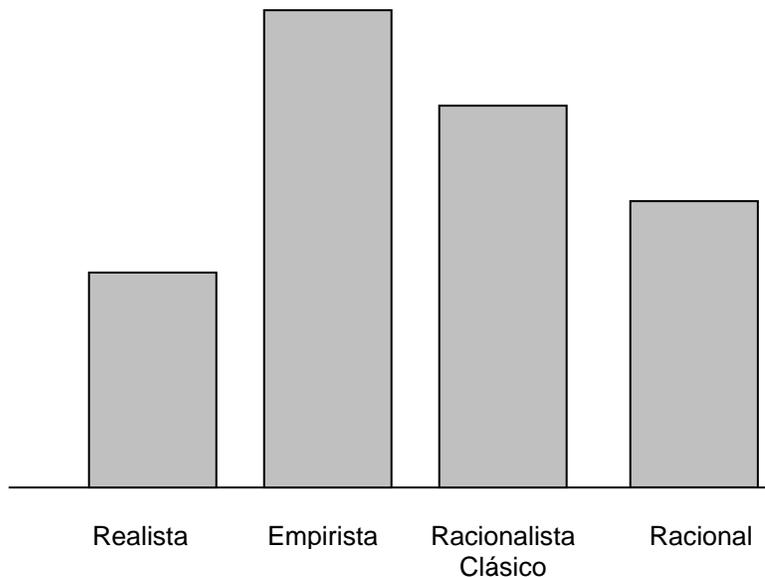


Figura 2.2 Un perfil epistemológico posible para el concepto de masa (Tomado de Mortimer, 1995, p. 272). La 'altura' de cada zona es una estimación cualitativa relacionada con su influencia dentro del perfil. Este perfil indica una fuerte tendencia a interpretar la masa desde una epistemología empirista (algo que puede determinarse precisamente mediante el uso de herramientas y escalas).

Apoyándose en esta noción de Bachelard, Mortimer (1995) sostiene que el cambio conceptual, consiste en un cambio en el perfil conceptual que cada individuo tiene para un concepto determinado. El perfil conceptual se distingue del perfil epistemológico porque las categorías que lo constituyen no necesariamente están restringidas por una postura filosófica y porque el perfil conceptual considera también que la ontología del concepto puede ser diferente en cada una de las categorías, como ocurre con el concepto de masa que se ha ejemplificado anteriormente, porque en la zona empirista, la masa es una propiedad del objeto mientras que en la epistemología racionalista, la masa es una relación entre la fuerza y la aceleración. De acuerdo con Mortimer, este punto es particularmente importante en la comprensión de los conceptos científicos.

El aprendizaje de un concepto científico, consiste en el *crecimiento* de algunas zonas del perfil conceptual, o en la construcción de nuevas categorías (que dan lugar a zonas diferentes). Este cambio, no implica, en ningún momento, la extinción de categorías relacionadas, por ejemplo, con el pensamiento de la vida cotidiana, incluso si éstas no son *aceptadas* en un contexto científico. Aprender ciencia, desde esta perspectiva, está más relacionado con el *uso adecuado* de las categorías en un contexto determinado. Si el uso es recurrente y en contextos diferentes, es probable que ciertas zonas del perfil *crezcan*, mientras que otras *disminuyan* su relevancia o su espacio de aplicación.

Los perfiles conceptuales de Mortimer son dependientes tanto del contenido, (dado que tratan un concepto científico particular), como del contexto, (al encontrarse anclados en las experiencias del individuo). Sin embargo, al mismo tiempo las categorías que conforman el perfil son iguales dentro de una cultura determinada, de alguna forma puede afirmarse que son categorías supraindividuales de pensamiento, que permiten dar sentido a determinados fenómenos naturales.

El cambio conceptual, desde esta perspectiva, se analiza de manera muy distinta, dado que existe la posibilidad de construir un concepto que se encuentra en una categoría del perfil conceptual sin tener que modificar o sustituir aquellos conceptos que se encuentran en una zona diferente del perfil. Esto implica que se pueden construir concepciones nuevas sin tener que abandonar o sustituir las concepciones anteriores, que pueden seguir aplicándose en otros dominios, por ejemplo, el cotidiano. Existen casos, sin embargo, en los que las concepciones anteriores, aún cuando están en una zona distinta del perfil conceptual, interfieren con el desarrollo del concepto en un nivel más complejo, por lo que se hace necesario enfrentar esta contradicción, y resolverla adquiriendo conciencia de la validez de cada una de las concepciones o categorías en un contexto determinado.

Dado que el perfil es profundamente dependiente del concepto del que se trate, no puede existir una sola forma de lograr estas transiciones entre diversas zonas del perfil conceptual. Mortimer distingue, sin embargo, dos pasos fundamentales en el proceso de aprendizaje:

- La adquisición de un concepto en un nivel determinado del perfil conceptual.
- La toma de conciencia sobre el propio perfil conceptual.

Para lograr la primera condición, es necesario hacer un análisis del perfil conceptual de los estudiantes y determinar si existen zonas que pudieran estar en contradicción con lo que se quiere que los estudiantes aprendan y dirigir la atención hacia éstos en el proceso de aprendizaje, para ello, se puede hacer uso de las diversas formas en las que un concepto se ha presentado a lo largo de la historia, y cómo se lograron adoptar concepciones que resultan fructíferas y aplicables en situaciones determinadas, sin 'eliminar' las concepciones existentes.

El logro de la segunda condición, requiere que el estudiante compare las zonas del perfil y haga una evaluación de su poder relativo, lo cual le permita estar conciente de las limitaciones de sus concepciones anteriores y de la posibilidad de aplicación de las concepciones nuevas. Para adquirir esta conciencia sobre el perfil conceptual propio, se requieren de muchos procesos de generalización, abstracción, y se requiere utilizar las concepciones nuevas en contextos nuevos, problemáticos, que demanden su uso.

“En situaciones nuevas, existe una fuerte tendencia de los estudiantes a utilizar sus concepciones previas, que pertenecen al nivel no-científico del perfil conceptual (...) Para adquirir estabilidad, los nuevos conceptos deben ser sometidos a una serie de situaciones problemáticas. En este proceso, los estudiantes deben adquirir conciencia no sólo del nuevo concepto científico, sino también de las relaciones entre los distintos niveles de su perfil conceptual y de cuándo es más conveniente usar uno u otro de los niveles”

(Mortimer, 1995, p. 275)

El modelo propuesto por Mortimer, resulta interesante porque logra conjuntar una serie de presupuestos tomados en cuenta en otras teorías, al mismo tiempo que considera la evidencia empírica respecto a la imposibilidad de sustituir o reemplazar las concepciones alternativas de los estudiantes. Mortimer toma en cuenta postulados de diversas teorías del conocimiento (fenomenología, constructivismo) y de distintas teorías sobre el cambio conceptual, como la de Chi (1992) y la de Nersessian (1989), para lograr un modelo sintético que valida y explica la existencia de múltiples concepciones en los estudiantes. Este modelo de aprendizaje o *evolución conceptual*, permite vislumbrar la diversidad de caminos que existen para el aprendizaje y confiere respeto intelectual a los estudiantes al no sugerir que sus concepciones, que resultan funcionales en la vida cotidiana, deben reemplazarse por las científicamente aceptadas.

1.5.2 Las trayectorias conceptuales

Las *trayectorias conceptuales*, pueden describirse como “*una secuencia de estados meta-estables del sistema cognitivo de los estudiantes*” (Petri y Neidderer, 1998, p. 1075), o bien como “*una secuencia de conceptualizaciones que describen una serie de pasos significativos en la forma en la que el conocimiento se representa dentro de un dominio específico*” (Taber, 2001, p. 731).

Entre los investigadores que se han acercado al problema del aprendizaje desde esta perspectiva, podemos mencionar a Taber (1997, 2000a, 2001, 2003), Petri y Niedderer (1998), Jonhson (1998) y Scott (1992). Si bien, se pueden encontrar muchas similitudes en la forma en la que estos investigadores se han aproximado al problema, también existen diferencias, sobre todo en las herramientas teóricas que utilizan para el análisis (Taber, 2000a). Para efectos de este análisis, nos concentraremos en las dos primeras aproximaciones.

De acuerdo con Petri y Niedderer, el aprendizaje puede considerarse como un cambio en los *elementos estables* de la estructura cognitiva de un individuo, definidos como “*los hechos, conceptos, proposiciones, teorías y datos de percepción que el individuo puede utilizar en cualquier momento y la forma en la que éstos se encuentran ordenados*” (Petri y Niedderer, 1998, p. 1075). Estos elementos estables, o concepciones, poseen un importante poder explicativo para los individuos y son utilizados repetidamente por un estudiante en diversas construcciones. Las concepciones, son el resultado de una construcción en un contexto específico y pudieran ser analizadas en mayor detalle y explicadas por otros elementos más básicos del sistema como las *herramientas cognitivas*.

De acuerdo con esta postura, un proceso de aprendizaje puede trazarse al describir los estados cognitivos sucesivos relacionados con un concepto. Estos estados cognitivos están conformados por los elementos estables del sistema cognitivo.

“La construcción de puentes entre las ideas de los niños y la ciencia formal puede implicar el desarrollo de nociones intermedias, o bien, concepciones intermedias”

(Taber, 2001, p. 735)

De acuerdo con Taber, los estudiantes mantienen esquemas conceptuales múltiples para un concepto científico particular, éstos pueden considerarse como “*herramientas conceptuales accesibles para el que aprende, quien debe seleccionar cuál es pertinente en un contexto particular*” (Taber, 2001, p. 732). Esta existencia de concepciones múltiples puede comprenderse, en el mismo sentido del cambio en el perfil conceptual propuesto por Mortimer, dado que “*el desarrollo conceptual implica un cambio en el perfil epistemológico de quien aprende*” (Taber, 2001, p. 732).

En diversos estudios que Taber ha realizado, tratando de encontrar cómo se modifican estas concepciones, ha establecido que estos marcos explicativos pueden adaptarse y modificarse acercándose cada vez más a las concepciones científicas aceptadas. El papel del maestro, así como de las actividades propuestas y de la naturaleza de las tareas que el estudiante debe resolver, tienen un papel preponderante, ya que de éste depende cómo se vaya modificando el uso que haga de las distintas concepciones.

“... el que aprende puede tener concepciones que compiten con muchos temas científicos. Esta es una visión relativista del desarrollo conceptual, ya que los esquemas conceptuales que se seleccionan no son los mejores, de forma absoluta, sino aquellos que se ajustan mejor al contexto...”

(Taber, 2001, p. 734)

A lo largo de dos años de seguir el desarrollo conceptual de un mismo individuo, Taber ha encontrado que al inicio del estudio, existían tres marcos explicativos para el concepto de enlace químico y dos años después, los marcos permanecían sin cambios, aunque uno de ellos era mucho más utilizado y el otro había disminuido su poder explicativo. En términos de Mortimer, el perfil conceptual del individuo en cuestión había sufrido cambios, sin que ello implicara la extinción de ninguna de las concepciones, o marcos de trabajo, existentes hasta ese momento. Así mismo, Petri y Niedderer, encuentran que en una secuencia de aprendizaje, permanece una concepción previa y tres concepciones intermedias, desarrolladas durante la secuencia de aprendizaje, de forma que:

“El estado final del elemento cognitivo –átomo- se describe mejor como una serie de concepciones diferentes, coexistentes que tienen diferente fuerza y status”

(Petri y Niedderer, 1998, p. 1085)

En el mismo sentido, Taber argumenta que:

“Un individuo puede simultáneamente tener varios esquemas explicativos alternativos que son **estables** y **coherentes**, aplicables a un mismo concepto científico”

(Taber, 2000a, p. 399)

En esta visión del cambio conceptual, la ecología conceptual (Strike y Possner, 1985) del individuo juega un papel muy importante, las meta-concepciones y los compromisos epistemológicos de los estudiantes, son también importantes para determinar los logros de un proceso de aprendizaje.

Comprender el proceso de aprendizaje como una *trayectoria conceptual*, implica mirarlo como un proceso lento, evolutivo más que revolucionario, en el que los marcos de trabajo, o elementos cognitivos estables que están presentes al inicio del proceso, no desaparecen, sino coexisten con otros que se generan en el curso del aprendizaje. Cómo se generan estos nuevos elementos o marcos de trabajo y cómo se relacionan entre ellos, es un aspecto que requiere aún de mayor investigación.

En este mismo sentido Clement y Steinberg (2002) señalan el cambio conceptual como un cambio progresivo en los modelos que los estudiantes tienen respecto a determinados fenómenos y en cómo éstos pueden ser desarrollados desde los modelos intuitivos de los estudiantes hacia modelos más cercanos al conocimiento científico.

1.6 La posición de la fenomenografía

Desde el punto de vista de la fenomenografía, aprender implica experimentar el mundo de una forma determinada y para que ello ocurra, es necesario construir un espacio de variación o bien construir estructuras relevantes para que el que aprende pueda experimentar desde diversos lugares un fenómeno determinado (Marton, 1981).

Marton y Booth (1997, p. 12) expresan: *“no deberíamos considerar a la persona y al mundo como entidades separadas. No deberíamos considerar las estructuras mentales hipotéticas separadas del mundo (...) no debemos tampoco considerar el mundo social y cultural desde el punto de vista del investigador (...) no hay distinción entre lo interior y lo exterior. El mundo no es construido por el sujeto ni tampoco le es impuesto, el mundo se constituye como una relación interna entre ellos”*

La perspectiva fenomenográfica analiza los aspectos del fenómeno (estructurales o referenciales) que al ser considerados de una manera particular dan lugar a una u otra forma de experimentar el fenómeno. En otros términos, tener en cuenta estos aspectos podría permitir construir las representaciones de los individuos en términos de ciertas características de los fenómenos considerados y determinar cuáles son los espacios de variación que se construyen, lo cual puede orientar el desarrollo el aprendizaje.

1.7 Algunas reflexiones finales

Como hemos visto a lo largo de este capítulo, el cambio conceptual es una aproximación de investigación presente en la investigación en educación hace más de dos décadas. A partir del artículo seminal de Posner y sus colaboradores (Posner *et al*, 1982), el término de cambio conceptual ha sufrido cambios importantes y modificaciones que han impactado el campo de la investigación en la enseñanza de las ciencias. A partir de la postulación del cambio conceptual como *sinónimo* de aprendizaje desde una teoría constructivista, las teorías de aprendizaje se relacionan más con el dominio específico que estudian. Se trata de comprender cómo las personas aprenden un conocimiento o procedimiento determinado.

“A través de los años, el cambio conceptual se ha representado como el proceso de lograr comprensión estructural, de las relaciones entre los conceptos, aprendizaje profundo, o más recientemente, construcción de modelos mentales”

(Mayer, 2003, p. 101)

Es claro, a partir de la revisión realizada, que no hay aún consenso sobre qué es el cambio conceptual y cómo se lleva a cabo. Es evidente, sin embargo, que hay un movimiento desde los modelos de cambio conceptual que abogan por un reemplazo de conceptos o teorías, hacia modelos que aceptan la coexistencia de representaciones múltiples, o bien la construcción de conocimiento experto *a partir* del conocimiento intuitivo.

Cada vez hay más consenso, en que la investigación sobre el cambio conceptual requiere dejar el nivel descriptivo para construir explicaciones detalladas sobre cómo éste se lleva a cabo. De acuerdo con Mayer (2003), el reto más grande para los investigadores es construir modelos que permitan explicar los datos empíricos. Es por ello que es necesario definir mejor los constructos teóricos que se utilizan para analizar las concepciones de los estudiantes y dar cuenta con mayor detalle del proceso mediante el cual el conocimiento sobre un fenómeno determinado es construido.

CAPÍTULO 2

LOS RECURSOS CONCEPTUALES

DESCRIPCIÓN DE LA PERSPECTIVA TEÓRICA

1.1 Una nueva noción para el cambio conceptual

Las diferentes versiones del cambio conceptual que se presentaron en el capítulo anterior lo consideran como una transformación radical en los *conceptos* que se encuentran en el centro mismo del sistema conceptual, una modificación de los términos fundamentales a través de los cuales se entiende el mundo. A pesar de las evidentes diferencias entre los modelos presentados (y muchos otros que no se consideraron en el presente trabajo), existe un ‘acuerdo generalizado’ mediante el cual, el cambio conceptual es aquel que requiere una *reestructuración mayor* en el sistema conceptual de los estudiantes (Duit, 1999).

Uno de los problemas más importantes de este “acuerdo generalizado”, es la definición misma de *concepto*, lo cual ha ocasionado una *imprecisión teórica* en el campo de la educación en ciencias. diSessa y Sherin (1998, p. 1161), han hecho notar que existe una diversidad muy amplia entre las entidades que se consideran conceptos:

“...vale la pena hacer notar la larga lista de cosas a las que se llaman conceptos: perro, animal, vivo, muerto, comer. A esta lista podemos agregar movimiento, fuerza, velocidad y aceleración...”

Esto ha provocado que se subestime la complejidad y la diversidad del fenómeno, y de hecho, muchas de las investigaciones que dan cuenta del aprendizaje como una

construcción individual se quedan lejos de poder construir una teoría del aprendizaje, que pueda dar cuenta de la forma en la que los estudiantes construyen nociones cercanas a las científicas mediante la reconstrucción de sus concepciones intuitivas o iniciales (Smith, diSessa & Roschelle, 1993).

De acuerdo con Redish (2004), actualmente la educación en ciencias requiere construir una estructura teórica que permita describir el comportamiento del sistema (el estudiante que aprende) mediante un número mínimo de conceptos y en el que el comportamiento complejo del sistema pueda describirse como producto de las combinaciones y elaboraciones de las estructuras más simples y sus interacciones.

“Estamos interesados en un constructivismo de *‘grano fino’*, que nos permita analizar el conocimiento desde sus componentes más fundamentales y tratar de comprender cómo se construye”

(Redish, 2004, p. 9, énfasis en el original)

Esta estructura teórica, debería dotarnos con una visión unificada, que permita organizar y mejorar nuestra comprensión del conocimiento, el aprendizaje y la enseñanza, por lo tanto debe basarse en una descripción detallada de las entidades que atribuimos a la mente de los estudiantes, de forma que se expliciten las atribuciones ontológicas que hacemos respecto al sistema conceptual de los estudiantes, permitiendo que se puedan examinar, refinar y conseguir una mayor precisión técnica (Hammer, 2004).

Smith, diSessa y Roschelle (1993) argumentan que de acuerdo con los principios constructivistas el conocimiento de los estudiantes no puede conceptualizarse en términos de la presencia o ausencia de elementos unitarios, sino como un sistema de conocimientos, compuesto de muchos elementos interrelacionados que pueden cambiar en formas complejas. Desde esta perspectiva, el sistema conceptual no puede describirse en términos de “tener” o “no tener” un concepto, o de “reemplazar” un

concepto por otro. Desde una perspectiva que considera el conocimiento como un sistema complejo, se asume que existe una multiplicidad de entidades dentro del mismo, cuyas relaciones se transforman de acuerdo con el contexto. diSessa (2003) señala que en el estudio de los sistemas cognitivos se debe esperar una tendencia hacia la multiplicidad, lo cual implica considerar un número mayor de entidades mentales, que pueden ser de distinta naturaleza, así como una tendencia a disminuir *la escala*² en que se analizan estas entidades. Así mismo, desde esta perspectiva, el aprendizaje de un concepto puede implicar la coordinación de un número grande de elementos en muchas formas diferentes; por ello, una aproximación de sistemas complejos requiere considerar la diversidad de condiciones en las que ocurren las situaciones de aprendizaje, así como lidiar con el hecho de que los ‘conceptos’ en este caso pierden su demarcación clara y de alguna forma son más difusos, lo cual puede resultar incómodo desde el punto de vista del investigador (diSessa & Wagner, 2005).

Sin embargo, es fundamental reconocer que un sistema tan complejo como el que nos ocupa difícilmente estaría compuesto de entidades simples fácilmente discernibles y perfectamente distinguibles unas de otras.

2.2 La perspectiva de los recursos conceptuales

La investigación en el campo de la educación en ciencias ha tendido a moverse desde modelos unitarios de la mente hacia modelos que consideran el sistema de conocimiento como un sistema complejo formado de elementos múltiples que interactúan entre sí y que no es gobernado por uno sólo de ellos.

Durante mucho tiempo la perspectiva dominante en la investigación en educación en ciencias ha sido la de las concepciones alternativas, desde la cual las concepciones de los estudiantes son consideradas entidades estables, resistentes incluso a la instrucción diseñada para erradicarlas y utilizadas consistentemente por los estudiantes (Driver & Easley, 1978; Driver & Erickson, 1983; Gilbert & Watts, 1983; Driver, Squires,

² Se entiende por escala el nivel de análisis, en el sentido de ir hacia entidades más ‘pequeñas’.

Rushworth & Wood-Robinson, 1994) y en algunos casos se considera que éstas tienen una estructura similar a una teoría científica (Vosniadou, 1994; McCloskey, 1983).

Sin embargo, otros investigadores han considerado que la evidencia experimental sugiere que el pensamiento de los estudiantes tiende a ser fragmentario, inconsistente, incoherente y temporal (Claxton, 1993; Minstrell, 1992; Solomon, 1993) y que muchas veces las concepciones de los estudiantes están estrechamente relacionadas con el tipo de pregunta que se les hace y el contexto inmediato (Engel Clough & Driver, 1994; Viennot, 1985).

Considerar las ideas de los estudiantes como entidades unitarias, estables, que se aplican de manera consistente o coherente, o bien considerarlas como entidades emergentes que se construyen 'in situ' para dar respuesta a una demanda del momento y que están formadas por entidades más pequeñas que pueden relacionarse de formas diferentes tiene implicaciones importantes no sólo a nivel teórico, sino también desde la perspectiva educativa. Hammer (1996b), presenta una comparación entre dos formas diferentes de analizar distintas conversaciones entre los estudiantes, y da cuenta de que la perspectiva del investigador o del maestro respecto al papel que juega el conocimiento de los estudiantes es central para el tipo de decisiones que toma. De manera muy general, si se considera que las concepciones que los estudiantes expresan son entidades estables y unitarias, se buscarán formas de modificarlas y confrontarlas; mientras que si se considera que son elementos que se están configurando y que pueden modificarse de acuerdo con el contexto, se buscarán formas de ayudar a los estudiantes a desarrollarlas, refinarlas y reorganizarlas.

“La investigación en educación en ciencias ha adoptado mayoritariamente modelos unitarios del pensamiento de los estudiantes, los cuales reflejan marcos conceptuales, concepciones alternativas robustas y etapas de desarrollo. Estos modelos de estructura cognitiva, se adaptarían bien a una fenomenología que fuese consistente a través del tiempo y que presentara coherencia entre las ideas de los

estudiantes. La fenomenología que yo he presentado ha sido más variada y compleja, lo cual refuta la atribución de consistencia y coherencia al razonamiento de los estudiantes. Desde mi punto de vista, el conocimiento de los estudiantes y sus procesos de razonamiento, son modelados de forma más adecuada en términos de una ontología múltiple, de recursos de grano fino, que sean sensibles al contexto”

(Hammer, 2004, p. 12)

Así, la variabilidad en el pensamiento de los estudiantes, la riqueza que se encuentra en las entrevistas clínicas y en las interacciones en el salón de clases, la evidencia de que los estudiantes en muchas ocasiones no son coherentes ni consistentes en la aplicación de las concepciones (Pozo & Gómez Crespo, 2005) hace necesaria una perspectiva de análisis diferente, que permita dar cuenta de esta variabilidad y que trate de *explicar* el proceso mediante el cual ésta se construye. Viennot (1985) advertía que una perspectiva que considere que los estudiantes tienen concepciones estables puede implicar, desde el punto de vista del análisis, perder la riqueza conceptual y de razonamiento que tienen los estudiantes, de forma similar diSessa, Elby y Hammer (2003, p. 238) establecen que:

“Esto no implica que el razonamiento de los estudiantes acerca de los fenómenos físicos siempre muestre falta de coherencia y sistematicidad. Lo que cuestionamos son los marcos teóricos y metodologías relacionadas, que *presumen* dicha coherencia y sistematicidad (o eligen no investigarla de forma explícita), lo cual puede dar como resultado que pasen por alto evidencias en la conducta de los estudiantes de la activación de elementos de conocimiento de grano más fino y sensibles al contexto”

(diSessa, Elby & Hammer, 2003, p. 238)

Los patrones fenomenológicos que se han encontrado en las concepciones de los estudiantes (Talanquer, 2006; Gallegos, 2002), son muy importantes para comprender los procesos mediante los cuales los estudiantes construyen su conocimiento. Sin embargo, la forma en la que estas concepciones varían y la multiplicidad de concepciones que los estudiantes pueden presentar claramente están en contra de considerarlos como atributos estructurales fijos en la mente de los estudiantes (Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005).

La perspectiva de los recursos conceptuales sugiere que para dar cuenta de esta diversidad y de esta variabilidad, es necesario tratar de encontrar aquello que subyace a las concepciones de los estudiantes. El término **recursos conceptuales** es un término genérico que se utiliza para señalar los diversos recursos mediante los cuales los estudiantes le dan sentido a los fenómenos y a las demandas presentadas y que permite dar cuenta de la diversidad de concepciones de los estudiantes, así como de su inconsistencia o de su dependencia del contexto.

Una analogía que se utiliza frecuentemente para diferenciar la perspectiva de las concepciones de la perspectiva de los recursos conceptuales proviene del campo de las partículas fundamentales:

“Durante la mitad del tiempo que hemos conocido a los protones, los hemos considerado unidades fundamentales. Durante la década de 1960, la fenomenología de la dispersión inelástica profunda dio algunas razones para cuestionar esa perspectiva y los físicos comenzaron a pensar en términos de la sub-estructura del protón (y el neutrón y otras partículas involucradas en las interacciones fuertes). Sin tener aún evidencia de la naturaleza específica de esas partículas utilizaron deliberadamente el término ‘partón’. El término recursos conceptuales es similarmente genérico en este caso: es un modesto paso teórico que permite pensar en entidades más pequeñas que concepciones o teorías intuitivas. Como el modelo del partón, este modelo no propone propiedades específicas para las entidades propuestas“

(Hammer, 2004, p. 3)

La perspectiva de recursos conceptuales es diferente de la perspectiva de las concepciones múltiples en varios aspectos (Hammer, 2004):

- 1) Los recursos son elementos de *función cognitiva*, más que afirmaciones declarativas acerca del mundo. Por lo tanto, no pueden considerarse verdaderos o falsos; dado que son recursos, pueden ser aplicados de forma adecuada o no.
- 2) Los recursos se activan de acuerdo con el contexto y no son aplicados de manera general.
- 3) Los recursos son múltiples y diversos. Más que atribuir una concepción a un área específica de pensamiento, desde esta perspectiva se considera que son diferentes elementos los que pueden aplicarse en un dominio determinado.

La perspectiva de los recursos permite dar cuenta de la adaptación del pensamiento, dado que patrones más exitosos de pensamiento se usan más frecuentemente y con el tiempo se refuerzan, pudiendo dar origen a lo que usualmente han sido consideradas como concepciones alternativas.

“Los recursos se activan en forma de conjuntos, y un conjunto que se activa una y otra vez, puede eventualmente establecerse lo suficiente como para actuar como una unidad cognitiva en sí misma”

(Hammer, Elby, Scherr & Redish, 2005, p. 99)

Es claro entonces que la perspectiva de los ‘recursos conceptuales’ no elimina la posibilidad de que los estudiantes en ocasiones cuenten con ‘concepciones alternativas’ que son estables y que pueden ser aplicadas coherente y consistentemente a un rango determinado de fenómenos (Taber, aceptado para publicación). Sin embargo, el de las concepciones estables sería solamente un caso o un elemento dentro de los muchos que conforman la red de recursos con los que cuenta un individuo.

Los recursos con los que un individuo cuenta para hacer frente a la diversidad de fenómenos no son solamente conceptuales, son también epistemológicos, es decir, relacionados con la forma en la que los estudiantes se aproximan a la construcción de conocimientos.

“La forma en la que los estudiantes razonan en un curso de física puede reflejar no solamente si tienen o no ciertas habilidades o conocimientos, sino también refleja sus creencias acerca de lo que puede implicar el curso, el conocimiento presentado y el razonamiento requerido”

(Hammer, 1996a, p. 10)

Si bien hasta el momento la investigación sobre los recursos epistemológicos con los que cuentan los estudiantes se ha concentrado en la descripción de categorías generales que pueden ser aplicables a una diversidad de fenómenos, cada vez más las investigaciones tratan de considerar la riqueza presente en el razonamiento de los estudiantes, quienes pueden modificar su ‘aproximación epistemológica’ a un fenómeno de acuerdo con una multiplicidad de factores (diSessa, Elby & Hammer, 2003; Hammer, 2004; Hammer & Elby 2002).

Si bien, es importante notar la relevancia del papel que la aproximación epistemológica juega en la construcción de los conocimientos, en el presente trabajo no damos cuenta de aspectos epistemológicos sino que nos circunscribimos al análisis de los recursos conceptuales con que los estudiantes cuentan para construir sus explicaciones y darle sentido a los fenómenos presentados. Esto nos permite concentrarnos en una clase de recursos de los estudiantes; los recursos conceptuales que, en buena medida, son aquellos que le permiten (o no) darle sentido a un fenómeno natural. La existencia de una colección de recursos conceptuales y su activación (no azarosa) en contextos específicos determinará las posibilidades de comprensión y explicación de los estudiantes, así como la construcción progresiva de nociones científicas.

2.2.1 ¿Cuáles son los recursos conceptuales?

Si bien, desde la perspectiva de los recursos, como se ha descrito anteriormente, se reconoce que existe una diversidad de éstos, que pueden ser utilizados en diferentes momentos por cada individuo, la literatura no reconoce específicamente a qué tipo de recursos se refiere. Por ejemplo, Hammer (2004, p. 231), expresa:

“Estamos apenas comenzando a identificar y describir los tipos de recursos que es probable que los estudiantes tengan en sus repertorios (...) necesitamos una perspectiva de largo alcance con respecto al valor práctico de este trabajo, aunque el cambio general en la ontología tiene implicaciones en el corto plazo...”

Un tipo de recursos, con esta perspectiva de grano fino y que ha resultado útil para describir los procesos de aprendizaje y para mejorar nuestra comprensión respecto a ellos son los primitivos fenomenológicos (*p-prims*), propuestos por diSessa (1993) en el artículo “*Hacia una epistemología de la física*”. Dichos primitivos fenomenológicos se han utilizado para dar cuenta de los procesos de construcción de conocimiento en diferentes dominios y con estudiantes de diferentes edades (Prat & Noss, 2002; Wagner, 2006; Hammer, 1996b; Taber & Tan, 2007; Gallegos & Canales, 2007; Taber, aceptado para publicación) y son parte de los recursos que nosotros describiremos con detalle porque, desde nuestro punto de vista, permiten dar cuenta de algunos de los recursos conceptuales más utilizados en el ámbito que nos ocupa. Los primitivos son “enunciados básicos acerca del funcionamiento del mundo físico que los estudiantes consideran obvios e irreductibles” (Redish, 2004, p.21). Tanto Redish (2004) como Hammer (1996) y sus colaboradores (Hammer, Elby, Scherr y Redish, 2005), proponen los primitivos como una clase o tipo de *recursos conceptuales* y es por ello que los describiremos con detalle en lo siguiente.

2.2.2 Los primitivos fenomenológicos como recursos conceptuales

De acuerdo con diSessa, al interactuar con el mundo físico, los individuos adquieren un *sentido del mecanismo*, es decir, una idea (*sentido*) acerca de cómo es que funcionan las cosas, cuáles son los eventos necesarios para que algo suceda, cuáles son los eventos posibles o imposibles de ocurrir. Es decir, desde temprana edad, todos los seres humanos contamos con un conocimiento que nos permite interactuar con el mundo y entenderlo. Dicho conocimiento incluye “una esquematización causal prominente, en términos de agentes, pacientes e intervenciones (sintaxis causal); una tendencia a enfocarse en caracterizaciones estáticas de eventos dinámicos (...) y una fenomenología relativamente rica de equilibrio y balance” (diSessa, 1993, p. 105).

Para diSessa, la *física intuitiva* propuesta por algunos autores como Vosniadou o McCloskey, (McCloskey, 1983; Vosniadou, 1994; Ioannides & Vosniadou, 2002) es una expresión de este *sentido del mecanismo* que, aunque en ocasiones presenta ciertas regularidades, en general, no tiene la sistematicidad necesaria para constituirse en una teoría científica. Esta *física intuitiva*, más bien debería considerarse como un sistema de ‘conocimiento en piezas’, en el que hay una multiplicidad de elementos fragmentarios, que no tienen relaciones estables entre sí.

En este modelo, uno de los elementos del conocimiento más prominentes son los primitivos fenomenológicos (*p-prims*), que son “elementos primitivos del mecanismo cognitivo – la estructura mental más atómica y aislada que se puede encontrar” (diSessa, 1993, p. 112). Estas estructuras se consideran primitivos porque se construyen en etapas muy tempranas de la cognición, básicamente mediante el reconocimiento de patrones generales de comportamiento y son fenomenológicos porque se originan en interpretaciones superficiales de la realidad. Una vez establecidos, los primitivos fenomenológicos son utilizados por los individuos para interpretar y dar sentido a la experiencia.

Los primitivos fenomenológicos se relacionan de manera muy importante con aquellos aspectos del mundo que son considerados como 'naturales' (Taber & Watts, 1996), y se encuentran codificados en términos visuales y kinestésicos dinámicos, lo cual hace que para el individuo no requieran explicación y sean particularmente difíciles de describir (diSessa, Gillespie & Sterly, 2004).

Es posible entonces que los individuos cuenten con un número enorme de primitivos que le permitan dar sentido al mundo que los rodea e interactuar con él, lo cual puede representar un problema importante cuando se está tratando de dar cuenta del funcionamiento del *sistema* en términos de un número mínimo de unidades que lo conforman. Por ello es importante que el analista mantenga una aproximación a las explicaciones que le permita atender al detalle de éstas, pero sin considerar que cada una de las intervenciones de los individuos refleja un *p-prim*.

Aunque no existen una serie de reglas heurísticas que permitan identificar los *p-prim*s utilizados por los individuos, puede asumirse que éstos tienen ciertas características que permiten su reconocimiento al analizar las intervenciones de los estudiantes, ya sea durante una entrevista clínica o en el salón de clases. Algunas de estas características, que consideramos relevantes para el presente trabajo son (diSessa, 1993; 2003), porque nos permiten identificar cuándo los estudiantes están utilizando un primitivo para construir una explicación son:

- Impenetrabilidad: si los individuos parecen satisfechos al proveer con una descripción como explicación, esto puede indicar la presencia de un *p-prim*.
- Obviedad: los *p-prim*s se utilizan cuando se requiere explicar fenómenos familiares para el estudiante y cuya naturaleza se concibe como no problemática.
- Cobertura: los *p-prim*s deben cubrir una amplia diversidad de experiencias comunes, es decir, no deben limitarse a la experiencia escolar con ciertos fenómenos, sino estar presentes en un rango más amplio.
- Funcionalidad y disponibilidad: dado que los *p-prim*s son parte del *sentido de mecanismo*, mediante el cual los individuos dan sentido al mundo, éstos pueden ser utilizados con base en representaciones intuitivas que se encuentran disponibles en la estructura cognitiva de los estudiantes.

- Discrepancia: cuando los estudiantes dan explicaciones que se encuentran alejadas de la física, existe una buena posibilidad de encontrar *p-prims* en las bases de estas explicaciones.
- Dinámicos: se desarrollan mediante la reorganización, por lo que más ser extinguidos o reemplazados por los conceptos científicos, pasan a formar parte del sistema complejo que es un concepto científico. En estos casos, los *p-prims* cambian su función y dejan de ser impenetrables.

Para dar una mejor idea de los primitivos fenomenológicos a los que se refiere diSessa, se presentan algunos ejemplos que nos permiten ilustrar este tipo de nociones. Una lista amplia de *p-prims* puede encontrarse en diSessa (1993).

- ***P-prim de Ohm.*** Llamado de esta forma porque indica que un agente o causa actúa a través de una resistencia o interferencia para producir un resultado determinado. Justifica una serie de proporcionalidades tales como ‘a mayor esfuerzo o intensidad, mayor resultado’; ‘a mayor resistencia o interferencia, menor resultado’. Este *p-prim* puede estar relacionado con lo que Andersson (1986) ha llamado la *experiencia gestáltica de la causa* que es una construcción de los individuos desde una edad muy temprana para “controlar nuestras acciones y comprender lo que ocurre en el mundo a nuestro alrededor” (Andersson, 1986, p. 157).
- **Agente que actúa.** diSessa propuso el *p-prim* ‘fuerza como agente que mueve’ (*force as mover*), para indicar el primitivo que se utiliza cuando un agente actúa de manera abrupta en un objeto causando su desplazamiento o el aumento de su velocidad en la misma dirección. Hammer (1996a) lo llama ‘agente que actúa’ para evitar reducir su uso al ámbito de la física. Este primitivo se utiliza, cuando el resultado parece permanecer o superar a la causa. Por ejemplo, para explicar por qué un golpe causa el movimiento de una pelota, por qué el golpe de un martillo causa el sonido de una campana, o bien, por qué un evento traumático causa ansiedad.

- **Desvanecimiento (*dying away*).** Este *p-prim* pudiera comprenderse como una abstracción de experiencias diversas tales como el desvanecimiento del sonido de una campana, o la disminución gradual del movimiento de una pelota. Se utiliza en diversas ocasiones para explicar la ‘naturalidad’ de estos fenómenos, con los que se tiene tal amplia experiencia. Si bien, estos fenómenos pueden explicarse en términos de conceptos como disipación o resistencia, la mayoría de las personas siente que es suficiente la ‘explicación natural’ para explicar por qué, por ejemplo, una pelota se detiene gradualmente una vez que no hay una fuerza actuando directamente sobre ella.
- **Equilibración.** Un sistema tiende al equilibrio de manera natural, una vez que desaparece la causa del desequilibrio. Es un ejemplo de un primitivo auto-explicativo, dado que no es posible encontrar explicaciones más allá de ‘la naturaleza de los sistemas’.

Los primitivos fenomenológicos son sólo un tipo de conocimientos dentro de la multiplicidad que se sugiere desde la perspectiva de los recursos conceptuales. Sin embargo, parecen ser un recurso ampliamente utilizado por los individuos al tratar de explicar y darle sentido a la realidad. La *asociación* de estos primitivos puede dar cuenta también de algunas entidades de conocimiento más amplias, estables y aplicadas de forma más general. En palabras de diSessa (1996, p.176):

“Aprender, algunas veces significa desarrollar nuevos primitivos fenomenológicos, pero con mayor frecuencia, implica un cambio en su nivel de importancia, o en el contexto en el que alguno es aplicable y en las conexiones con otros *p-prims* y con otros tipos de conocimiento. Hablamos en este caso de reorganización y refinamiento de la estructura cognitiva”

2.3 La asociación de los recursos

Una perspectiva que considera que los individuos cuentan con recursos conceptuales múltiples, mediante los cuales dan sentido al mundo que les rodea, permite pensar en un sistema de pensamiento o 'modelo de la mente' que responde de maneras diferentes en diferentes momentos. Sin embargo, es muy importante hacer notar que esta variación no es azarosa, esto es, los recursos conceptuales no se activan o desactivan de manera accidental, sino que debe haber una coherencia local en los recursos que se activan en un momento determinado y permiten configurar la experiencia de una forma determinada. Resulta evidente que si el individuo debe usar los recursos de una forma coherente (al menos localmente) la codificación de un fenómeno se lleva a cabo de forma distribuida en todos los elementos que son activados y no particularmente en uno de ellos. Un ejemplo de codificación distribuida son las 'clases coordinadas' propuestas por diSessa (1993) y desarrolladas posteriormente por diSessa y Sherin (1998) y diSessa y Wagner (2005).

Las clases coordinadas se consideran elementos del pensamiento de los estudiantes, pero resultan mucho más complejas que los *p-primis* porque involucran la *coordinación* de diferentes recursos conceptuales, en relación específica con las características particulares de los fenómenos presentados. Tienen una estructura interna determinada por la forma en la que obtenemos información acerca del mundo, llamada *estrategia de lectura* que funciona mediante las inferencias que un individuo puede hacer a partir de un fenómeno al utilizar la información que tiene disponible. Estas inferencias posibles son llamadas la *red* causal, y ésta puede estar formada por elementos múltiples, dentro de los cuales es muy posible encontrar *p-primis* (diSessa, 2003).

“El desarrollo de una clase coordinada, es una tarea compleja dado que está compuesta por elementos diversos que deben integrarse de una determinada manera para lograr que la clase coordinada sea efectiva”

De acuerdo con Hammer, Elby, Scherr & Redish (2005), la activación estable de un conjunto de recursos conceptuales puede llevarse a cabo de tres formas diferentes:

- Contextual. Esta activación está basada en la situación y no requiere de recursos epistemológicos que activen *intencionalmente* un conjunto determinado de recursos. Con el tiempo estos patrones pueden volverse más utilizados y dejan de depender del contexto por completo.
- Deliberado. Involucra recursos epistemológicos y metacognitivos. Un individuo generalmente requiere monitorear los recursos conceptuales que está activando y cómo son activados. Con el uso frecuente, un conjunto de activaciones que debe monitorearse para ser consistente puede llegar a ser *automático*, de forma que se utilice sin el monitoreo deliberado del sujeto.
- Estructural. Con el uso repetido, un conjunto de activaciones puede establecerse de tal forma que se convierta en una especie de unidad cognitiva y por lo tanto se establezca como un recurso en sí mismo. Dicha unidad cognitiva tiene sus condiciones de activación, pero una vez que se activa, la coherencia es automática. Así, la activación de una unidad cognitiva con estas características es contextual, pero su estabilidad es independiente del contexto.

De acuerdo con Redish (2004) el conocimiento, entendido como estas asociaciones emergentes de recursos conceptuales se puede caracterizar en términos de su **consistencia** (qué tanto se activa en una diversidad de situaciones), su **grado de compilación** (hasta qué punto el conocimiento se aplica como una unidad en la memoria de trabajo) y su **nivel de integración** (la diversidad de conocimiento que se encuentra relacionado).

Es claro entonces, como ya se había mencionado, que la activación de los recursos no es azarosa y que es posible relacionar patrones de activación determinados con ciertas características del contexto o, de manera más precisa, con las inferencias que se pueden hacer utilizando los recursos disponibles, en un contexto específico.

Es importante señalar que aunque en el presente trabajo se hace énfasis en la construcción racional y en la búsqueda de coherencia por parte de los individuos, los elementos epistemológicos y afectivos juegan un papel muy relevante en la forma en la que los recursos se asocian.

“Los procesos de pensamiento de un individuo han sido moldeados por haber sido criado dentro de una cultura y estos procesos responden y al mismo tiempo transforman la cultura en la que éste se encuentra”

(Redish, 2004, p. 3)

Los procesos de construcción individual del pensamiento están inscritos en la cultura y no ocurren de manera aislada en la mente del sujeto, sin embargo, aún sabiendo que los procesos educativos (que nos interesan en este trabajo), son del ámbito sociocultural, pensamos que lo que pueda aprenderse de la perspectiva cognitiva individual podría ser útil. Redish (2004, p.4) expresa: *“Al considerar un sistema de objetos, frecuentemente es útil comprender el carácter y el comportamiento de los objetos individuales dentro del sistema”*. En el mismo sentido, nuestra investigación se centra en los procesos individuales y por ello el marco teórico considera y apoya la comprensión de estos procesos, sin que ello implique que nos olvidemos del espacio en el que se lleva a cabo el fenómeno de aprendizaje.

2.4 Ubicando las preguntas de investigación a partir de la perspectiva teórica

La perspectiva de los recursos conceptuales, que se ha descrito anteriormente sienta las bases para tratar de comprender la forma en la que los estudiantes construyen sus explicaciones acerca de los fenómenos naturales que se analizarán en esta tesis. Es a partir de una serie de recursos, de *tamaño* mucho menor a las ‘concepciones alternativas’ y la aplicación de estrategias determinadas que los individuos construyen sus explicaciones. Las concepciones

alternativas que han sido objeto de estudio durante muchos años pueden explicarse como asociaciones emergentes que adquieren un carácter mucho más consistente, al ser utilizadas en un número mayor de situaciones (aún en contextos no necesariamente idénticos) y estar relacionadas con una diversidad más amplia de recursos. Desde la perspectiva teórica, esta posición parece más coherente con la posición constructivista desde la que se construye nuestra investigación y que además ha sido casi omnipresente en la investigación en educación en ciencias en las últimas décadas (Taber, 2006).

Se puede pensar que es momento de desarrollar esta perspectiva de forma que se transforme en una perspectiva más operativa, que logre describir con mayor claridad cuáles son los recursos *fundamentales* con los que cuentan los estudiantes y de forma más importante cómo es que estos recursos se asocian dando lugar a las expresiones que encontramos diariamente en el salón de clases o en las entrevistas con los estudiantes.

Esta perspectiva aún no logra describir aspectos que podrían considerarse fundamentales para comprender el proceso de aprendizaje, como de qué forma se llevan a cabo estas asociaciones; cómo influye el contexto de la pregunta en las asociaciones que se generan; por qué hay ciertos conjuntos de asociaciones que tienden a adquirir consistencia mientras otros son 'olvidados' o caen en desuso.

En este trabajo de investigación, se describirán recursos que los estudiantes utilizan cuando tratan de darle sentido a fenómenos que pueden explicarse utilizando el modelo cinético molecular de la materia y se hará una primera aproximación a la forma en la que los estudiantes utilizan 'mecanismos' para construir determinadas asociaciones y como consecuencia, determinadas explicaciones. Una de las aportaciones más importantes de este trabajo, dentro de esta perspectiva teórica es la de proponer 'mecanismos' mediante los cuales se puede llegar a explicar por qué se construyen ciertas asociaciones y cómo éstas se relacionan con el fenómeno presentado. Trata de ser, como dice Hammer

(2004), un *modesto paso teórico* que nos permita comprender y explicar de mejor manera el proceso del cambio conceptual, es decir, cómo es que un estudiante transforma sus nociones intuitivas, la mayoría de las veces alejadas de las nociones científicas, en nociones más poderosas que le permiten explicar de forma más consistente y coherente los diferentes fenómenos naturales.

Las preguntas particulares que guían esta investigación y que se enmarcan en esta perspectiva teórica son:

- ¿Cuáles son los recursos conceptuales que los estudiantes utilizan en la construcción de explicaciones sobre fenómenos relacionados con la estructura de la materia?
- ¿Cómo se ‘asocian’ estos recursos conceptuales para configurar explicaciones?
- ¿Cómo se relaciona el uso de los recursos conceptuales y su asociación con el contexto específico del fenómeno en cuestión?
- ¿Cómo se modifica el uso de los recursos conceptuales y su asociación con el nivel escolar de los estudiantes?

Desde la perspectiva de los recursos conceptuales, este trabajo busca aportar elementos ‘más pequeños’ o de ‘grano fino’ que den cuenta no sólo de las concepciones o ideas de los estudiantes respecto a un tema en particular sino de forma más importante de los *procesos de construcción* de estas ideas. Estos elementos permitirán mejorar nuestra comprensión del proceso de aprendizaje y de algunos factores que son relevantes durante éste.

CAPÍTULO 3

LA NATURALEZA CORPUSCULAR DE LA MATERIA Y LAS IDEAS DE LOS ESTUDIANTES

3.1 El modelo corpuscular de la materia

La idea de que la materia está formada por partículas (corpúsculos) es fundamental en la ciencia moderna. Richard Feynman, sugirió que ésta es, de hecho, la idea más importante en la ciencia:

“Si en un cataclismo se destruyera todo el conocimiento científico y solamente una frase pudiera pasar a la siguiente generación de criaturas, ¿qué aseveración contendría la mayor cantidad de información en la menor cantidad de palabras? Creo que la *hipótesis atómica...* que todas las cosas están hechas de átomos *–pequeñas partículas que se mueven azarosamente con movimiento perpetuo, atrayéndose unas a otras cuando están a una pequeña distancia pero repeliéndose cuando se les hace aproximarse demasiado unas a otras.* En esa única frase hay una cantidad *enorme* de información acerca del mundo, si se aplica un poco de imaginación y razonamiento”

(Feynman, Leighton & Sands, 1963, p.1-2)

De acuerdo con el pensamiento científico actual, los materiales aparentemente continuos están formados de un número enorme de partículas diminutas. La naturaleza de estas partículas y la forma en la que se unen permite explicar

muchas de las propiedades de los materiales. Por ejemplo, las diferencias entre sólidos, líquidos y gases se pueden explicar mediante la interacción entre partículas. Distintos modelos de partículas permiten generar explicaciones para fenómenos como la conducción de electricidad de los metales, la diferencia en los puntos de fusión y ebullición de diferentes sustancias, la solubilidad de los materiales en agua, etc.

Modelos más complejos permiten explicar distintos aspectos de las reacciones químicas: la reactividad y los patrones de reacción de diferentes sustancias. Los modelos que utilizan partículas son ubicuos en la ciencia moderna y científicos de muchos campos comúnmente piensan acerca de las propiedades de los materiales (incluyendo los materiales biológicos como las proteínas) en términos de la composición y la estructura a nivel de moléculas y otras partículas. Todo ello sugiere que esta idea es fundamental e indispensable para comprender y explicar muchos fenómenos naturales.

La centralidad de esta idea se refleja en el currículo escolar en México y en diversas partes del mundo (Johnson, 1998). En México el modelo corpuscular se introduce formalmente en la escuela (SEP, 2006) en segundo año de secundaria y se continúa utilizando a lo largo de la educación secundaria y en el bachillerato en los diversos cursos de ciencias. En otros lugares del mundo (v.g. Reino Unido, Estados Unidos de América y Nueva Zelanda) el modelo corpuscular ha sido señalado como una 'idea central' en el currículo y aparece con distintos niveles de profundidad a lo largo de toda la educación básica (DfEE, 1999; NAS, 1996; MoE, 1993). De esta forma se reconoce que esta idea es fundamental para la comprensión de diversos conceptos científicos, además de ser un modelo poderoso que puede utilizarse para enseñar (y aprender) aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia, tales como el uso de modelos y el desarrollo histórico de éstos.

3.2 Las concepciones de los estudiantes sobre el modelo corpuscular

La importancia de este modelo en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia, ha motivado múltiples investigaciones respecto a las concepciones de los estudiantes a este respecto así como a distintos aspectos que influyen en la construcción de estas concepciones.

A continuación se resaltan algunos aspectos que se consideran importantes para situar a los lectores respecto a las concepciones más comunes que se han encontrado en este tema, así como a sus características más importantes. Esto nos permite hacer énfasis en la amplia base empírica a partir de la cual se desarrolla el presente trabajo, que no tiene como objetivo investigar cuáles son estas concepciones, sino más bien, profundizar en los elementos que permiten la construcción de estas concepciones. Aún cuando este es un tema que ha sido ampliamente investigado, los estudios realizados no se han abocado a hacer un análisis de 'grano fino', que atienda a los detalles de construcción de las concepciones, como se hace en el presente trabajo.

Diversas investigaciones han identificado que los estudiantes sostienen una diversidad de concepciones acerca de la naturaleza de la materia (Novick & Nussbaum, 1981; Johnson, 1998, Tytler, 2000; Stavy, 1995; Harrison & Treagust, 2002; Eilam, 2004; Mortimer, 1998; Gómez-Crespo & Pozo, 2004; Anderson, 1990; Renstrom et al, 1990) y en muchas ocasiones estas concepciones son muy diferentes al modelo escolar.

Muchas de las concepciones alternativas que tienen los estudiantes se relacionan con la tendencia que tienen de interpretar el mundo microscópico en términos macroscópicos, así como con la dificultad de interpretar fenómenos observables en términos de interacciones entre átomos y moléculas (Gómez-Crespo, 2005).

Algunas de las concepciones que más se reportan en este tema (Harrison & Treagust, 2002) son:

- La materia es continua

- Se atribuyen propiedades macroscópicas a las partículas
- Las partículas son estáticas
- La materia no se conserva en los cambios de fase

Mortimer (1998) ha encontrado que un mismo individuo puede utilizar diferentes concepciones, aun si estas son inconsistentes o incoherentes (desde el punto de vista del currículo). Gómez Crespo y Pozo (2004) y Tytler (2000), han encontrado también que los estudiantes tienen concepciones múltiples acerca de la estructura de la materia y las utilizan de acuerdo al contexto de la pregunta o a los imperativos sociales.

En términos generales, se ha encontrado algunos aspectos que dificultan a los estudiantes estructurar el modelo corpuscular, entre ellos se pueden resaltar (Gallegos, 2002):

- La existencia de vacío entre las partículas. La conceptualización del espacio vacío entre las partículas no es común en estudiantes de nivel secundaria. Muchos estudiantes sugieren que entre las partículas hay 'algo', aire, o bien, una porción de la misma sustancia que se describe.
- El movimiento intrínseco de las partículas. Dado que los estudiantes hacen énfasis en los aspectos que pueden percibirse de los fenómenos, en los sólidos y muchas veces en los líquidos, los estudiantes no consideran que las partículas se están moviendo.
- Las partículas tienen propiedades similares a las de las sustancias. Si bien, los estudiantes utilizan el término partículas y pueden no tener dificultades para conceptualizar la discontinuidad de la materia (en el sentido de que la materia se puede dividir en muchos pedazos), muchas veces estas partículas se consideran fracciones pequeñas de la sustancia o material. Así, es común que los estudiantes consideren que las partículas se expanden cuando el material se expande, o bien, que las partículas de hielo son sólidas, o que las partículas de un material azul son azules.

- Muchos estudiantes tienden a pensar que las partículas están en los materiales, y no que los materiales están compuestos únicamente por partículas. Mientras que en el modelo científico, las propiedades de las sustancias (v.g. punto de fusión y ebullición, color, maleabilidad), se explican a partir de las interacciones entre las partículas que las forman, muchos estudiantes simplemente le dan la propiedad macroscópica a las partículas y construyen sus explicaciones a partir de estas asignaciones.
- También es común que los estudiantes den explicaciones en términos teleológicos o antropomórficos, en las que las partículas ‘buscan’ cubrir una necesidad o ‘necesitan’ comportarse de un modo determinado.

3.3 Nuestra investigación sobre las concepciones de los estudiantes

Desde la perspectiva teórica que se ha desarrollado en el capítulo anterior, es posible indagar cuáles son los factores determinantes para que los estudiantes construyan una concepción determinada frente a un contexto o pregunta particular. ¿Cuáles son los recursos conceptuales con los que cuenta un estudiante y cómo se activan frente a una demanda determinada? ¿Existen ciertas activaciones de recursos más exitosas que otras? ¿Pueden estos patrones de activación dar cuenta de la ‘estabilidad’ y ‘resistencia’ de las concepciones alternativas que los estudiantes tienen respecto a la naturaleza corpuscular de la materia?

Como se ha mencionado anteriormente, la existencia de una amplia base empírica como la descrita, nos permite comenzar esta investigación tomando estos resultados como referentes, de esta forma, se pueden orientar nuestras ideas respecto a los aspectos del modelo corpuscular que resultan más problemáticos y que generan un mayor número de concepciones por parte de los estudiantes, para tratar de encontrar qué es lo que subyace a estas concepciones y cuáles son los recursos conceptuales que permiten a los estudiantes estas construcciones.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

Antes de comenzar con la descripción de los métodos de recolección y análisis de los datos que se utilizaron en esta investigación, en la sección 3.1 se hace una descripción de la perspectiva metodológica que se considera en la misma y que, por supuesto, se relaciona con la posición teórica que ha sido descrita en los capítulos anteriores, así mismo se hace una descripción de la teoría fundada como la aproximación analítica que se utilizó en el proceso de análisis de los datos. En la sección 3.2 se exponen los aspectos más *prácticos* de la investigación, tales como la población, los métodos de recolección de datos y la construcción de las categorías de análisis.

4.1 Perspectiva de la investigación

La metodología se refiere a las elecciones que hacemos en una investigación acerca de cuáles casos se estudian y cuáles son las formas de análisis de los datos (Silverman, 2005). Por ello, la elección de ésta determina los métodos que se utilizan y también se relaciona con la posición teórica que tenemos frente al problema que nos ocupa. De acuerdo con Taylor y Bogdan (1998, p. 3), “nuestras suposiciones, intereses y propósitos dan forma a la metodología que elegimos”.

4.1.1 Perspectiva cualitativa en la investigación

Los fenómenos sociales como el aprendizaje, son fenómenos complejos y requieren por lo tanto del desarrollo de métodos de análisis que puedan dar cuenta de esta complejidad, de la variación que existe en las formas de comprender y analizar la realidad desde perspectivas diversas. El aprendizaje de

las ciencias, requiere un estudio detallado y profundo de los individuos que aprenden y cómo aprenden. De acuerdo con ello, la aproximación que parece más adecuada en un trabajo como éste, que busca comprender la forma en la que los estudiantes construyen las múltiples representaciones sobre la estructura de la materia, es una metodología de investigación cualitativa, que también puede denominarse, una perspectiva interpretativa.

La investigación cualitativa hace énfasis en la *relevancia* del estudio que se lleva a cabo, en las cualidades, los procesos y los significados que no pueden examinarse ni medirse experimentalmente. Ello no implica que un análisis cualitativo sea un análisis superficial e impresionista sobre las situaciones y las personas. La investigación cualitativa es una investigación conducida de manera sistemática, rigurosa, si bien, no necesariamente sigue una serie de procedimientos estandarizados. No existen reglas para la investigación cualitativa aunque sí algunas guías; en cierta forma, cada investigador es un artesano, porque requiere creatividad para mirar los datos y encontrar formas diversas de darles sentido (Taylor y Bogdan, 1998).

4.1.2 El método de la ‘teoría fundada’³ como aproximación al análisis de los datos

Dentro de la multiplicidad de métodos que pueden utilizarse para aproximarse al problema cualitativo de la construcción de representaciones de los estudiantes respecto a la estructura de la materia, la propuesta heurística de la ‘teoría fundada’ (Glaser, 2002; Glasser y Strauss, 1999, Strauss y Corbin, 1998) puede ser una aproximación fructífera, dado que propone elementos de análisis que permiten generar un modelo explicativo basado en los datos que se están estudiando.

³ En este caso se utiliza el término de teoría fundada como traducción del original *grounded theory*. Sin embargo, en este caso entendemos la ‘teoría’ como una serie de conceptos y relaciones entre ellos, sin que necesariamente presenten la esquematización de una ‘teoría’.

“Como el nombre sugiere, la teoría fundada, se encuentra anclada en las palabras, las experiencias y el sentido que les da cada uno de los participantes. Los investigadores no comienzan con una teoría que deben probar, comienzan con un área de interés y un proceso analítico sistemático”

(Jones, 2002, p. 176)

De acuerdo con Strauss y Corbin (1999), el valor de esta metodología radica en la posibilidad, no solamente de generar un modelo explicativo, sino, sobre todo, de que este modelo esté firmemente anclado en los datos: “... *sin estar fundada en los datos, la teoría es especulativa, y por lo tanto, inefectiva*” (Strauss, 1987, p. 1). Más que un método o técnica específica de investigación, la teoría fundada es un estilo de análisis cualitativo que incluye ciertas características distintivas tales como el muestreo teórico, y algunas guías metodológicas, tales como el uso de comparaciones constantes (Strauss, 1987). Charmaz (1995) sostiene que desde esta perspectiva, el análisis consiste en una serie de estrategias inductivas para analizar los datos: puede comenzar con algunos casos individuales y progresivamente se desarrollan categorías conceptuales más abstractas que permiten sintetizar, explicar y comprender los datos así como las relaciones y los patrones dentro de ellos. Estos métodos unen, de forma explícita, el proceso de investigación con el desarrollo teórico, ofreciendo a los investigadores procedimientos rigurosos para revisar, refinar y desarrollar sus ideas e intuiciones acerca de los datos.

“Un análisis de esta naturaleza comienza con los datos y termina de forma cercana a los datos. Las categorías de abstracción se construyen directamente sobre los datos y se revisan y refinan para obtener más datos. Este tipo de análisis, por lo tanto, provee un análisis conceptual denso de los problemas empíricos”

(Charmaz, 1995, p. 28)

El proceso analítico de la teoría fundada es un juego de idas y vueltas entre el investigador y los datos y si bien, requiere de procedimientos rigurosos y sistemáticos, al mismo tiempo, requiere que el investigador sea creativo, que haga preguntas relevantes, que encuentre relaciones inesperadas, que encuentre sentido en los datos de los que dispone (Strauss y Corbin, 1998).

Las categorías que se proponen en un análisis de este tipo pueden tener su origen en modelos existentes, sin embargo, se hace énfasis en las categorías emergentes y en la forma en la que esas categorías existentes se relacionan con las categorías emergentes de forma que permanezcan *fieles* a los datos que describen y a partir de los que surgen.

En el proceso de generar un modelo, la recolección de datos, la codificación y el análisis deben hacerse de manera simultánea tanto como sea posible. Los límites entre estos procesos deben ser borrosos y entretenerse continuamente desde el principio hasta el final de una investigación (Glaser y Strauss, 1999, p. 43). La codificación de los primeros datos se hace de forma abierta y requiere que el investigador desarrolle *sensibilidad teórica* que le permita determinar cuáles son las categorías relevantes en sus datos y cuál es la dirección a seguir (Glaser, 1978). La primera codificación se hace línea por línea, definiendo las acciones conforme aparecen en los datos; este tipo de codificación ayuda a adoptar una posición teórica frente a los datos, generando distancia entre las suposiciones de los que responden y del investigador (Charmaz, 1995). Conforme se van codificando más datos, el investigador puede proponer categorías que considere relevantes y tratar de hacerlas más densas conceptualmente, así como desarrollar una idea de hacia dónde debe seguir la investigación.

De acuerdo con Charmaz (2003), los criterios mediante los cuales se puede evaluar el modelo generado son: adaptabilidad, funcionabilidad, relevancia y modificabilidad. Las categorías generadas y los modelos que emergen a través de la relación sistemática entre éstas deben adecuarse a los datos, deben poder

aplicarse a los datos que se han recogido a lo largo de la investigación, las categorías deben explicar los datos que contienen y que les dieron origen. Por otro lado, la teoría generada debe ser funcional, y proporcionar cierto orden conceptual en los datos, que le permita explicar distintos fenómenos. La relevancia del modelo generado se deriva del hecho de que proporciona explicaciones analíticas de problemas reales y da cuenta de la variación; es flexible porque los investigadores pueden modificar sus análisis emergentes o establecidos cuando las condiciones cambian o cuando se recogen más datos. Un ejemplo de uso 'exitoso' de la aproximación de la 'teoría fundada', puede encontrarse en el trabajo de Taber (2000b), quien propuso un modelo que los estudiantes construyen para explicar el enlace químico y a partir de este diseñó algunos instrumentos (cuestionarios y esquemas), que le permiten generalizar sus resultados.

Algunos investigadores como Hammer (2004) y Redish (2005) sostienen que en el campo de la enseñanza de las ciencias, estamos en un periodo de definiciones, en el que se han acumulado muchos datos desde distintas perspectivas y es el momento de comenzar a buscar modelos unificadores que permitan encontrar sentido y dar cuenta de la relación entre éstos. La generación de un modelo que pueda explicar las múltiples representaciones de los estudiantes puede ser una contribución importante en esa dirección.

4.2 Metodología de la investigación

En lo siguiente, se hace una descripción de la metodología que fue utilizada en el desarrollo de este trabajo, tratando de dar cuenta de los diferentes aspectos que se consideran relevantes y que pueden utilizarse para analizar la confiabilidad de la interpretación de los datos que se presenta en el siguiente capítulo.

4.2.1 Población

4.2.1.1 Estudio piloto

Adicionalmente a las entrevistas que fueron consideradas en la muestra final, se llevó a cabo un estudio piloto de 5 entrevistas en la misma escuela en la ciudad de México. Estas primeras entrevistas (5) fueron realizadas con pares de alumnos de tercero de secundaria (3), primer año de bachillerato (1) y segundo año de bachillerato (1). Dichas entrevistas fueron video grabadas (con el consentimiento de los estudiantes y de las autoridades de la escuela) y fueron utilizadas con diferentes propósitos: para probar que los fenómenos que se presentaban fueran interesantes para los estudiantes y motivaran la discusión; como entrenamiento en las entrevistas, para verificar que las intervenciones no fueran de tipo “maestro”, sino que fueran adecuadas para explorar e indagar de manera profunda sobre el pensamiento de los estudiantes. A partir de estas entrevistas “piloto” se determinó que las entrevistas se realizarían de manera individual, porque si bien, la interacción entre los estudiantes resulta muy rica, podría distraer nuestra atención del objetivo principal. En este estudio piloto se presentaron algunos fenómenos que se decidió no presentar en la muestra principal debido a que resultaban confusos para los estudiantes, o bien, no parecían evocar explicaciones de su parte.

4.2.1.2 Muestra final

Debido a la naturaleza de este estudio, básicamente se tienen dos poblaciones diferentes, lo cual se debe a las condiciones en las que se llevó a cabo la investigación y dada la naturaleza del análisis (sección 3.1), permitió que se fuera desarrollando sensibilidad teórica, que permitiera modificar las preguntas en las entrevistas o bien los fenómenos presentados y también de forma que se pudiera hacer un análisis de los datos antes de llevar a cabo el siguiente grupo de entrevistas, lo cual como se verá más adelante permite un mejor desarrollo de las categorías de análisis.

La población que se considera para el análisis de datos consiste en dos grupos:

Grupo 1: La mayor proporción de las entrevistas fue llevada a cabo en la ciudad de Cambridge, Inglaterra en una estancia de investigación, durante un periodo de cuatro meses en cinco escuelas secundarias diferentes. Para el análisis final se consideraron 34 entrevistas de este grupo.

Grupo 2: En la ciudad de México se llevó a cabo otra proporción importante de las entrevistas. Éstas entrevistas se realizaron en una escuela privada (secundaria y bachillerato) de la que la autora había sido profesora anteriormente, lo cual facilitó el acceso. Para el análisis final se consideraron 13 entrevistas de este grupo, las cuales se llevaron a cabo en un periodo aproximado de dos meses.

Grupo 3: Algunos estudiantes de la ciudad de México, de edades entre 17 y 18 años.

En la tabla 4.1, se describe la composición de la muestra final, considerando los grupos de edades y ciudades de pertenencia.

Edad	Ciudad de procedencia		Total
	Cambridge, Inglaterra	Ciudad de México, México	
13 – 14	21	3	24
15 – 16	13	7	20
17 – 18		3	3
Total	34	13	47

Tabla 4.1 Descripción de la muestra de estudiantes

4.2.1.3 Características de los estudiantes y acceso a la muestra

Si bien, ya se ha detallado la composición de los grupos que se consideran en el análisis de datos, es importante señalar las características de los estudiantes que participaron.

- Tanto en el grupo de estudiantes en la ciudad de Cambridge, como en la ciudad de México, lo primero que se llevó a cabo fue un contacto con las autoridades escolares. En Cambridge el contacto fue principalmente con los jefes del departamento de Ciencias Naturales de las cinco escuelas participantes, a quienes se les explicaron los objetivos y alcances del estudio. Estos jefes de departamento fueron los encargados de establecer contacto con los profesores de los estudiantes quienes solicitaron voluntarios de entre sus estudiantes, dando una explicación breve de la actividad que realizarían. En todas las escuelas se me asignó un lugar silencioso y con buenas facilidades para llevar a cabo la entrevista y audio grabarla. En México, la escuela donde se llevaron a cabo las entrevistas era familiar para la autora quien había trabajado ahí en años anteriores. Una vez comentado con el director de la secundaria cuál era el propósito del estudio y los alcances, fueron acordadas las horas y el espacio en los que se llevarían a cabo las entrevistas y audio grabarlas.
- En todos los casos, los estudiantes eran voluntarios, lo cual hace que el estudio no tenga (intencionalmente) un sesgo hacia estudiantes de buen o mal desempeño académico. Sin embargo todos los estudiantes que participaron de alguna forma tenían un interés o una motivación por hablar de cosas de 'química' aún fuera del horario establecido en la escuela. Una vez que la entrevistadora se encontraba con los estudiantes establecía una primera aproximación en la que se aclaraba:
 - o Cuáles eran los objetivos de la investigación y la importancia de la participación de los estudiantes.
 - o Cuál era la participación que se necesitaba de los estudiantes en términos de no juzgar sus respuestas como correctas o incorrectas,

sino más bien solicitarles que elaboraran sus ideas tan espontánea como razonadamente fuera posible para tratar de entender cómo explicaban o entendían los fenómenos que se les presentaban.

- Que su participación sería anónima, y que ninguna persona además de la entrevistadora tendría acceso al material que proporcionaban y a su identificación. Durante todo este trabajo los estudiantes se identifican con una clave compuesta por la letra del país de procedencia, su edad, la primera letra de su nombre y la primera letra de su escuela. Esta clave permite a la analista tener un registro cuidadoso de las entrevistas, sin que se revele la identidad de los entrevistados. Cuando se utilizan nombres propios, se hace utilizando nombres falsos cuyas iniciales coinciden con las iniciales del nombre real del entrevistado y con el género.
- En general, las entrevistas tuvieron una duración de entre 20 y 50 minutos, tiempo determinado algunas veces por los horarios escolares y otras veces por la atención y participación de los estudiantes.

4.2.2 Método de recolección de datos: la entrevista

El método que se ha utilizado en este estudio para recoger los datos que nos permitirán explicar la forma en la que los estudiantes construyen sus explicaciones es a través de entrevistas semi-estructuradas, que tienen como propósito presentar a los estudiante una serie de fenómenos, como lo proponen Osborne y Freyberg (1987), en las denominadas 'entrevistas sobre eventos'. Las entrevistas son un método comúnmente utilizado en la investigación educativa porque nos permiten tener contacto personal con los estudiantes logrando, no solamente que el estudiante nos explique un fenómeno, sino también poder conocer cuál es el significado de las palabras que utiliza, la forma en la que construye las concepciones que expresa y el rango de aplicabilidad de las mismas.

Más allá de ser un impersonal “recogedor de datos” en este caso el entrevistador, más que el guión de entrevista, es en sí mismo un instrumento de investigación. Su papel no se reduce a obtener respuestas sino también a aprender cuáles preguntas preguntar y cómo hacerlo. Es por ello que la entrevista se plantea como semi-estructurada porque si bien, existen algunas ‘preguntas-guía’ en relación con cada uno de los fenómenos, es importante tener la oportunidad de *seguir* el pensamiento de los estudiantes, de forma que pueda lograrse comprender la forma en la que construyen las explicaciones para los fenómenos y los recursos o mecanismos que utilizan para hacerlo.

Todas las entrevistas fueron audio-grabadas y transcritas para su posterior análisis. La transcripción se hizo de manera íntegra, añadiendo signos de afirmación e interrogación cuando la entonación de la grabación así lo sugiere. Las pausas se marcaron con puntos entre paréntesis (...) y cuando se añade algo que no es verbal, como risas o gestos, se pone entre corchetes []. Se buscó siempre que la transcripción fuera lo más fiel posible a la entrevista y para ello, las transcripciones se llevaron a cabo lo más pronto posible después de realizar la entrevista. Esto tiene como ventaja, pensar en preguntas diferentes que pudieran utilizarse para las entrevistas siguientes y también facilita iniciar el proceso de análisis de los datos de manera temprana en la investigación.

4.2.2.1 Las preguntas de la entrevista

Las preguntas guía en este caso, consisten en solicitar a los estudiantes para cada fenómeno:

- Predice qué va a ocurrir
- Describe lo que ocurre
- Explica por qué crees que ocurre de esa forma
- Representa gráficamente lo que ocurre

A partir de la revisión bibliográfica sobre las ideas de los estudiantes respecto al tema que se estudia así como teniendo claro que el objetivo central de la investigación es tratar de comprender la forma en la que los estudiantes construyen sus explicaciones, algunos puntos a los que es importante prestar atención durante el curso de la entrevista son:

- Insistir en que los estudiantes vayan más allá de ‘nombrar’ el fenómeno como si ello constituyera una explicación.
- Pedir que reflexionen sobre una explicación dada con anterioridad y que la apliquen en un fenómeno distinto, de forma que se pueda reflexionar sobre la consistencia y rango de aplicabilidad de las explicaciones.
- Tener claro que es posible que los estudiantes se enfrenten por primera vez a los fenómenos presentados y que no estén familiarizados con lo que implica dar explicaciones, por lo que siempre es necesario tratar de ir más allá de la primera respuesta e indagar qué es lo que el estudiante está queriendo decir.
- Sugerir a los estudiantes que utilicen el modelo cinético–corpuscular para explicar los fenómenos, en caso de que no lo hagan de forma espontánea. Es posible sugerir: “si pensaras que está formado por pequeñísimas partículas, ¿te ayudaría a explicar?”
- Tener claro cuándo los estudiantes se están refiriendo a las sustancias y cuándo a las partículas. Si se utilizan muchas palabras como “estas”, “aquellas”, etc., será difícil distinguir a qué se refieren los estudiantes, y ello pudiera impedir el análisis apropiado de los datos.

4.2.3 Fenómenos presentados

A partir de la experiencia propia y apoyada en la revisión de la literatura, se sugirieron diversos fenómenos que podrían presentarse a los estudiantes, de forma que se hicieran explícitas sus concepciones y procesos de construcción en tres contextos ‘químicos’ diferentes (cambios de estado, formación de mezclas y disoluciones y reacciones químicas). Debido al tiempo requerido para explicar los

fenómenos, estos no fueron presentados en cada una de las entrevistas, ni se siguió un orden específico para presentarlos, dado que el desarrollo de la sensibilidad de quien entrevista permite decidir qué fenómenos se pueden presentar en secuencia para lograr que el estudiante explicita sus procesos de construcción. Los fenómenos que se presentaron se enumeran a continuación y se describen brevemente.

1. Difusión de colorante vegetal en agua

Se pone un poco de agua en un vaso transparente y se agregan un par de gotas con colorante vegetal. Se pide a los estudiantes que observen detenidamente qué es lo que ocurre y la forma en la que se dispersa el colorante.

2. Disolución de sal en agua

Se pone un poco de agua en un vaso transparente y se agrega un poquito de sal de mesa, se espera algún tiempo para que puedan observar qué ocurre con la sal y se solicita que lo expliquen.

3. Mezcla de alcohol y agua

Se miden 50 mL de alcohol y 50 mL de agua en dos probetas diferentes y se agregan a un matraz aforado de 100 mL. Se solicita a los estudiantes que observen el nivel alcanzado por la mezcla y se marca con un plumón indeleble; se agita de nuevo y se hace notar el nivel alcanzado por la mezcla.

4. Reacción de cloruro de sodio con nitrato de plata

Se prepara frente a los estudiantes una disolución de cloruro de sodio en agua destilada y otra disolución de nitrato de plata en agua destilada. Se hace notar a los estudiantes la transparencia de ambas disoluciones. Se añade un poco de la disolución de nitrato de plata a la disolución de cloruro de sodio y se solicita a los estudiantes que observen lo ocurrido.

5. Difusión de un cristal de permanganato de potasio

Se coloca un poco de agua en un vaso de cristal y se añade un cristal de permanganato de potasio. Se solicita a los estudiantes que observen de qué forma el color morado se difunde en el agua.

6. Derretimiento de un hielo

Se coloca un hielo en una superficie de cristal y se pide a los estudiantes que observen los cambios.

7. Intento de mezcla de aceite con agua

Se coloca un poco de agua en una probeta o vaso de precipitados y se añade un poco de aceite vegetal. Se agita y se pide a los estudiantes que observen lo que ocurre.

8. Tensión superficial (una capa de canela a la que se agregan unas gotas de jabón)

Se coloca un poco de agua destilada en una caja petri y se esparce una capa de canela en polvo. Con una pipeta o gotero, se añade una gota de disolución jabonosa y se pide a los estudiantes que observen.

9. Reacción ácido base

Se pone un poco de disolución ácida en un vaso de precipitados y se añade un indicador ácido- base, se pide a los estudiantes que observen los cambios. Se añade lentamente una disolución básica, permitiendo que los estudiantes observen los cambios y se agita. Se continúa añadiendo la disolución básica hasta que el color ya no cambia.

10. Evaporación (pensado)

Se pide a los estudiantes qué expliquen qué es lo que ocurre cuando una muestra de agua se evapora.

11. Dilatación de un metal (pensado)

Se describe a los estudiantes lo que ocurre cuando un metal se calienta (y en algunos casos se presentan ejemplos cotidianos), haciendo énfasis en el hecho de que el metal cambia de tamaño. Se pide a los estudiantes que expliquen a qué se debe este hecho.

12. Difusión de gases (pensado)

Se solicita a los estudiantes que expliquen algunos fenómenos de difusión de gases, particularmente la difusión de olores provenientes de un alimento que se está cocinando.

4.2.4 Construcción de las categorías de análisis

En esta sección se da cuenta de la manera en la que se generaron las categorías, a partir del análisis de los datos que se obtuvieron de las entrevistas.

Una vez que se tienen las transcripciones del primer grupo de entrevistas, se procede a hacer una lectura detallada, que permita encontrar los elementos que los estudiantes utilizan para construir sus explicaciones. La perspectiva de análisis obliga a buscar *más allá* de las ‘concepciones’ expresadas por los estudiantes, por lo que durante el análisis se buscan aquellos elementos que ‘configuran’ las explicaciones, es decir, buscando identificar algunas características del pensamiento de los estudiantes acerca de los fenómenos relacionados con la estructura de la materia. El primer grupo de entrevistas fue analizado generando *códigos-abiertos* (Strauss & Corbin, 1998), que reflejan las características de las explicaciones de los estudiantes.

Una vez generados estos códigos, se realizaron más entrevistas y se llevó a cabo el análisis tratando de generar más “códigos abiertos”. A través del mecanismo de “comparación constante” fue posible encontrar algunos constructos que parecían consolidarse como categorías, dado que era posible ubicarlos en las explicaciones

de estudiantes diferentes para fenómenos diferentes. Estos constructos o categorías, parecían denotar algunos *mecanismos intuitivos* de explicación, lo cual nos permitió apoyarnos en la noción de “primitivos fenomenológicos” propuesta por diSessa (1993) y desarrollada posteriormente por Hammer (2004) y otros (Smith, diSessa y Roschelle, 1993), ya que estos parecían ser una buena forma de sistematizar los datos y encontrar las regularidades que se estaban buscando. Con la propuesta de los “primitivos fenomenológicos” y una descripción inicial de los que serían utilizados, se procedió a analizar otro grupo de entrevistas, así como las que habían sido revisadas inicialmente. Fue posible entonces encontrar que estos “primitivos fenomenológicos” son útiles para describir las representaciones que los estudiantes de estos niveles construyen cuando tratan de explicar o predecir fenómenos relacionados con la estructura de la materia. Por otro lado, encontramos que los estudiantes utilizan ciertos *mecanismos* más relacionados con las acciones o atributos de las partículas y que también permiten describir las explicaciones de los estudiantes. De esta forma, las entrevistas fueron analizadas usando estas categorías en un proceso iterativo de análisis.

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan las categorías de análisis que se han construido durante este trabajo de investigación y se muestra cómo se han utilizado para analizar las explicaciones de los estudiantes con diferentes objetivos y en diferentes niveles de detalle.

En primer lugar, se presenta la descripción detallada de los mecanismos encontrados, con algunos ejemplos que permitan ilustrarlos y se hace lo mismo con los primitivos fenomenológicos, de forma que se puedan conocer las categorías de análisis que hemos usado para interpretar las entrevistas de los estudiantes.

Una vez que se han descrito los mecanismos y los primitivos fenomenológicos que los estudiantes utilizan para construir explicaciones de los fenómenos presentados, se procede a presentar un análisis sobre el uso de los mecanismos y los primitivos en relación con los diferentes fenómenos. En primera instancia, el análisis se hace sin considerar diferencias entre las edades de los grupos, de forma que pueda mostrarse el uso que los estudiantes, en general, hacen de estos elementos de explicación. Posteriormente se hace un análisis similar, distinguiendo los grupos por nivel escolar, de forma que sea posible determinar si éste tiene alguna influencia en el uso de un mecanismo (o un grupo de ellos).

Finalmente, se presentan algunos ejemplos en los que se muestra de qué forma los mecanismos y los primitivos pueden utilizarse para hacer un análisis detallado

de la forma en la que los estudiantes construyen una explicación y cómo un análisis de este tipo permite dar cuenta de los diferentes procesos de construcción en este nivel.

En todos los casos en los que se presentan ejemplos, se hace referencia a la entrevista de la cual se obtuvieron los fragmentos. Los códigos indican el país (M- México, R - Reino Unido), seguido por la edad de los estudiantes (entre 13 y 18), las dos primeras letras del nombre de la o el estudiante y las dos primeras letras de la escuela de procedencia. Así por ejemplo: **R13EmCh**, corresponde a una estudiante de la ciudad de Cambridge, Reino Unido, de **13** años, llamada **Emily**, procedente de la escuela **Chesterton**. En los fragmentos de las entrevistas, se utiliza una E para las intervenciones del entrevistador y las iniciales del nombre para las intervenciones del alumno.

5.1 Descripción de las categorías de análisis

5.1.1 Mecanismos

Los mecanismos denotan entidades mínimas que permiten explicar los fenómenos y son altamente dependientes del contexto particular, es decir, del fenómeno en cuestión. Los mecanismos son *funcionales*, en el sentido de que permiten explicar cómo ocurren los procesos o fenómenos. En este caso, los mecanismos que los estudiantes utilizan incluyen ciertas acciones ‘mecánicas’ de las partículas, tales como el movimiento, la acomodación y la interacción entre ellas. Estos mecanismos pueden tener relación con la experiencia de los estudiantes, tanto en el contexto escolar como en el cotidiano y son utilizados por el estudiante para *interpretar* los fenómenos, haciendo más concreta la experiencia. De alguna forma, los mecanismos permiten al sujeto *traducir* su percepción del fenómeno en términos conocidos y de forma que adquiera sentido desde su punto de vista. Los mecanismos dan cuenta de un sentido de funcionalidad básico, que se relaciona con la búsqueda de explicaciones causales en un nivel muy básico o elemental por parte de los sujetos.

A continuación describimos los mecanismos (**m**) que los estudiantes usan para la construcción de las explicaciones en el caso de los fenómenos presentados. Se presentan también algunos ejemplos que permiten ilustrar la forma en la que los estudiantes utilizan estos mecanismos en la construcción de sus explicaciones.

m1. Tamaño de las partículas

Las partículas tienen un tamaño determinado y ese tamaño (o el cambio en éste) se puede considerar la *causa* o el responsable de que diversos fenómenos ocurran de la forma en que lo hacen.

Ejemplos

- Mezcla de arena / agua

Em: En la mezcla de sal con agua, se va a volver como amarilla y [la sal] va a desaparecer, pero en esta [arena / agua] no va a desaparecer porque las partículas son más grandes.

(R13EmCh)

- Mezcla de etanol / agua

E: ¿Cómo usarías este asunto de las moléculas y eso para explicar que puede subir su volumen?

Ci: este (...) porque son más grandes [las de alcohol son más grandes] porque tiene más sustancias que el agua

(M15CiM)

m2. Acciones mecánicas de las partículas

Las partículas *llevan a cabo* distintas acciones mecánicas que se utilizan para explicar el fenómeno. Este mecanismo agrupa diversas acciones que las partículas pueden llevar a cabo cuando interactúan y se hace presente cuando las partículas llevan a cabo ciertas acciones tales como 'esconder', 'cargar' o 'lavar' a otras partículas.

Ejemplos

- Disolución de sal en agua

Is: no sé, [el agua] podría separar las partículas de la sal, el agua como que las está limpiando, podría separar sus componentes y se van haciendo más pequeñas.

(M14IsMa)

- Disolución de permanganato de potasio en agua

Sal: aha, porque cuando echaste eso [el permanganato de potasio], a la hora de caer como que jala agua por el peso, igual no se ve pero si jala un poco de agua y eso hace que el agua se empiece a mover y las moléculas se muevan y entonces como tiene movimiento, eso cae y chocan y mueven las moléculas de permanganato y pues así que se empiecen a mover y a distorsionar y a desintegrar.

(M15SalMa)

- Disolución de sal en agua

Ch: Imagino que el agua lo erosiona de alguna forma (...) como que se talla contra la sal (...) algo en la sal reacciona con el agua y lo hace cada vez más chiquito, no sé si porque lo comprime o porque hace que cada grano de sal se desvanezca en partículas más pequeñas y como cada grano de sal debe tener muchas partículas pequeñas, lo parte a la mitad y luego a la mitad de nuevo (...)

(R13ChCh)

m3. Cambio en los espacios entre partículas

Algunos fenómenos se explican utilizando los espacios que hay entre las partículas, como la *causa* principal. La configuración de las partículas o el cambio en esta configuración es *responsable* de los efectos observados.

Ejemplos

- Compresión de aire dentro de una jeringa

Al: [las partículas de gas están] muy, muy comprimidas, no en su máxima compresión porque en ese momento se vuelve líquido, pero al juntarlas mucho, al ejercerles mucha presión, la tendencia que van a tener es a compactarse a juntarse porque están limitadas en el espacio en el que se encuentran.

(M18AlMa)

- Mezcla de etanol / agua

EI: el alcohol tomaría los espacios que hay entre moléculas de agua y sumarían menos en volumen (...) la molécula es un poco dispersa, como que hay espacios entre molécula y molécula por la forma que tiene

(M15EIM)

m4. Se forman nuevas partículas

Un fenómeno puede explicarse porque las partículas se *transforman*, en partículas diferentes, con propiedades diferentes. Los cambios en las propiedades observables de las sustancias son explicables porque se transforman las entidades mínimas que las conforman.

Ejemplos

- Disolución de sal en agua

E: ya lo disolvimos, ¿tú crees que ahí tengo agua y sal (...)?

Ci: no, una sustancia nueva, diferente

E: ¿qué te hace pensar eso?

Ci: pues como se disolvió, no quedaron las dos sustancias separadas, quedó una diferente

(M14CiM)

- Reacción ácido – base

Ma: Las partículas de hidróxido de sodio se unen con las partículas de ácido sulfúrico formando probablemente sodio (mmm) algo y partículas de hidróxido de (mmm) lo que sea ¿no?

(R13MaCh)

m5. Las partículas se unen

Cuando las partículas de sustancias diferentes entran en contacto, la *causa* de los cambios que se observan es que estas partículas se unen, originando los cambios observados.

Ejemplos

- Reacción química entre ácido clorhídrico e hidróxido de sodio
[Cuando se añade indicador universal a una disolución ácida]
So: Solamente están cambiando de color (...), solamente están juntas [las partículas], las de indicador y las de ácido.
(R15SoCh)
- Disolución de permanganato de potasio en agua
Sam: van a desaparecer los cristallitos porque como que empiezan a combinarse con el agua y entonces ya no estarían esos cristallitos ahí, sino que estarían en otro lado
(M14SamMa)

m6. Las partículas se mueven

El movimiento de las partículas, por sí solo, es la *causa* de los cambios que se observan. Los fenómenos y los cambios observados se explican a partir de cambios en el movimiento de las partículas.

Ejemplos

- Disolución de permanganato de potasio en agua
An: los granitos de permanganato [se van separando]
E: ¿y por qué se van separando esos granitos?
An: porque (...) no sé (...) yo creo que el agua se está moviendo y por eso se van moviendo también.
(M14AnMa)
- Disolución de permanganato de potasio en agua
Be: Bueno las partículas cuando entraron, se fueron al fondo y podrían estar moviéndose lentamente hacia arriba y haciendo que el agua se vuelva de color diferente.
(R13BeP)

m7. Las partículas son compatibles

Las partículas tienen ciertas propiedades (no específicas, algunas veces relacionadas con propiedades eléctricas), que hacen que su interacción tenga determinadas características. La compatibilidad es la causa de que la interacción entre las partículas presente determinadas características observables o fenomenológicas.

Ejemplos

- Disolución de etanol en agua

E: ¿y por qué se reduce el espacio entre las moléculas?

Die: porque unas se atraen con otras

E: ¿hasta qué punto podrá disolverse?

Die: hasta que todo el alcohol se disuelva en el agua

E: entonces digamos, esto lo explicarías en términos de los espacios que hay entre (...)

Die: bueno sí, y eso es gracias a la parte polar del etanol que es el OH (...) porque si no fuera el alcohol no tendría forma de relacionarse y quedarían separados

(M18DieMa)

- Mezcla de aceite y agua

E: por qué no se mezclan, por qué por más que le muevas y remuevas no se mezclan

Is: porque a lo mejor las dos sustancias no son compatibles

E: ¿compatibles cómo?

Is: que no tienen parecidas sustancias, algunos componentes no son parecidos, son totalmente distintos

(M14IsMa)

Los mecanismos pueden considerarse de manera aislada, o en asociaciones que resultan productivas. En algunas ocasiones, la utilización de un solo mecanismo permite (desde el punto de vista del estudiante), dar cuenta de los cambios observados, pero en otras ocasiones, se requiere de más de un mecanismo como se describirá más adelante.

En la tabla 5.1, se resumen los mecanismos y se incluyen algunos ejemplos de respuestas de los estudiantes en los que se expresan estos mecanismos.

Mecanismo	Descripción breve	Ejemplos
M1	Tamaño	La arena no se mezcla porque las partículas son más grandes
M2	Acciones	El agua limpia las partículas de sal
M3	Espacios	Al juntarlas mucho las partículas cambian.
M4	Unión	Se juntan las partículas y queda una sustancia diferente.
M5	Nuevas partículas	Cambia de color porque se juntan las partículas.
M6	Movimiento	Las partículas se mueven entre las otras.
M7	Compatibilidad	Unas partículas se atraen con otras.

Tabla 5.1. Síntesis de los mecanismos que los estudiantes usan para construir explicaciones causales para los fenómenos.

5.1.2 Primitivos fenomenológicos

Además de los *mecanismos* que permiten describir con detalle la forma en la que los estudiantes construyen las explicaciones, encontramos también otras nociones que se pueden ubicar de forma más cercana a los *primitivos fenomenológicos* propuestos por A. diSessa (1993). En este caso, las nociones son explicaciones causales mínimas, que no pueden ser *desentrañadas* por quien las está usando para describir o explicar el fenómeno. Estos primitivos tienen, desde el punto de vista del estudiante, una sensación de *naturalidad* y se pueden ubicar utilizando las características propuestas por diSessa (1993), entre ellas, el principio de obviedad y el principio de impenetrabilidad.

En lo siguiente, se presentan los primitivos fenomenológicos que encontramos y que los estudiantes utilizan para construir sus explicaciones y también presentamos algunos ejemplos que nos permiten ilustrar qué clase de intervenciones de los estudiantes reflejan el uso de estos primitivos.

P1. Los componentes determinan las propiedades

Es común que los estudiantes asignen a un compuesto o sustancia, las propiedades de los elementos que lo constituyen. Considerar que existe un componente en la sustancia que es responsable de las propiedades de la misma, parece suficiente como una explicación de los cambios que ocurren cuando se mezclan sustancias o en el caso de una reacción química.

El que alguno(s) de los componentes determinen las propiedades puede ser un recurso conceptual muy poderoso cuando los fenómenos se explican en términos macroscópicos, puesto que explicaría de manera natural que las propiedades de un material están dadas por las de sus componentes. Sin embargo, cuando se aplica para explicar fenómenos a nivel de partículas, puede implicar la idea de que son cualidades prácticamente independientes de las sustancias y que son causantes de las propiedades características que se observan (por ejemplo, la noción de que es el color dentro del colorante el que pinta el agua). Esta noción parece ser auto-explicativa y se utiliza en lugar de interpretar las propiedades de las sustancias utilizando entidades más fundamentales como las partículas y sus interacciones. Usando este primitivo fenomenológico, las propiedades son dadas a las sustancias de acuerdo con su composición, la que no requiere ser explicada desde el punto de vista de los estudiantes.

Ejemplos

- Reacción química de precipitación

Jo: mmm, esa es más difícil... ahí tienes el agua, tienes la sal y tienes el hidrógeno y el oxígeno y además hay... esa es la plata y creo que la plata es la que está haciendo que todo se vuelva turbio porque la plata es el metal, ¿es un metal? ¡Sí, la plata es un metal!

(R14JoS)

- Disolución de permanganato de potasio en agua

EI: El color sale de ellos, no de todos ellos, deja como huellas y es como si pintara el agua

(R13EIP)

- Disolución de sal en agua

Ga: la sal lo pone turbio, tal vez hay un químico en la sal que lo pone turbio (R14GaS)

- Intento de mezclar aceite con agua

Ca: El aceite tiene una cosa que impide que se mezcle con el agua, cuando estás lavando, necesitas agua caliente, creo que es la grasa (...) la grasa es insoluble.

(R16CaP)

P2. Un cambio significativo requiere un agente externo

La acción se considera un atributo crucial en el desarrollo de muchos aspectos de la cognición. De acuerdo con una posición piagetiana, Ogborn y Bliss (1990), establecen que las concepciones de los niños acerca del movimiento se originan a través de sus acciones en el mundo físico y el razonamiento adulto deriva de estas categorías desarrolladas en la edad temprana. De acuerdo con esta noción, debe haber siempre un agente que provoque un cambio, lo cual requiere una sintaxis causal básica, que permite explicar muchos de los efectos que experimentamos en nuestra vida cotidiana y que de acuerdo con Andersson (1986) forma parte central de las explicaciones de los estudiantes en diversos dominios.

Este primitivo, se encuentra estrechamente relacionado con el primitivo fenomenológico propuesto por diSessa (1993), “agente que actúa” (*actuating agency*), de acuerdo con el cual, cualquier cambio observado debe tener un causante identificable fuera del sistema. El movimiento (o el cambio) son vistos siempre como un efecto, por lo tanto, para explicar el cambio, es necesario identificar una causa. Esta noción orienta las ideas más fundamentales de la física, incluso en la instrucción universitaria y es un buen modelo para explicar muchas regularidades físicas. Sin embargo al explicar un fenómeno en términos de partículas de acuerdo con el modelo cinético, es necesario concebir un sistema en el que las partículas tienen movimiento intrínseco (sin un agente identificable), lo cual implica que no solamente los cambios se pueden explicar, sino también los estados de reposo.

Ejemplos

- Disolución de sal en agua

El: ahí ya nada más se va a juntar, si le mueves se puede disolver, depende de cuánta sal le echas, o sea puede que se quede asentada porque ya no pudo disolverse completamente

E: y si no lo muevo, ¿qué le pasa?

El: ahí se va a quedar, porque no hay una acción extra para que pueda disolverse en el agua

(M15EIM)

- Disolución de permanganato de potasio en agua

An: (...) Hay una corriente de convección y cosas así en el agua, eso es lo que ayuda a que las cosas se mezclen.

(R14AnCo)

- Disolución de permanganato de potasio en agua

Be: No lo sé, tal vez, porque hay calor y el calor hace que se vaya para arriba, o (...), solamente se difunde lentamente y se vuelve más como líquido.

(R13BeP)

P3. Las sustancias reaccionan

Algunas ideas expresadas por los estudiantes parecer ser auto-explicativas y no van más allá de considerar que ‘esa es la forma en la que se supone que las cosas pasan’, es decir, que determinada propiedad o comportamiento es una cualidad natural e inherente que se espera en un contexto determinado. En el contexto de la química, muchos de los cambios que ocurren se explican a partir de la ocurrencia de reacciones químicas. La mayoría de los estudiantes entrevistados tienen experiencia con fenómenos químicos, lo cual puede explicar que hayan construido un *primitivo*, según el cual, cualquier cambio en el sistema puede relacionarse directamente con la ocurrencia de una reacción química. Ante un fenómeno en el que se presentan cambios en las propiedades observables de las sustancias, puede esperarse que los estudiantes respondan con un primitivo de la

forma 'un cambio implica una reacción química'. En este sentido, la reacción química, parece ser una explicación en sí misma para distintos fenómenos, es decir los cambios ocurren porque las sustancias reaccionan, sin que ello pueda ser explicado en términos de partículas e interacciones entre ellas.

Ejemplos

- Disolución de colorante vegetal en agua

Jo: (...) no lo sé, creo que tal vez (...) creo que han reaccionado juntos, así que ahora es agua verde, más que colorante y agua.

(R14JoS)

- Disolución de sal en agua

E: ¿Por qué se disuelve la sal?

Ga: Porque reacciona con el agua (...) y cuando reacciona empieza a disolverse en ella.

(R14GaS)

E: ¿cómo es ese proceso de la disolución?

Is: cuando echas cualquier sustancia a una sustancia líquida se empieza a derretir

(M14IsM)

P4. Existe un único componente activo

Algunos estudiantes sugieren que cuando las sustancias interactúan solamente una de las sustancias que participan es responsable de los cambios. En muchas ocasiones es la sustancia que se considera más fuerte, la que es activa, mientras que la otra sustancia involucrada tiene un rol más bien pasivo. Esto podría relacionarse con la noción de Andersson (1986) de la 'experiencia gestáltica de la causa', dado que para explicar los cambios observados se identifica un agente activo, uno pasivo, y un instrumento. En este caso, el contacto entre ambas sustancias puede considerarse el instrumento. El *agente* que ocasiona los cambios en este caso, no es externo, sino más bien es una de las sustancias que participan directamente pero que tiene un papel preponderante frente a la otra

sustancia. En muchas de estas explicaciones hay un fuerte componente antropomórfico, de acuerdo con el cual las sustancias o las partículas “hacen” cosas, muy similares a las que “hacemos” todos los días para conseguir cambios en las cosas. En este caso, uno de los participantes solamente recibe los esfuerzos del otro, quien en última instancia es responsable del cambio.

Ejemplos

- Disolución de permanganato de potasio en agua

E: ¿Qué quieres decir con reacciona?

Ci: pues que el agua tuvo algo que ver para que la sustancia del permanganato pudiera hacerse un poco líquido y expandirse en el vaso (M15CiM)

- Disolución de sal en agua

Ben: Cuando entra al agua, como que esta hace que el material (...) se derrita, cuando el sólido se convierte en líquido, como que el agua lo erosiona y lo desprende (...)

(R13BenP)

P5. Predisposición estática

Se ha encontrado que un componente importante del sentido intuitivo de mecanismo mediante el cual los estudiantes explican y predicen los fenómenos tiene que ver con la tendencia a considerar que las cosas tienen un estado natural que siempre es de reposo. De acuerdo con diSessa (1993, p.105) un sentido intuitivo de mecanismo incluye: “... una tendencia a hacer énfasis en las caracterizaciones estáticas de eventos dinámicos y una fenomenología relativamente rica de equilibrio y balance”. Utilizando estos primitivos, puede explicarse que los cambios ocurren porque hay una tendencia *natural* de los sistemas hacia el reposo, o hacia adquirir ciertas configuraciones estáticas y de balance o neutralidad.

Ejemplos

- Disolución de etanol en agua

Ch: Es como (...) cuando tienes el agua y le añades el alcohol y el alcohol debe encontrar su camino hacia el fondo, entonces el agua como que se queda encima de él.

(R13ChCh)

E: no suman 50, si yo lo tapo y lo mezclo, ¿puede disminuir más el volumen?

EI: sí, igual ahí no ocuparon bien los espacios entre las moléculas, no embonaron bien las moléculas, igual y si lo mueves, se mueven las moléculas al mismo tiempo y ya pueden embonar más

(M15EIM)

- Disolución de colorante en agua

Ca: Creo que es difusión, es como si estas partículas están buscando (...) solamente se mueven y gradualmente se difunden, tratan de llenar todo el espacio y (...) bueno, no tratan, pero de manera natural empiezan a tomar todos los espacios (...) porque (...)

(R16CaP)

La tabla 5.2 muestra una síntesis de los primitivos fenomenológicos que proponemos así como algunos ejemplos breves para cada uno de ellos.

Primitivo	Descripción breve	Ejemplos
P1	Componente determina las propiedades	El color sale de ellos... es como si pintara el agua.
P2	Necesidad de un agente externo	Una corriente de convección en el agua, ayuda a que las cosas se mezclen.
P3	Las sustancias reaccionan	Algo en la sal reacciona con el agua y lo hace cada vez más chiquito.
P4	Un único componente activo	El agua lo erosiona y lo desprende.
P5	Predisposición estática	Las moléculas se mueven hasta que embonan unas con otras.

Tabla 5.2. Síntesis de los primitivos que los estudiantes usan para construir explicaciones para los fenómenos.

5.2 Uso de los primitivos fenomenológicos y los mecanismos para construir explicaciones

Una vez determinadas las categorías anteriores en ciclos sucesivos de análisis se hizo un análisis de las transcripciones de las entrevistas dividiéndolas en ‘episodios’, determinando para cada episodio la presencia de mecanismos y primitivos fenomenológicos. Dichos ‘episodios’ se determinan de forma que contengan una explicación del estudiante para el fenómeno en cuestión y contienen intervenciones tanto de la entrevistadora como del estudiante. Esta separación en episodios cortos, permite describir de manera muy detallada (a nivel de *grano fino*), la forma en la que los estudiantes construyen sus explicaciones y los diferentes elementos que son considerados en esta construcción. En la tabla 5.3, se presenta un ejemplo de una ‘tabla de mecanismos y primitivos’, en la que puede verse de qué forma se construyen las explicaciones de los estudiantes para analizar los elementos que las constituyen.

Permanganato / Agua		
<p>A. voy a poner agua destilada un cristalito de permanganato de potasio, ¿qué va a pasar cuando yo lo ponga en el agua?</p> <p>D: el permanganato es $KMnO_4$, se va a disolver</p>		
<p>A: ¿Cómo sabes que se va a disolver?</p> <p>D: porque es una sal iónica y se disocia en agua</p>	<p>m7</p> <p>Compatibilidad entre partículas</p>	

<p>A: ¿qué quiere decir que se disuelva? Describe qué está pasando ahí</p> <p>D: el permanganato se va repartiendo en el agua, la palabra es difusión, porque no puede estar todo en el mismo lugar porque la molécula de permanganato como no es covalente, es sólo iónica se separa en agua en sus componentes, en sus iones, en el catión y el anión y se acomoda entre las moléculas de agua y por eso se difunde</p>	<p>m6 / m3</p> <p>Movimiento de partículas</p> <p>Espacio entre las partículas</p>	
<p>A: ¿cómo te imaginas el proceso de difusión? ¿Qué pasa entre el agua y el permanganato?</p> <p>D: las fuerzas electrónicas, la polaridad del agua atrae las diferentes partes de la molécula, del cristal, entonces las separa y luego como tiende a envolverlas juntando las partes negativas hacia el catión y las positivas hacia el anión quedan separadas</p>	<p>m7</p> <p>Compatibilidad de las partículas</p>	<p>P4</p> <p>Hay un único componente activo.</p>

<p>A: cuando dices la polaridad del agua, ¿a qué te refieres?</p> <p>D: (...) como no es una molécula simétrica, la carga eléctrica no es igual de uno u otro lado de la molécula</p>		
<p>A: si lo dejas así, ¿se va a disolver todo?</p> <p>D: no, no se va a disolver todo porque no está en contacto con toda el agua, bueno, con la cantidad de agua necesaria para disolverse, si lo dejas así se va a ir disolviendo lo que está alrededor de los cristales que pusiste al principio pero ya después lo que queda cristal con cristal no se puede disolver</p>		<p>P5</p> <p>Predisposición estática</p>
<p>A: ¿por qué quedaría cristal con cristal?</p> <p>D: porque alrededor ya quedó agua con cristales y esa agua que ya está disolviendo algo ya está saturada y no puede disolver más cristales</p>		<p>P5</p> <p>Predisposición estática</p>
<p>A: ¿entonces tienes tu cristal así y entonces está rodeado de agua con cristales y esta parte ya no podría seguirse disolviendo?</p>		

<p>D: aha</p> <p>A: ¿hasta dónde crees que alcance a difundirse?</p> <p>D: hasta que el agua se sature</p>		
<p>A: ¿qué es lo que hace que pueda seguirse disolviendo si no lo agitamos y no le hacemos nada, qué está pasando ahí? (...)</p> <p>¿cómo explicas que ponemos el cristal y luego, luego empieza a difundirse?</p> <p>D: pues sería más bien porque los iones (...) no se quedan quietos, entonces los iones se van moviendo y ocupando los espacios</p>	<p>m⁶ / m³</p> <p>Movimiento de partículas</p> <p>Espacio entre las partículas</p>	
<p>A: ¿por qué se queda todo pegado abajo? ¿Crees que va a subir en algún momento?</p> <p>D: parece que no, se queda abajo porque (...) iba a decir por el vidrio, pero no, porque tendría que quedarse pegado a la pared (...) no puede ser eso</p>		

Tabla 5.3. Ejemplo de una tabla de análisis de mecanismos y primitivos, donde se muestra de qué forma se utilizaron las categorías propuestas (mecanismos y primitivos fenomenológicos) para analizar las respuestas de los estudiantes. Se muestra la explicación de la estudiante Dinora (M18DiMa) al fenómeno de disolución de permanganato de potasio en agua.

Las tablas construidas – similar a la presentada – para los 47 estudiantes fueron concentradas en una base de datos, a partir de la cual es posible:

- Conocer los mecanismos y primitivos, así como secuencias de éstos, que son utilizados por cada uno de los estudiantes para explicar los diferentes fenómenos.
- Conocer los mecanismos y primitivos, así como secuencias de éstos que son utilizados por diferentes estudiantes para explicar un mismo fenómeno.
- Analizar la muestra, separando a los estudiantes en grupos, de acuerdo con su nivel escolar, o su nacionalidad y determinar los mecanismos y primitivos utilizados en cada grupo, tanto para un mismo fenómeno como para fenómenos diferentes.

5.2.1 Uso de mecanismos

La siguiente tabla relaciona los diferentes fenómenos presentados con el uso de mecanismos por parte de los estudiantes.

A partir de la tabla 5.4 puede verse que existen algunos mecanismos que están asociados de manera muy directa con un fenómeno en particular.

Fenómeno	Mecanismos y su porcentaje de uso						
	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7
Etanol / Agua	12	23	44	12	24	24	12
Colorante / Agua		25	12		38	50	
Sal / Agua	17	55	28	3	28	52	7
Permanganato de potasio / Agua	5	50	45		30	65	
Arena / Agua	80						
Aceite / Agua	14						70
Reacción de precipitación		15	8	54	39	15	19
Congelación	13	13	38			50	
Evaporación	13		50			38	

Tabla 5.4. Porcentaje de uso de los diferentes mecanismos. En ningún caso, la suma de los porcentaje es 100, porque los estudiantes utilizan distintos mecanismos para un mismo fenómeno o bien porque no utilizan ningún mecanismo de los propuestos en la construcción de sus explicaciones.

m1 Este mecanismo que ubica el *tamaño de las partículas* como la causa de los fenómenos, se utiliza sobre todo para explicar por qué la arena no se disuelve en agua. Este mecanismo aparece en un porcentaje muy bajo en el resto de los fenómenos, aunque se utiliza más frecuentemente cuando el soluto es un sólido (el caso de la sal), que cuando el soluto es un líquido (etanol y colorante)

m2 Este mecanismo que se refiere a las acciones mecánicas de las partículas, se utiliza para explicar la mayoría de los fenómenos presentados. En los fenómenos que se refieren a las mezclas, es mucho más utilizado cuando el soluto es sólido que cuando es líquido (sal y permanganato de potasio). Ningún estudiante usa el mecanismo de acciones mecánicas cuando no hay ningún cambio evidente en las sustancias (aceite / agua y arena / agua).

m3 El espacio entre las partículas es un mecanismo que se utiliza por un número importante de estudiantes para explicar la disminución del volumen en la mezcla etanol / agua. Este es un buen ejemplo de cómo el fenómeno “obliga” el uso de un mecanismo porque en este caso, el volumen disminuye, lo cual puede explicarse si el espacio entre las partículas disminuye. Ningún estudiante utiliza este mecanismo para explicar por qué la arena no se disuelve en agua, aún cuando el mecanismo de tamaño si es utilizado frecuentemente. El mecanismo de espacio entre las partículas también es muy utilizado para explicar el proceso de evaporación del agua y en menor medida el proceso de congelación del agua, lo cual puede estar relacionado con el uso de ciertas “verdades aprendidas” como – en los líquidos, el espacio entre las partículas es menor que en los gases.

m4 El mecanismo que se refiere a la *unión de partículas* como la causa por la que ocurren los cambios se utiliza principalmente para construir una explicación respecto a la reacción de precipitación y en mucho menor medida para explicar el proceso de disolución de alcohol en agua.

m5 El mecanismo de *formación de nuevas partículas* se utiliza por un porcentaje similar de estudiantes para explicar la mayor parte de los fenómenos (excepto aquellos en los que las sustancias no se mezclan o en los cambios de estado). Es decir, es un mecanismo que pareciera relacionado con el *cambio evidente* de apariencia.

m6 El movimiento de las partículas es un mecanismo utilizado para explicar la mayoría de los fenómenos (excepto aquellos donde no se percibe ningún cambio). Aunque es mucho más utilizado cuando los sólidos se disuelven en los líquidos, y de manera más importante cuando los sólidos tienen color, o bien, cuando el movimiento es aparente desde el punto de vista macroscópico (por ejemplo, en el caso del colorante líquido).

m7 El mecanismo que se refiere a la *compatibilidad* de las partículas, se utiliza de manera muy importante para explicar por qué el aceite no se disuelve en agua, y no se utiliza prácticamente en ninguno de los casos en los que las sustancias sí se disuelven. Aparece cuando hay un cambio muy evidente (una disminución en el volumen de la mezcla en el caso del etanol y el agua) y también se utiliza para explicar la reacción de precipitación, en la cual aparece un sólido insoluble.

5.2.2 Uso de primitivos fenomenológicos

La tabla 5.5 presenta una síntesis del porcentaje de estudiantes que utiliza un determinado primitivo para explicar los diferentes fenómenos. Como puede observarse en ella, el uso de los primitivos está menos claramente asociado a algún fenómeno particular como ocurre en el caso de los mecanismos.

Encontramos un número importante de explicaciones de los estudiantes en las cuales no utilizan ningún primitivo de los que hemos identificado. Esto se presenta con mayor frecuencia en aquellos fenómenos al parecer obvios para los estudiantes (en el sentido de que desde el punto de vista de los estudiantes no

necesitan explicación), como el caso de la mezcla arena–agua, u otros fenómenos con los que no se habían enfrentado nunca desde esta perspectiva, como el caso de la reacción de precipitación.

Fenómeno	Primitivos y su porcentaje de uso					
	P1	P2	P3	P4	P5	Ninguno
Etanol / Agua	35	29	6	6	35	29
Colorante / Agua	38	13	25		25	25
Sal / Agua	14	45	28	35	21	17
Permanganato de potasio / Agua	40	25	10	50	35	15
Arena / Agua			20			80
Aceite / Agua	10	10	20		10	40
Reacción de precipitación	19	4	23	23	4	54
Congelación de agua	14	28	14		14	43
Evaporación de agua	28					67

Tabla 5.5. Porcentaje de uso de los diferentes primitivos y su relación con los fenómenos presentados. En ningún caso, la suma de los porcentaje es 100, porque los estudiantes utilizan distintos mecanismos para un mismo fenómeno o bien porque no utilizan ningún mecanismo de los propuestos en la construcción de sus explicaciones.

También se puede notar que en los fenómenos relacionados con los cambios de estado, los estudiantes generalmente no usan los primitivos que hemos propuesto, probablemente porque estos fenómenos han sido más analizados en la escuela desde el punto de vista del modelo cinético – molecular, lo cual puede favorecer que los estudiantes tengan explicaciones construidas de antemano, lo que ocurre con mucho menos frecuencia en el resto de los fenómenos. En lo siguiente, se hacen notar algunos patrones encontrados a partir de la tabla 4.5 y que nos permiten ver cómo la utilización de algunos primitivos puede relacionarse con el contexto.

P1 Los componentes determinan las propiedades

Si tomamos como referencia los fenómenos relacionados con las mezclas (etanol, colorante, sal y permanganato), se observa que en el caso de la sal, este primitivo es utilizado con mucho menos frecuencia, lo cual puede obedecer a que no hay atributos 'visibles' en la sal que después formen parte de la disolución, como es el caso del 'color' del colorante o del permanganato de potasio.

P2 Se necesita un agente externo

Si consideramos de nuevo solamente los fenómenos relacionados con las mezclas, es posible ver que en el caso de la mezcla sal / agua este es un primitivo mucho más utilizado que en el resto de los casos. Esto nos remite a la experiencia cotidiana en la que siempre que se añade sal a algo (la comida, por ejemplo) ésta debe agitarse o calentarse. Si bien, desde el punto de vista de la ciencia escolar, el fenómeno del cristal de permanganato es muy similar, este primitivo se usa con mucha menos frecuencia. Para el caso de la mezcla de dos líquidos, pareciera que es 'natural' que los líquidos formen disoluciones, por lo que en este caso no se requiere de un agente externo.

P3 Las sustancias reaccionan

Este primitivo es regularmente utilizado en todos los fenómenos, disminuyendo su uso notablemente en el caso de la mezcla etanol – agua, en la que el cambio que ocurre (la disminución de volumen) resulta muy sorprendente para la mayoría de los estudiantes y como tal 'buscan' una explicación más allá de que cuando se ponen dos sustancias en contacto y que es 'natural' que éstas reaccionen.

P4 Existe un único componente activo

Este primitivo es utilizado con mayor frecuencia cuando los fenómenos (tanto en el caso de las mezclas como en la reacción) involucran un sólido, como es el caso de la sal y el permanganato.

P5 Las cosas tienden a una distribución estática

Este primitivo se utiliza con la misma frecuencia para explicar la mayoría de los fenómenos relacionados con la mezclas, y con mucho menor frecuencia para explicar los cambios de estado y la reacción de precipitación. En este caso, las explicaciones de los estudiantes parecieran estar menos centradas en explicar la 'evolución' del sistema, que en explicar la causa del cambio, lo cual de alguna forma impide que los estudiantes expliquen hacia qué estado tiende el sistema.

5.3 Uso de mecanismos y secuencias de mecanismos por grupo de estudiantes

A continuación se presenta una síntesis de los mecanismos que los estudiantes utilizan, pero en esta ocasión se presentan los mecanismos de acuerdo con el nivel educativo al que pertenecen.

La población total fue dividida en 3 grupos:

G1, corresponde a estudiantes en primero de secundaria (Y7 y Y8 en los estudiantes de Cambridge). En general, son estudiantes que tienen entre 12 y 13 años de edad.

G2, corresponde a estudiantes en tercero de secundaria (Y9 y Y10 en los estudiantes de Cambridge). En general, son estudiantes que tienen entre 14 o 15 años de edad

G3, corresponde a estudiantes en segundo o tercer año de bachillerato (Y11 en los estudiantes de Cambridge). En general, son estudiantes que tienen entre 16 o 17 años de edad

La separación por edades nos permite saber si hay algunos mecanismos más frecuentemente utilizados en un grupo determinado y conocer si éstos permanecen a lo largo de la educación escolar.

Debido a las condiciones en las que se llevaron a cabo las entrevistas, la muestra no tiene una representación similar de todos los grupos de edades, sin embargo, es interesante notar algunos patrones comunes a los tres grupos y otros que se modifican de manera importante a través del tránsito por el sistema escolar.

Grupo	Porcentaje de la muestra
G1	50%
G2	37%
G3	13%

Tabla 5.6. Porcentaje de la muestra correspondiente a cada uno de los grupos

Las tablas 5.7 – 5.12 muestran los porcentajes de estudiantes, separados por grupos, que utilizan los diferentes mecanismos o asociaciones de ellos. Solamente se presentan aquellas asociaciones que resultan más comunes para cada fenómeno y que se presentan en ambos grupos de edad. No está de más resaltar que los resultados del grupo 3 deben tomarse con mucha cautela y como indicativos de una tendencia, dado que el porcentaje de la muestra es mucho más pequeño que para el resto de los grupos.

Disolución de permanganato de potasio en agua

	G1	G2	G3
m1	24	13	
m2	62	50	
m3	24	38	
m4		13	
m5	29	50	
m6	57	25	
m7		25	
m2m6	48	13	
m2m5	19	25	
m3m6	19	13	
m3m6m7			100

Tabla 5.7 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar la disolución de permanganato de potasio en agua.

Disolución de sal en agua

	G1	G2	G3
m1	9		
m2	45	83	
m3	27	33	100
m4		17	
m5	27	17	
m6	54	50	
m7			
m2m6	27	67	
m3m6	18	17	

Tabla 5.8 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar la disolución de sal en agua

Disolución de colorante en agua

	G1	G2	G3
m1	17		
m2	17	50	
m3	17		
m4			
m5	33	50	
m6	33	100	
m7			
m5m6	17	50	

Tabla 5.9 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar la disolución de colorante en agua.

Mezcla de etanol agua

	G1	G2	G3
m1	11	17	
m2	22	33	
m3	44	33	
m4	22	17	
m5	22	33	
m6	44		
m7	11		
m3m6	33		
m3m7			66

Tabla 5.10 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar la disolución de etanol en agua y la consecuente disminución de volumen.

Mezcla de aceite en agua

	G1	G2	G3
m1			
m2			
m3	25		
m4			
m5			
m6			
m7	25	100	

Tabla 5.11 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar por qué el aceite no se disuelve en agua.

Reacción de precipitación

	G1	G2	G3
m1			
m2	14	25	
m3	14		
m4	43	75	
m5	43	38	
m6	21		
m7	7	13	
m4m7			100

Tabla 5.12 Porcentaje de estudiantes por grupo que utilizan los diferentes mecanismos para explicar la reacción de precipitación.

Las tendencias que se muestran por grupos no son totalmente claras, sin embargo, es posible distinguir algunos elementos que podrían ayudarnos a describir la forma en la que los estudiantes de distintos niveles escolares asocian los mecanismos para explicar un fenómeno determinado. Algunas tendencias que pueden notarse a partir del análisis anterior son:

m2 Acciones mecánicas de las partículas

El mecanismo que se refiere a las acciones mecánicas de las partículas (m2), es usado por un porcentaje mayor de estudiantes en el grupo 2 que en el grupo 1, es decir, por los estudiantes mayores. En el grupo 2, para todos los fenómenos relacionados con mezclas, m2 es el mecanismo que se usa por un porcentaje mayor de estudiantes.

Dado que las acciones mecánicas de las partículas pueden ser de naturaleza diferente, por ejemplo: 'escondarse', 'llevarse a otras', 'partir por la mitad', es difícil proponer una causa que pudiera dar cuenta del aumento en el uso de este mecanismo. Sin embargo, es posible que los estudiantes en este nivel escolar (G2) hayan tenido mayor experiencia con fenómenos que se explican en términos de partículas y las acciones mecánicas implican la posibilidad de imaginar de qué forma las partículas logran llevar a cabo sus acciones, por ello m2 es más utilizado mientras los estudiantes tienen mayor experiencia con fenómenos que pueden explicarse desde este punto de vista. Es posible pensar que los estudiantes mayores (G3) ya no requieren de categorías tan concretas como m2 y que hayan logrado cierto nivel de abstracción en el que son suficientes unos cuantos atributos (movimiento, espacios y compatibilidad) para explicar la mayoría de los fenómenos, lo cual hace que consideren en mucho menor medida las acciones mecánicas de las partículas.

m1 Tamaño de las partículas

Si bien, el mecanismo de tamaño de las partículas, m1, no es un mecanismo utilizado por un gran número de estudiantes, su uso disminuye al aumentar la

edad, desapareciendo por completo en los estudiantes mayores (G3). Una posible causa es que mientras los estudiantes tienen más acceso a una diversidad de explicaciones que tienen que ver con las partículas y sus características, pueden ampliar la diversidad de propiedades que utilizan para caracterizar a las partículas y dejar de usar las propiedades 'tradicionales' de los materiales tales como el tamaño.

m7 Compatibilidad de las partículas

Es posible rastrear el uso de m7 en los distintos grupos y darse cuenta que es un mecanismo de explicación que se utiliza raramente por los estudiantes del grupo 1 y un mayor porcentaje de estudiantes del grupo 2 hace uso de este mecanismo para explicar diversos fenómenos. En el grupo 3, es mucho mayor el porcentaje de estudiantes que hace uso de este mecanismo para explicar diversos fenómenos, ya sea de manera aislada o en asociaciones diversas, ello hace pensar que una vez que los estudiantes 'cuentan' con este mecanismo, lo utilizan para explicar una diversidad de fenómenos.

5.3.1 Secuencias de mecanismos

Si bien se utilizan secuencias de mecanismos diferentes, el número de secuencias que permanecen de un grupo de estudiantes a otro son muy reducidas, en todos los casos, uno de los mecanismos que forma parte de las secuencias es el que se refiere al movimiento de las partículas, m6. La secuencia que se utiliza para explicar un mayor número de fenómenos es en la que se encuentran relacionados el espacio entre las partículas y el movimiento de las partículas, es decir, m3m6. Utilizando los modelos de ciencia escolar, la asociación entre espacio y movimiento de partículas es una asociación que resulta productiva y muy útil para explicar una diversidad de fenómenos utilizando el modelo cinético–molecular.

5.4 Uso de mecanismos y primitivos para describir las representaciones de los estudiantes

Una vez que se han presentado los mecanismos y primitivos que utilizan los estudiantes, daremos algunos ejemplos sobre la forma en la que éstos pueden aplicarse para describir una entrevista. Esta es una forma en la que los recursos conceptuales propuestos pueden utilizarse no sólo para describir las explicaciones de los estudiantes, sino también para analizar con más detalle los procesos de construcción de las explicaciones, dando cuenta de la dinámica del cambio. En todos los casos, se usan las iniciales para señalar los nombres de los estudiantes, conservando la edad como referencia.

Los fragmentos de las entrevistas que se consideran relevantes para mostrar la forma de análisis se localizan en la columna derecha de la tabla, mientras que del lado derecho se señalan los primitivos o los mecanismos utilizados por los estudiantes. Después de presentar los fragmentos de entrevistas se hace una descripción de la manera en la que la perspectiva de análisis permite entender el proceso de construcción de representaciones. Se señalan también problemas de consistencia y coherencia en las explicaciones de los estudiantes. En todos los casos, las intervenciones de la entrevistadora se señalan con la letra E, mientras que las de los estudiantes se señalan utilizando la primera o primeras letras de su nombre.

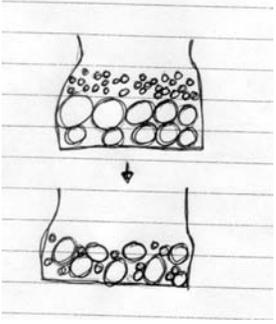
En esta sección se presentan 3 ejemplos, que nos permiten mostrar la utilidad de los mecanismos y primitivos para dar cuenta de las explicaciones de los estudiantes. Por un lado, puede analizarse el uso de mecanismos y primitivos que hace cada estudiante, haciendo énfasis o buscando elementos que permitan dar cuenta de la consistencia y coherencia en los casos particulares. El caso de Peter (sección 5.4.1), hace notar cómo un individuo asocia y utiliza sus recursos conceptuales de diferente manera de acuerdo con el contexto ‘percibido’, es decir de acuerdo a las características del fenómeno a las que les da una mayor relevancia. Por otro lado, se presentan los ejemplos de Aude (sección 5.4.2) y

Martha (sección 5.4.3), comparando las explicaciones que dan para los mismos fenómenos, de esta forma se puede mostrar la diversidad de explicaciones que se presentan y de la importancia de considerar la forma particular en la que cada uno de los estudiantes utiliza y asocia sus propios recursos conceptuales, aún cuando los fenómenos son iguales. La transcripción de estas entrevistas se puede consultar en el Anexo.

5.4.1 Peter

Peter es un estudiante de 14 años en el Reino Unido. En el momento de la entrevista, ya ha revisado con anterioridad el modelo de partículas en la clase de ciencias y parece cómodo tratando de explicar los fenómenos, además de que lo hace de forma bastante confiada, sin preocuparse demasiado por la 'exactitud' de sus respuestas. Presentamos fragmentos de la entrevista en la que se están explicando fenómenos relacionados con las mezclas.

Colorante / Agua	
1. P: <u>Las partículas del colorante se van a separar</u> hacia las partículas del agua y <u>se va a mezclar el color</u> (...) son diferentes partículas las del agua y el colorante, no puedes cambiar el color de las partículas del agua	m6 Movimiento de partículas
Etanol / Agua (Los volúmenes no son aditivos)	
2. P: Las partículas se mezclan lentamente, el etanol puede ser más denso que el agua y puede haber formado capas, pero <u>si tú los mezclas también se mete un poco de oxígeno</u> (...) así que las partículas serían más densas ahora, <u>estarían más juntas de lo que estaban antes</u>	P2 Agente externo m3 Espacio entre partículas
3. P: No estoy muy seguro (...), <u>las partículas [de etanol] pueden ser más pequeñas</u> y pueden haberse deslizado entre los espacios.	m1 Tamaño de partículas

<p>4.</p> 	<p>En esta representación, P explica cómo las partículas de etanol, que son más pequeñas que las del agua se acomodan entre éstas. El primer dibujo representaría el momento en el que se agrega el alcohol, mientras que el segundo dibujo representa lo que ocurre una vez que se agita la mezcla.</p>	<p>P5 Predisposición estática m3 Espacio entre partículas</p>
<p>5. E: ¿Por qué te imaginas que las partículas de agua son más grandes que las partículas de etanol?</p> <p>6. P: Probablemente porque así puedes explicar por qué disminuye el nivel del agua una vez que lo agitas.</p>		
<p>Sal / Agua</p>		
<p>7. P: La sal es soluble y <u>el agua toma parte de la sal</u> y entonces <u>las partículas se mezclan junto con las del agua</u></p>		<p>P4 Un componente activo m2m6 Acciones mecánicas Movimiento</p>
<p>8. (...) <u>la sal no se está volviendo un líquido</u>, las partículas solamente se están dispersando, así que <u>tienes sólidos pequeñitos por todos lados y ellos llenan los espacios.</u></p>		<p>P1 Componente determina propiedades m6m3 Movimiento de partículas Espacio entre partículas</p>

En este caso, podemos ver que Peter usa el mecanismo relacionado con el movimiento de partículas, m6, para explicar estos fenómenos, todos relacionados con la formación de mezclas (intervenciones 1, 7 y 8). Sin embargo, en el caso del etanol y el agua (intervenciones 2 – 5), Peter parece estar más enfocado en tratar de explicar por qué disminuye el volumen de la mezcla, de forma que aún cuando menciona que las partículas de etanol se ‘deslizan’ en los espacios, no parece estar refiriéndose específicamente al movimiento de las partículas (intervención 3).

Se podría pensar que el fenómeno sorprendente de la no aditividad de los volúmenes, llamó poderosamente su atención. En este caso, Peter utiliza un primitivo fenomenológico, como P5 ya que considera que los sistemas tienden a mostrar una configuración estática (intervención 4) y se acomodan en determinadas formas. Dado que Peter menciona el tamaño de las partículas, m1, como una característica importante, podríamos pensar que considera un acomodo específico para las partículas, tal como lo muestra en la representación gráfica. De forma explícita, Peter determina que está considerando el tamaño de las partículas porque de esta forma puede explicar por qué disminuye el volumen de la mezcla (intervención 5). Esta intervención permite suponer que la explicación de este fenómeno no ha sido construida de forma previa y es más bien una construcción ‘in-situ’, a partir de diversos recursos conceptuales. De hecho, Peter utiliza un recurso muy ‘mecánico’ (considerado como un primitivo en este caso) para explicar cómo es que dos sustancias (aparentemente) ocupan el mismo espacio.

Para explicar la disolución de la sal en agua, Peter utiliza una noción antropomórfica, desde la cual el agua es el componente activo (P4) y ‘toma partes de la sal’ (intervención 7). Esta noción primitiva se utiliza junto con un mecanismo a través del cual las partículas ‘se hacen’ cosas unas a otras (m2). En este caso, es posible inferir que los estudiantes necesitan construir imágenes de lo que está ocurriendo a nivel microscópico y utilizan algunos mecanismos como los que hemos propuesto. Es importante notar que en la intervención 8, Peter considera que la sal es aún un sólido disperso dentro del líquido. En este caso no

interpretamos esta respuesta como indicativa de una concepción alternativa reportada en la literatura (Valanides, 2000, p. 252, énfasis en el original): “los granos sólidos se rompen en granos *más pequeños e invisibles* que se llaman átomos o moléculas y existen en estado sólido en la disolución”. Sin embargo, es posible pensar que Peter está usando el primitivo ‘el componente determina las propiedades’ (P1), porque la ‘solidez’ es una propiedad de la sal y en una disolución los componentes conservan sus propiedades, de forma que la sal aún en la disolución está en forma de (muy pequeños) sólidos.

5.4.2 Aude

Aude es una estudiante mexicana de tercero de secundaria (15 años), quien tiene bastante confianza para generar explicaciones y tiene cierta familiaridad con la existencia de las moléculas. Presentamos sus explicaciones para dos fenómenos diferentes, que después se compararán con las explicaciones de Martha (en la siguiente sección) para los mismos fenómenos. El primer fenómeno que presentamos es la difusión de un cristal de permanganato de potasio en agua.

Difusión de permanganato de potasio en agua	
1. E: Lo primero que voy a hacer es poner un poquito de agua y unos cristallitos de esta sustancia que se llama permanganato de potasio y lo voy a poner en el agua, ¿qué va a pasar?	
2. Au: se va a poner morado	
3. E: ¿Cómo describirías lo que está pasando ahí?	P1 Componente determina propiedades
4. Au: <u>Está como desprendiendo el color</u> , pero como que se va más para arriba, como que para los lados es más lento	

<p>5. E: Hay como unas rayitas ahí, como unos hilitos y se va también como expandiendo (...) ¿por qué crees que pasa eso?</p> <p>6. Au: porque se disuelve</p>	
<p>7. E: ¿qué quiere decir que se disuelva?</p> <p>8. Au: como que se esparce en toda el agua, pero lento</p>	
<p>9. E: ¿y por qué puede esparcirse por el agua?</p> <p>10. Au: porque <u>el agua lo permite</u>, como que se van juntando, como el agua se mueve es más fácil</p>	<p>P4 Un componente activo</p>
<p>11. E: Cuando dices el agua se mueve, ¿qué es lo que se está moviendo?</p> <p>12. Au: las moléculas</p> <p>13. E: ¿cómo son esas moléculas? ¿Cómo te las imaginas?</p> <p>14. Au: No sé yo me las imagino así como <u>bolitas que están muy agitadas, entonces como que agarran una</u> y se la llevan ahí a pasear (risas)</p>	<p>m6 Movimiento de partículas m2 Acciones mecánicas</p>
<p>15. E: si lo dejamos ahí, qué crees que va a pasar?</p> <p>16. Au se va a poner morada el agua</p> <p>17. E: ¿toda el agua? ¿Nada más abajo?</p> <p>18. Au: ahí se ve nada más abajo, y los hilitos ya no están, entonces yo creo que nada más abajo</p> <p>19. E: ¿por qué se quedaría nada más abajo?</p> <p>20. Au: porque ahí hay evidencia</p>	
<p>21. E: pero, esto que estás diciendo de que el agua se mueve y le pega a las moradas y se lleva las moradas (...)</p> <p>22. Au: sí, es un poco contradictorio, pero (risas) bueno, sí yo creo que se va a quedar abajo porque ya no se ve tanto arriba</p>	

<p>23. E: y tú crees que van a dejar de moverse o se van a seguir moviendo, qué haría que de pronto se quedara nada más abajo y no se moviera hacia toda el agua</p> <p>24. Au: la densidad</p> <p>25. E: ¿qué tiene que ver la densidad?</p> <p>26. Au: supongo que <u>este es más denso, entonces se queda más abajo</u></p>	<p>P1</p> <p>Componente determina las propiedades</p>
<p>27. E: cuando lo puse, casi todo se fue directo hacia abajo, entonces es más denso</p> <p>28. Au: se queda más abajo, <u>entonces las moléculas lo tienen</u> y les aumenta la densidad, supongo y entonces se quedan abajo</p>	<p>m4</p> <p>Unión de partículas</p>
<p>29. E: y abajo tengo moléculas de agua con permanganato, o están sólo las de permanganato, ¿cómo te imaginas?</p> <p>30. Au: como que mezcladas</p>	
<p>31. (...)</p> <p>32. E: pero, ¿se van a seguir moviendo?</p> <p>33. Au: aha</p>	
<p>34. E: ¿pero ahora ya no se las van a llevar?</p> <p>35. Au: no, es que como que haz de cuenta que las tienen como agarradas, (...) como las tienen unas pocas <u>las que alcanzaron a agarrar su morado pues lo tienen y entonces como que se quedan en la parte de abajo</u>, que es lo de agua con la cosa morada y arriba pues no alcanzó, entonces ya está el agua normal</p> <p>36. E: las que están arriba no alcanzaron entonces digamos ¿ya está el agua normal?</p> <p>37. Au: aha</p>	<p>P5</p> <p>Predisposición estática m2</p> <p>Acciones mecánicas</p> <p>m4</p> <p>Unión de partículas</p>

Al presentarle el fenómeno en el que un cristal muy pequeño de permanganato de potasio se disuelve en agua, Aude comienza por hacer uso del primitivo P1 (el componente determina las propiedades) y asevera que “[el cristal] está como desprendiendo el color” (intervención 4), lo cual deja ver que Aude está considerando el color en este caso como una propiedad independiente de las partículas que forman el cristal. Aude utiliza la palabra ‘disolverse’ para describir lo que está pasando y al explicar qué entiende por disolverse utiliza el primitivo P4 (un componente activo) para situar al agua como responsable del efecto. La explicación se transforma cuando Aude (a instancias de la entrevistadora; intervenciones 11-13) empieza a utilizar explícitamente las partículas en la construcción de la explicación. De esta forma, la explicación se transforma considerando que las partículas de agua se mueven y “agarran a una y se la llevan a pasear”. En las intervenciones 15–22 aunque no se presenta explícitamente ningún mecanismo o primitivo, es interesante notar que Aude hace énfasis en la evidencia que tiene (la observación de que el color morado se queda abajo del vaso un buen tiempo) y ello ocasiona que en la siguiente parte de la entrevista, Aude se enfoque en explicar por qué el color morado se queda abajo más que en cómo se lleva a cabo la disolución⁴. Aude utiliza el primitivo P1 para explicar porque el color morado se queda abajo, dado que las partículas tienen ahora una propiedad diferente “son más densas”. Los mecanismos utilizados para dar sustento a P1 no son los mismos, en este caso, Aude utiliza m4, ‘las partículas se unen’ para explicar por qué cambian las propiedades de las partículas y por tanto de la disolución. En la intervención 31, la entrevistadora hace notar a Aude que antes había usado el mecanismo m6, ‘movimiento de las partículas’ para explicar el fenómeno, y si bien Aude lo reconoce, no lo utiliza más porque el énfasis está ahora en explicar la nueva configuración del sistema (el color morado abajo, transparente arriba). Aude utiliza entonces otro primitivo, P5 ‘predisposición estática’ de acuerdo con el cual la nueva configuración se explica porque las

⁴ En este caso, hay una serie de recursos epistemológicos (Hammer, 2004), que juegan un papel importante en la construcción de explicaciones. Si bien, no nos ocupan en este caso, es importante hacerlos notar, de modo que el lector pueda reconocer la importancia de este otro tipo de recursos en la construcción de explicaciones.

partículas “agarran su morado”, m2 y se unen, m4, adquiriendo una configuración que parece ya no va a modificarse más.

Ahora presentamos las explicaciones construidas cuando se mezclan 25 mL de agua y 25 mL de etanol (alcohol de caña), dando como resultado que los volúmenes de las sustancias no sean aditivos.

<p>Mezcla de etanol / agua</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. E: voy a poner aquí 25 mL de agua y aquí 25 mL de alcohol y luego las voy a poner en este matraz aforado que sólo sirve para medir 50 mL. Cuando yo los ponga juntos, ¿crees que van a sumar 50 mL? 2. Au: no, no creo, o bueno sí 3. E: ¿Por qué primero no crees? ¿Qué te hace pensar que puede ser que no? 4. Au: es que matemáticamente si daría, 25 + 25 suman 50, pero como que se puede como reducir un poquito supongo por lo mismo 	
<ol style="list-style-type: none"> 5. E: ¿por lo mismo de? 6. Au: <u>por la densidad</u> 	<p>P1 Componente determina las propiedades</p>
<ol style="list-style-type: none"> 7. E: ¿qué tiene que ver la densidad? 8. Au: se puede como contraer y entonces, pero por poquito 9. E: ¿qué quiere decir se puede contraer? ¿Qué le va a pasar cuando se contrae? 10. Au: como que si lo aplasta, bueno, no sé cuál sea más denso que el otro, <u>pero si lo puede como aplastar, como aplastar, y pues el otro se contrae</u>, entonces sobra un espacio 	<p>P5 Predisposición estática m2 Acciones mecánicas</p>

<p>11. E: ¿entonces tú crees que se va a quedar uno arriba del otro?</p> <p>12. Au: puede ser</p> <p>13. E: y el que está arriba puede apachurrar al de abajo</p> <p>14. Au: es que no sé la verdad</p>	
<p>15. E: voy a poner el agua primero, tengo mis 25 ml de agua y voy a poner los de alcohol, fíjate lo que pasa ahí adentro (...)</p> <p>16. Au: ¡ha, ves! Como que se hizo como espiralitos al mezclarse,</p>	
<p>17. E: entonces tú dices, el que esté arriba está como apachurrando al de debajo de alguna forma...</p> <p>18. Au: si</p>	
<p>19. E: lo voy a marcar y lo voy a agitar</p> <p>20. Au: bajó</p> <p>21. E: ¿por qué crees que baja?</p> <p>22. Au: (...) puede ser porque como que se acomodan mejor al recipiente (...) bueno eso no</p> <p>23. E: ¿por qué no?</p> <p>24. Au: bueno porque el agua, se supone que eso es una propiedad que tienen los líquidos, que se amoldan al recipiente, entonces eso no puede ser</p>	
<p>25. E: ¿qué si puede ser? No suman 50, todavía le agitas y baja más</p> <p>26. Au: no sé la verdad</p> <p>27. E: ¿cómo te imaginas? Si piensas en las moléculas, ¿cómo te imaginas que están ahí las moléculas ahí adentro?</p> <p>28. Au: como <u>unas arriba de otras, el alcohol y el agua como sea, pero también agitadas</u></p>	<p>P5 Predisposición estática</p> <p>m2 Acciones mecánicas</p> <p>m6 Movimiento de partículas</p>

<p>29. (...)</p> <p>30. Au: aha, y tal vez por eso también baje, a la hora de revolverlo, pon tú, pusiste el agua abajo y <u>el alcohol, apachurra al agua y entonces baja un poco más</u></p>	<p>m2</p> <p>Acciones mecánicas</p>
<p>31. E: ¿y están moviéndose ahí o están quietecitas?</p> <p>32. Au: moviéndose, si, moviéndose</p> <p>33. E: ¿por qué?</p> <p>34. Au: porque bueno, como que también <u>es una característica de los líquidos que siempre están en movimiento</u></p>	<p>m6</p> <p>Movimiento de partículas</p>

Aude utiliza el primitivo P1, ‘componente determina las propiedades’, para hacer una hipótesis sobre la adición de agua y etanol. Aude está visualizando una configuración estática en la que mediante acciones mecánicas, m2, una sustancia ‘apachurra’ a la otra y se ‘acomodan’ de forma que el volumen podría no sumar 50 mL⁵. Al llevar a cabo el experimento y constatar que los volúmenes de ambas sustancias no son aditivos, Aude utiliza el mismo primitivo, P5 y el mismo mecanismo, m2, para explicar cómo el sistema adquiere una configuración en la que una sustancia obliga a la otra a contraerse. Aude habla del movimiento de las partículas (intervención 28), sin embargo parece que en este caso, el mecanismo m6 no favorece la construcción de la explicación porque las partículas se encuentran ‘unas arriba de las otras’. En las intervenciones 31–34, es posible notar que Aude utiliza el mecanismo de movimiento de partículas, m6, pero más como una ‘verdad aprendida’ que como un mecanismo útil para construir explicaciones, es decir, Aude ‘sabe’ que “es una característica de los líquidos que siempre están en movimiento” (intervención 34), pero esto no implica que lo utilice en la construcción de su explicación.

⁵ Es muy probable que en este fenómeno para el que Aude está construyendo una hipótesis, el hecho mismo de que el entrevistador cuestione sobre el volumen final obliga a dar una respuesta en ese sentido, aún cuando Aude expresa “se puede como reducir un poquito”. En las intervenciones 11 – 14, es posible constatar que es la primera vez que Aude se enfrenta a un fenómeno similar y claramente está construyendo la explicación ‘in-situ’ respondiendo además a las ‘claves’ de la entrevistadora.

Comparando las explicaciones de Aude para ambos fenómenos, es posible notar que utiliza en ambos casos P1 y P5, 'el componente determina las propiedades' y 'predisposición estática' aunque en ambos casos estos primitivos están relacionados con mecanismos diferentes. Aude usa m6, 'movimiento de las partículas' de forma diferente en ambos casos, en el caso del permanganato, es un mecanismo que permite dar cuenta del cambio de color en el agua y junto con m2, "como que agarran una y se la llevan ahí a pasear" explica el proceso mediante el cual el permanganato se disuelve. En el caso de la mezcla alcohol-agua, se reconoce que las partículas se mueven, pero en este caso, el mecanismo no cumple con ninguna función en la construcción de la explicación. En el caso del permanganato, Aude utiliza m4 y m2 para explicar la transformación en las propiedades de las partículas, dado que cuando las partículas de agua y las partículas de permanganato se unen, entonces son más densas y se quedan abajo, lo cual podría indicar la presencia del primitivo P1.

Parece claro, en este caso, que las características de cada uno de los fenómenos determinan el uso de ciertos primitivos y mecanismos: el movimiento continuo de los rastros de permanganato, frente al movimiento momentáneo del alcohol en el agua, pueden relacionarse con el uso del mecanismo de movimiento de partículas (m6) de maneras diferentes. También es posible notar que en el caso del permanganato, el 'cambio' es más evidente porque hay un cambio de color, lo cual puede favorecer el uso del mecanismo m4 'unión de partículas' para explicar por qué las propiedades se transforman. En cambio, en el caso del alcohol, el cambio de propiedades no es evidente y probablemente eso hace que no haya necesidad de explicar por qué se modifican las propiedades (desde el punto de vista de Aude, no hay transformación de las propiedades). En ambos casos, Aude utiliza m2, 'acciones mecánicas de las partículas, que 'apachurran', 'agarran una y se la llevan a pasear', al configurar la representación del fenómeno.

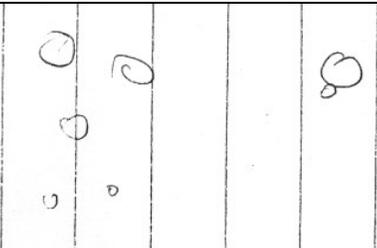
5.4.3 Martha

Martha es una estudiante de 2do año de bachillerato (16 años), quien no parece tan cómoda durante la entrevista, si bien, colabora y trata de encontrar explicaciones para los fenómenos presentados.

Elegimos para mostrar las explicaciones de Martha para los mismos fenómenos que en el apartado anterior (en el que mostramos las explicaciones construidas por Aude): disolución de un cristal de permanganato de potasio en agua y la no aditividad de la mezcla agua – alcohol.

Permanganato de potasio / Agua	
1. (...) 2. E: Lo voy a poner, y tú me describes qué pasa 3. M: no se disolvió (...)	
4. E: describe qué pasó 5. M: no se juntaron, se quedó abajo, y en una parte como mucho más junto y en otras separado y algunas partes arriba	
6. E: ¿Por qué se forman esas líneas? 7. M: no sé	
8. E: ¿qué crees que pasa cuando entra la sustancia ahí? 9. M: va abriéndose como espacio	
10. E: ¿cómo le hace para abrirse espacio? 11. M: no sé	

<p>12. E: ¿cómo te imaginas? Tienes estos granitos de sustancia morada, los pones ahí, ¿qué les pasa?</p> <p>13. M: <u>pues se van moviendo (...)</u> las partículas, hasta poder, <u>como que va a empujando también a las de al lado</u></p>	<p>m6 Movimiento de partículas</p> <p>m2 Acciones mecánicas</p>
<p>14. E: se va moviendo, entra y empieza a (...)</p> <p>15. M: pero poquito, para llegar al fondo,</p>	
<p>16. E: y ahora, qué está pasando en el fondo, ¿hay algo distinto?</p> <p>17. M: se está expandiendo</p> <p>18. E: ¿por qué se expande?</p> <p>19. M: no sé</p> <p>20. E: ¿qué te imaginas que está pasando ahí?</p> <p>21. M: no tengo idea</p>	
<p>22. (...)</p> <p>23. poquito a poquito si se están juntando</p>	
<p>24. E: ¿Qué les pasa cuando se juntan? ¿Cómo te imaginas que está ahorita la situación ahí?</p> <p>25. M: <u>pues van medio rebotando las partículas y entonces van uniéndose</u></p> <p>26. E: rebotando (...) ¿qué hace que las partículas reboten?</p> <p>27. M: no sé</p>	<p>m2 Acciones mecánicas</p> <p>m4 Unión de partículas</p>
Alcohol / Agua	
<p>28. E: voy a medir aquí 25 mL de agua destilada y 25 mL de alcohol y los voy a poner juntos en este matraz que sólo está hecho para medir 50 mL, ¿crees que el volumen va a sumar 50?</p> <p>29. M: depende (...) de la interacción de sus partículas, porque si se mezclan, quedaría un poco más abajo</p>	

30. E: si se mezclan qué pasa, ¿por qué quedaría más abajo?	m4	
31. M: <u>sería otra sustancia, entonces en lugar de ocupar todo el espacio como ya se juntaron un poco más</u>	<p>Formación de nuevas partículas</p> <p>m3</p> <p>Espacio entre partículas</p> <p>P1</p> <p>Componente determina las propiedades</p>	
<p>32.</p> 	<p>Mediante esta representación, M explica por qué la mezcla alcohol / agua tiene un volumen menor que las sustancias por separado. En este caso, la partícula de la derecha es una partícula formada por una de alcohol y una de agua unidas y esta partícula tiene propiedades diferentes, entre ellas, ocupar menos espacio</p>	<p>m4</p> <p>Formación de una nueva sustancia</p>
<p>33. E: entonces, digamos esta partícula de alcohol-agua que pusiste aquí ocupa menos espacio que el alcohol y el agua por separado</p>		
34. M: aha		

<p>35. E: le voy a poner una marca aquí y lo voy a agitar, ¿qué crees que le pase?</p> <p>36. M: supongo que se quedaría igual,</p> <p>37. E: ¿por qué ya no podría disminuir más?</p> <p>38. M: porque ya son una misma sustancia</p>	
<p>39. E: lo voy a tapar y (...) ¿qué le pasó?</p> <p>40. M: se bajó un poquito más</p> <p>41. E: ¿cómo podrías explicarlo? ¿Qué te imaginas que pudo haber pasado?</p> <p>42. M: no tengo idea</p>	
<p>43. E: cuando tú piensas se formó una nueva sustancia (...)</p> <p>44. M: <u>supongo que si no estaban todas encontradas ahí ya se encuentran todas y por eso disminuye un poco más.</u></p>	<p>m4</p> <p>Formación de una nueva sustancia</p> <p>P3</p> <p>Las sustancias reaccionan</p>

Al presentársele el fenómeno del cristal de permanganato de potasio en agua, M empieza por describir el fenómeno y genera una descripción de lo que ve como “va abriéndose espacio” (intervención 9), sin embargo, hasta ese momento no parece contar con recursos que le permitan explicar por qué ocurre el fenómeno (intervención 11). Ante la insistencia de la entrevistadora, Martha utiliza los mecanismos de movimiento de partículas (m6) y acciones mecánicas (m2), dado que las partículas van “empujando a las partículas de al lado”. Sin embargo, estos mecanismos no parecen ser útiles cuando se trata de explicar por qué el color morado se queda en el fondo y Martha no da ninguna explicación más para el fenómeno (intervenciones 16–21). Una vez frente a la evidencia (intervención 22), Martha se ve *forzada* de nuevo para dar una explicación, pero esta vez no incluye explícitamente el movimiento (probablemente porque la configuración del sistema es más estática desde el punto de vista macroscópico) y más bien habla de partículas que rebotan (m2) y se unen (m4).

En el caso del alcohol y el agua, m4 parece ser el mecanismo predominante que permite explicar la no aditividad de los volúmenes de agua y alcohol. Las partículas se juntan más (m3), porque ahora son una sustancia diferente (m4), lo cual también podría estar relacionado con el primitivo P1, de acuerdo con el cual, si hay un cambio en la sustancia, debe haber un cambio en las partículas que la forman. En este caso, Martha no utiliza el mecanismo m2, que señala acciones mecánicas de las partículas y que había sido mucho más utilizado para explicar la disolución de permanganato de potasio. En la intervención final, Martha parece utilizar el primitivo P3, de acuerdo con el cual, cuando dos sustancias entran en contacto, reaccionan provocando un cambio evidente. Esta noción de reacción no se utilizó en ningún momento para explicar la disolución de permanganato de potasio en agua.

5.5 La construcción de las explicaciones

El análisis de las explicaciones de los estudiantes con el nivel de detalle que se ha mostrado en las secciones anteriores, permite dar cuenta de la complejidad presente en la construcción de explicaciones por parte de los sujetos. Al utilizar las categorías de análisis que se han propuesto es posible dar cuenta de cómo un mismo sujeto utiliza diferentes mecanismos para un mismo fenómeno, o incluso partes del mismo fenómeno. Aude utiliza diferentes mecanismos y primitivos para la disolución de permanganato de potasio en agua, debido en gran parte, a las características muy específicas del fenómeno en las que pone su atención, es decir, cuando el movimiento es observable, el conjunto de mecanismos utilizado es diferente del conjunto de mecanismos que se utilizan cuando el movimiento ya no es tan evidente.

El caso de Aude ejemplifica también cómo un sujeto que cuenta entre sus 'recursos conceptuales' con ciertos mecanismos, que le permitirían (desde el punto de vista científico) construir explicaciones más cercanas a las científicas no los utiliza, y construye explicaciones diferentes para fenómenos 'equivalentes'

desde el punto de vista científico. Aude utiliza un conjunto diferente de mecanismos y primitivos para explicar los fenómenos que se le presentan, lo cual podría ayudar a explicar la diversidad e inconsistencia de las concepciones de los sujetos. Como se ha hecho notar en la sección 5.2, el uso de los mecanismos parece estar estrechamente relacionado con ciertos fenómenos.

Este nivel de análisis también permite comparar las explicaciones construidas por diferentes sujetos para los mismos fenómenos, lo cual hace evidente la forma en la que diferentes sujetos dan cuenta de los mismos fenómenos y puede ayudar a explicar la variabilidad que se encuentra en las explicaciones de un grupo de individuos. El análisis permite relacionar esta variabilidad con la atención prestada a ciertas características de los fenómenos, o también a la disponibilidad de recursos con los que cada individuo cuenta.

Los resultados muestran que los estudiantes cuentan con una serie de recursos conceptuales que pueden configurarse de manera distinta de acuerdo con el fenómeno que se está tratando de explicar, pero de manera particular, de acuerdo con las características del fenómeno en las cuales se presta atención. Este resultado puede ser relevante desde el punto de vista educativo porque suele ser una práctica común que los estudiantes no 'miren' lo mismo que su profesora o profesor están esperando y enfoquen sus esfuerzos de construcción en una dirección diferente. También es importante porque enfatiza la necesidad de dar a los estudiantes diferentes oportunidades de aplicar sus recursos conceptuales, siempre y cuando éstas sean claramente elegidas en términos de las posibilidades de aprendizaje que proveen.

Los resultados muestran también que existe una transformación en los recursos conceptuales y primitivos que los estudiantes utilizan en los distintos niveles escolares. Si bien la muestra no permite ser concluyente al respecto, es posible vislumbrar una tendencia de acuerdo con la cual los mecanismos y primitivos se utilizan de manera diferente por los estudiantes de los tres niveles escolares. Esto

da indicios de los procesos de transformación que ocurren en los recursos conceptuales de los estudiantes al transitar por los diferentes niveles escolares y da cuenta también de las posibilidades de transformación, al tiempo que apunta algunos elementos que pueden favorecerla.

En general, estos resultados nos permiten ilustrar y describir la diversidad de recursos conceptuales con los que los estudiantes cuentan para construir explicaciones y proponer algunos mecanismos mediante los cuales estos recursos se asocian al contexto y se modifican conforme se avanza en los niveles escolares. El uso de estos recursos y su asociación, como se ha mostrado mediante estos resultados, son procesos complejos que requieren de un análisis detallado (como el que se ha intentado en este trabajo) que considere esta complejidad y los diferentes elementos que pueden jugar un papel relevante en el proceso de construcción de los conceptos científicos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

*El aprendizaje de un estudiante de nivel
secundaria no es ciencia de cohetes – ¡es
mucho más complicado!*
Redish (2004, p. 4)

6.1 Conclusiones de la investigación

El aprendizaje de ciencias de un estudiante de secundaria es un problema muy complejo, que involucra muchos factores interrelacionados de maneras diversas. La motivación y la aproximación epistemológica del estudiante, la interacción social en el aula, las experiencias previas de cada uno de los participantes, influyen de alguna forma en la construcción de las representaciones.

En esta investigación se planteó la necesidad de analizar las representaciones de los sujetos en un contexto determinado de producción y se han propuesto algunos elementos que los estudiantes utilizan y que se configuran de maneras diferentes de acuerdo con el contexto, dando lugar a las diferentes representaciones, muchas veces inconsistentes, de las que ya han dado cuenta investigaciones anteriores (v. g. Gómez Crespo y Pozo, 2001; Harrison y Treagust, 2002). Así, la investigación privilegia el aspecto cognitivo del aprendizaje, sin que ello implique desconocer la relevancia de la interacción social en la construcción de significados.

Dado que nuestro problema central radica en el aprendizaje de cada estudiante, el análisis de las distintas posturas sobre el cambio conceptual que se hizo al iniciar este trabajo nos permitió revisar algunas posturas teóricas y modelos que se han

utilizado para dar cuenta del proceso de aprendizaje. Esta revisión permitió el establecimiento de un marco conceptual diferente, que considerara los resultados de las investigaciones y los avances teóricos en el campo. Se puede decir que actualmente los modelos de cambio conceptual tienden a orientarse a la comprensión del conocimiento como un sistema complejo, en el que múltiples elementos se configuran de acuerdo con el contexto.

Si bien, la perspectiva de los recursos conceptuales está lejos de presentar un modelo bien desarrollado y estructurado para dar cuenta de los procesos de construcción, sí nos permite 'mirar' el aprendizaje a partir de otros elementos, más básicos y fundamentales, mediante los cuales los estudiantes le dan sentido a los fenómenos naturales.

Analizar las explicaciones de los estudiantes a través de los primitivos fenomenológicos y mecanismos que utilizan para construir sus explicaciones nos ha permitido centrar la atención en los 'recursos conceptuales' de los que los estudiantes disponen y que pudieran ser desarrollados en modelos más poderosos de aprendizaje por ellos siempre y cuando encuentren las condiciones apropiadas.

El reconocimiento de primitivos fenomenológicos y mecanismos de los estudiantes que son utilizados en ciertos patrones de activación y en determinados contextos puede ser muy relevante para la intención que manifiestan investigadores como Redish (2004) y Hammer (2004) de dar modestos pasos teóricos en la dirección de proponer modelos de aprendizaje y enseñanza sustentados en evidencia empírica y que permitan ir más allá de las *recomendaciones* para la enseñanza que se encuentran muchas veces como corolario a las investigaciones, pero que carecen de apoyo en una estructura teórica sólida. En este sentido, las ideas que se proponen y desarrollan en este trabajo pudieran mirarse como elementos que promueven la coherencia teórica de la disciplina de la educación en ciencias, al mismo tiempo que muestran que pueden ser generadoras de formas diferentes de

apoyar el proceso de construcción de representaciones mediante nuevas estrategias de enseñanza.

Cuando los estudiantes se encuentran inmersos en ambientes de clase que se centran en su pensamiento y permiten la indagación de las ideas, éstos demuestran una riqueza y complejidad enormes en su conocimiento y en su razonamiento (Hammer, 2005). Es por ello fundamental que los profesores reconozcan la importancia de los procesos de construcción, y que estén concientes de que las 'concepciones' de los estudiantes, están estrechamente relacionadas con el contexto. Esto permitiría una mayor flexibilidad en los esquemas de enseñanza, una valoración de la diversidad y una actitud de reflexión que privilegia la construcción de nociones científicas poderosas a partir de recursos iniciales, más que la corrección de concepciones erróneas.

6.1.1 Primitivos fenomenológicos

En esta investigación se han propuesto cinco primitivos fenomenológicos diferentes a partir de las explicaciones de los estudiantes para los diferentes fenómenos. Dichos primitivos pueden relacionarse con algunos primitivos propuestos anteriormente en la literatura (diSessa, 1993; Hammer, 1996b), lo cual hablaría de su relevancia en la construcción de explicaciones, al ser abstracciones relacionadas con ciertos patrones fenomenológicos, identificados por los estudiantes mucho antes de sus clases de ciencias.

Dado que no existen trabajos en el tema de la naturaleza corpuscular de la materia que investiguen la construcción de las explicaciones con este nivel de detalle desde esta perspectiva, la relevancia de esta investigación radica en proponer primitivos fenomenológicos que puedan ser utilizados por los estudiantes en este tema, que como ya se ha dicho, se considera fundamental para el aprendizaje de las ciencias.

Al menos uno de los primitivos propuestos (P3 – Las sustancias reaccionan), pudiera considerarse *exclusivo* del área de la química, dado que el concepto de reacción es introducido en el contexto escolar y pudiera pensarse que de alguna forma los estudiantes generan explicaciones que lo incluyen para explicarse los cambios evidentes cuando dos sustancias entran en contacto. Por otro lado, otro de los primitivos (P1 – El componente determina las propiedades), parece estar presente como un patrón fenomenológico muy recurrente y que ha sido reportado en diversas investigaciones (v.g. Talanquer, 2006); la perspectiva de los ‘recursos conceptuales’ permite reconceptualizar su uso y existencia dentro de la estructura cognitiva de los estudiantes, al dejar de asumir que es una concepción estable que es necesario confrontar y considerarla dentro del conjunto de recursos conceptuales con los que los estudiantes cuentan y que les permiten dar sentido a los fenómenos que se les presentan.

Si bien, los primitivos fenomenológicos ya han demostrado su eficacia como constructos que permiten describir y explicar muchas de las concepciones que presentan los estudiantes en áreas como fuerza y movimiento (diSessa, 1993; Hammer, 1996) y en otras áreas como las matemáticas (Pratt y Noss, 2002; Wagner, 2006), las investigaciones en el área de la química son incipientes y por ello estos primitivos pueden valorarse como un aporte tanto en el desarrollo general de la perspectiva de los recursos conceptuales como en el aspecto más específico de comprender la construcción de explicaciones para fenómenos relacionados con la estructura corpuscular de la materia desde el punto de vista de la ciencia.

6.1.2 Mecanismos de explicación

Como ya se mencionaba en la introducción y a lo largo de los capítulos uno y dos, es posible darse cuenta que la investigación en este campo no ha logrado dar cuenta de los *procesos* de construcción de las representaciones de los estudiantes.

En este sentido, los resultados de esta investigación adquieren relevancia ya que se proponen los *mecanismos* como una forma en la que los estudiantes construyen sus representaciones, considerando elementos específicos del contexto al cual se enfrentan. El uso, por parte de los estudiantes, de ciertas características de las partículas como el movimiento, y el tamaño, al considerarlos como elementos relevantes en la construcción de explicaciones podría interpretarse como el puente mediante el cual los estudiantes *comunican* el universo concreto (en el que las cosas se mueven, pesan, etc.), con el universo de las representaciones. A diferencia de los primitivos fenomenológicos que son abstracciones que podrían utilizarse para explicar fenómenos muy diversos y en diferentes contextos, dado que se encuentran en fenomenologías muy diferentes entre sí, los mecanismos, están estrechamente relacionados con el contexto y son los elementos contextuales percibidos como relevantes por los sujetos en un momento determinado los que podrían determinar el mecanismo utilizado para construir la explicación. En esta investigación, hemos mostrado cómo ciertas asociaciones de mecanismos resultan más productivas que otras en tanto se utilizan para explicar un mayor número de fenómenos y por un mayor número de estudiantes. Dichas asociaciones podrían explicar por qué algunas representaciones son utilizadas con mayor consistencia que otras, aun cuando estén alejadas de la representación aceptada. Hammer, Elby y Redish (2005), proponen la idea de que los recursos conceptuales se agrupan de cierta forma (no azarosa) frente a una demanda cognitiva, sin embargo, no se especifica cómo o por qué se agrupan de formas específicas. La consideración de estos mecanismos nos ha permitido proponer algunas formas en las que los recursos se asocian en los contextos específicos de los fenómenos presentados. Considerando las características de esta investigación, dichas asociaciones pueden considerarse como exploratorias y podrían validarse y aplicarse en un estudio posterior en el que poblaciones diferentes se sometieran a las mismas demandas. Ello permitiría dar cuenta de *procesos* de algunos procesos de construcción de las representaciones, que podrían ser fundamentales para mejorar nuestra comprensión del complejo proceso del aprendizaje.

La investigación más detallada del uso de *mecanismos* como los que se han propuesto en este trabajo permitiría ubicarlos como elementos fundamentales de la construcción conceptual, que les posibilitan a los individuos *transitar* de la percepción a la representación, lo cual contribuye al avance en la construcción de una 'teoría de aprendizaje', como la que se requiere para comprender y explicar la construcción conceptual de los estudiantes, y que tendría implicaciones importantes en el ámbito educativo (diSessa, 2004; Redish, 2004; Hammer, 2004; Flores, 2004).

El panorama de investigación que plantea este trabajo, a partir de la perspectiva teórica de los recursos conceptuales, es muy amplio porque obliga a mirar los procesos de construcción conceptual de manera diferente a como se ha hecho hasta ahora en una porción amplia de la investigación en este campo (Duit, 1999).

Sería muy importante para mejorar nuestra comprensión respecto a los procesos de aprendizaje investigar la forma en la que estos recursos conceptuales y su asociación cambia a través del tiempo, de forma que pueda pasarse de la descripción *estática* a una descripción *dinámica* del proceso de construcción conceptual. Así, podría ser pertinente un estudio longitudinal, que permitiera dar cuenta de cómo un individuo (o grupo de individuos) transforma los recursos conceptuales que utiliza y cómo esta transformación puede relacionarse de forma directa con ciertos elementos del contexto en el que se desarrolla.

Dado que este es trabajo de investigación educativa, su interés último está en mejorar la forma en la que los estudiantes aprenden ciencia, por ello, sería también importante en trabajos futuros, poder utilizar las ideas propuestas desde esta perspectiva y los resultados de investigaciones como ésta para diseñar intervenciones pedagógicas en el aula.

6.2 Implicaciones para la educación

Más allá del desarrollo teórico que representa este trabajo, al proponer distintos recursos conceptuales que forman parte de la estructura cognitiva y diferentes formas en las que pueden activarse estos recursos en diferentes contextos para dar lugar a la multiplicidad de representaciones, este trabajo tiene también implicaciones para la enseñanza, algunas de ellas se desarrollan a continuación.

Ya se mencionó en el capítulo dos que la perspectiva de los recursos conceptuales, es fundamentalmente diferente de la perspectiva de las ‘concepciones alternativas’ en tanto considera que los recursos de los estudiantes son productivos y pueden desarrollarse (más que reemplazarse) para constituirse en modelos más poderosos que permitan a los estudiantes explicarse un número mayor de fenómenos. Desde la perspectiva de las concepciones alternativas que considera las concepciones como entidades estables en la estructura cognitiva, la inestabilidad y la incoherencia en el uso de las concepciones por parte de los estudiantes no son fenómenos consistentes y no encuentran explicación (Smith, diSessa y Roschelle, 1993). Desde la perspectiva de los ‘recursos conceptuales’, dicha variación es de esperarse, lo cual hace que sea una perspectiva más consistente con la fenomenología que intenta explicar.

Muchas de las estrategias de enseñanza propuestas desde diversos modelos de cambio conceptual que consideran las concepciones como entidades unitarias, tienen como fundamento la generación de un conflicto cognitivo o la confrontación con las ideas ‘erróneas’ o ‘alternativas’ de los estudiantes tan pronto como éstas son explicitadas. Sin embargo, una perspectiva como la de los ‘recursos conceptuales’ promueve esquemas de enseñanza más flexibles, en los que los maestros y los investigadores estemos “menos preocupados acerca de las ideas erróneas de los estudiantes y menos complacidos por sus ideas correctas porque a lo largo del tiempo estarán ensamblando, desensamblando y reensamblando de nuevo tanto estas ideas como muchas otras” (Hammer, 2004, p.12). Desde esta perspectiva, aprender implica fundamentalmente *reorganizar* los recursos

existentes, por ello, como afirma Redish (2004, p. 29): “es crítico que los educadores presten atención a la forma en la que los estudiantes seleccionan, coordinan, combinan y transforman sus recursos conceptuales”.

6.2.1 Las estrategias de enseñanza basadas en la perspectiva de los recursos conceptuales

Como se describió en el capítulo 1, muchas de las estrategias de enseñanza que se han propuesto en el ámbito de la enseñanza de las ciencias se basan en la noción de que los estudiantes sostienen ciertas concepciones sobre los fenómenos físicos que es necesario cambiar mediante la enseñanza y muchas de ellas se basan en el conflicto cognitivo como elemento fundamental que (se presume) permite a los estudiantes elegir concepciones más fructíferas que las que sostienen actualmente (Linder, 1993).

Desde la perspectiva de los recursos conceptuales, es importante que las estrategias de enseñanza consideren que en muchas ocasiones las concepciones de los estudiantes son inconsistentes y que dependen del contexto en el que se presentan, más que considerarlas como entidades unitarias y estables que se aplican de manera consistente a todos los fenómenos relacionados. Ello necesariamente implica el diseño de estrategias más flexibles que diversifiquen las oportunidades de aprendizaje para los estudiantes, pero con un énfasis importante en los procesos que favorecen la construcción conceptual.

Conocer los recursos conceptuales con los que cuentan los estudiantes para el aprendizaje de un tema determinado permitirá proponer los contextos óptimos para que puedan desarrollarlos y construir explicaciones más poderosas que eventualmente pudieran constituirse como entidades más estables dentro de la estructura cognitiva. Wagner (2006), señala que no se trata solamente de presentar a los estudiantes con múltiples contextos y una diversidad de situaciones, sino que se deben presentar aquellos contextos en los que es más probable favorecer el desarrollo de recursos respecto a un tema determinado.

Los resultados de esta investigación pueden ser útiles para la enseñanza porque es importante que tanto los maestros como quienes participan en el diseño de estrategias de enseñanza:

- Estén conscientes de la diversidad de recursos con que los estudiantes cuentan para construir diferentes explicaciones
- Presenten a los estudiantes diferentes ejemplos y fenómenos en diferentes contextos, elegidos cuidadosamente para promover el razonamiento de los estudiantes.

Gómez Crespo y Pozo (2001) hacen notar que la consistencia de las representaciones de los estudiantes varía en función de su contenido, así, cuando las representaciones tienen su origen en la percepción de los objetos en contextos cotidianos, los alumnos disponen de representaciones muy consistentes, basadas en los aspectos macroscópicos de la materia, por ejemplo, que la materia es continua y estática, a no ser que un agente actúe sobre ella. Sin embargo, en otras áreas conceptuales, como por ejemplo la conservación de la materia, que no tiene una relación directa con el entorno cotidiano, es menos común encontrar representaciones que sean consistentes. Esto nos lleva a reflexionar sobre la importancia de contar con un marco flexible para interpretar las construcciones de los estudiantes, ya que es muy posible que en determinados dominios las concepciones de los estudiantes presenten mucha más consistencia que en otros, como ha sido demostrado en diversas investigaciones. En este sentido sería más importante tener claridad sobre las condiciones en las que dichas concepciones pueden alcanzar mayores grados de coherencia y estabilidad (Taber, aceptado para su publicación), para poder tomar decisiones que lo favorezcan. Gómez Crespo y Pozo (2001) afirman que el cambio conceptual, es decir, el aprendizaje implica un incremento en la consistencia de las concepciones, vinculada a los niveles de explicitación de las representaciones.

Si, como se ha mostrado en este trabajo, las representaciones se constituyen a partir de elementos más 'pequeños' que son estables en sí mismos, tales como los

primitivos fenomenológicos y que éstos se relacionan a través del reconocimiento de *mecanismos* estrechamente vinculados al contexto, es posible pensar que se pueden generar estrategias de enseñanza que atiendan a esta diversidad y que promuevan la constitución de ‘espacios de variación’ (Marton y Booth, 1997; Runesson, 1999) adecuados para permitir a los estudiantes desarrollar sus recursos conceptuales de forma más productiva. Los resultados de esta investigación demuestran que al aprender sobre la naturaleza corpuscular de la materia, es muy valioso proveer oportunidades para que los estudiantes experimenten y expliquen fenómenos diferentes que desde el punto de vista científico parecerían ser solamente variaciones menores, pero que contienen la diversidad de elementos relevantes que podrían permitir a los estudiantes la activación de los recursos conceptuales disponibles de forma que mejore su comprensión científica.

6.2.2 Algunas orientaciones específicas para la enseñanza del tema de la estructura corpuscular de la materia

Ya se ha mencionado a lo largo de este trabajo que la naturaleza corpuscular de la materia es un tema central en la enseñanza de las ciencias naturales y que permite discutir aspectos diversos no sólo alrededor del tema en sí mismo, sino también acerca de la naturaleza de la ciencia y sus procesos de construcción. Como se ha mostrado a lo largo de este trabajo, son muchos y muy variados los recursos conceptuales con los que los estudiantes cuentan y que les permiten construir explicaciones para los fenómenos presentados.

Para la enseñanza de la naturaleza corpuscular de la materia es fundamental considerar los procesos de *construcción conceptual* de los estudiantes, mismos que la profesora o profesor deben favorecer. Para ello, es importante que los profesores conozcan, de antemano, cuáles son los recursos conceptuales que suelen utilizar los estudiantes al aproximarse a este tema y a partir de los cuales pueden favorecer el desarrollo de nociones productivas para explicar y comprender los fenómenos. Así, el profesor debe proveer con suficientes

oportunidades para que los estudiantes construyan sus representaciones acerca de un fenómeno y debe estar conciente que cada individuo cuenta con múltiples representaciones que pueden modificarse de acuerdo con el contexto. La profesora (o profesor) debe elegir los fenómenos que presenta a sus estudiantes, el tipo de preguntas que hace alrededor de ellos, y las actividades que propone (reflexión individual, discusión grupal, trabajo colaborativo, entre otras) de forma que se favorezca la *construcción conceptual*, al mismo tiempo que se incrementa la autonomía de los estudiantes, permitiendo que éstos sean capaces de reconocer las múltiples representaciones que tienen respecto a un fenómeno y el contexto de aplicabilidad de cada una ellas.

El caso de las mezclas puede utilizarse para ejemplificar, a manera de conclusión, la importancia de considerar los recursos conceptuales con los que cuentan los estudiantes para construir un concepto determinado. Por ejemplo, Aude, (cuyas respuestas se analizaron con detalle en la sección 5.4.2, y cuya entrevista completa se encuentra en el anexo), cuando describe por qué el permanganato se disuelve y se puede ver en el fondo del vaso explica: *“no, es que como que haz de cuenta que las tienen como agarradas, (...) como las tienen unas pocas las que alcanzaron a agarrar su morado pues lo tienen y entonces como que se quedan en la parte de abajo, que es lo de agua con la cosa morada y arriba pues no alcanzó, entonces ya está el agua normal”*, lo cual nos permite pensar que Aude le concede mucha importancia al color y al cambio de éste como evidencia de que algo está pasando. No es así cuando Aude explica lo que ocurre cuando el agua se mezcla con el etanol: *“[me imagino las moléculas] unas arriba de otras, el alcohol y el agua como sea, pero también agitadas (...) el alcohol, apachurra al agua y entonces baja un poco más”*.

¿De qué forma se puede favorecer que Aude construya un modelo que le permita explicar de manera más consistente los fenómenos que se relacionan con las mezclas? Una estrategia de enseñanza que atienda a la multiplicidad de recursos conceptuales utilizados por los estudiantes y a las diferentes formas en las que éstos se asocian mediante mecanismos, debe permitir que Aude tenga suficientes

experiencias con los fenómenos, por ejemplo: la mezcla de un sólido con un líquido, sin que el color se transforme; la mezcla de un líquido transparente con un líquido colorido; la observación de los cambios que ocurren en la disolución con el paso del tiempo y que pueda hacer las reflexiones necesarias alrededor de ellos. Es decir, es importante considerar los escenarios en los que los estudiantes pueden poner en juego los diversos recursos conceptuales pertinentes para este tema particular.

Es fundamental que el profesor esté conciente de la multiplicidad de concepciones que pueden generarse y que permita a los estudiantes esta construcción paulatina a partir de distintos fenómenos, haciéndoles notar y permitiéndoles probar la utilidad y aplicabilidad de los modelos que se generan, sin tratar de imponer el modelo escolar sobre los modelos de los estudiantes. En este caso, el profesor puede saber de antemano cuáles son los recursos conceptuales (mecanismos y primitivos), que los estudiantes utilizan comúnmente para explicar fenómenos relacionados con las mezclas, lo cual le permitirá estar más atento a las explicaciones que construyen los estudiantes.

Por ejemplo, en el caso de la disolución de permanganato de potasio en agua, Aude está haciendo énfasis en el color de la sustancia como determinante en el proceso de disolución, lo cual puede ser indicativo del primitivo fenomenológico “el componente determina las propiedades”, y hace uso también de mecanismos que tienen relación con las acciones mecánicas de las partículas (agarrar a las partículas y quedarse con ellas). El profesor puede utilizar los argumentos que Aude propone (suponiendo que éstos hayan sido puestos a discusión ya sea dentro de un equipo o en una sesión plenaria con todo el grupo), para favorecer la reflexión respecto al hecho de que las moléculas *se agarran* unas a otras, puede, por ejemplo, proponer clarificaciones en el lenguaje: ¿qué quiere decir agarrar?, ¿qué características de las partículas les permiten agarrarse?, ¿en qué sentido puede pensarse que las partículas se agarran y en qué sentido se está haciendo una analogía entre los seres humanos y las partículas? Así mismo, el profesor puede utilizar el primitivo “el componente determina las propiedades” para

favorecer que los alumnos desarrollen la *comprensión* de esta noción (más allá de utilizarla como un primitivo fenomenológico autoexplicativo e impenetrable) y puedan distinguir las ocasiones en las que esta noción permite explicar determinados fenómenos, por ejemplo, explicar las mezclas analizando las diferencias que existen entre las explicaciones a nivel macroscópico y las explicaciones a nivel microscópico.

Desde esta perspectiva, el papel de los experimentos y de los fenómenos presentados en clase, así como el del profesor, se transforman completamente para permitir que los estudiantes construyan representaciones múltiples mediante las cuales explican los fenómenos que se les presentan. Estas representaciones serán más poderosas y adquirirán un mayor valor en la estructura cognitiva de los estudiantes (por lo tanto serán utilizadas de forma más consistente y coherente), entre mayores oportunidades tengan de aplicarlas y de probar sus posibilidades para explicar fenómenos diversos.

Es importante, por lo tanto, que los profesores valoren el uso de experimentos o las experiencias de cátedra más allá de ‘mostrar’ a los estudiantes ciertos conceptos, o verificar información que se les ha ‘dado’ previamente en clase (Hodson, 1994; Hofstein & Lunetta, 2004). Como se ha mostrado a lo largo de este trabajo, los fenómenos tienen una función fundamental en la construcción de las explicaciones, porque es a partir de ellos que los estudiantes identifican la posibilidad de utilizar ciertos mecanismos para asociar recursos conceptuales que dan como resultado las distintas representaciones que los estudiantes explicitan. Por ello, el profesor o profesora requiere un dominio del tema que va a enseñar, de forma que pueda *adelantar* algunas construcciones conceptuales de los estudiantes y que también conozca las asociaciones de recursos conceptuales que resultan más productivas, para guiar la clase de forma que se favorezca la construcción de representaciones más poderosas.

Se ha hablado mucho de la importancia del conocimiento del profesor, no sólo respecto al tema que va a enseñar, sino también a la forma en la que sus alumnos aprenden, dentro de muchas otras variables importantes en el proceso de enseñanza–aprendizaje. Los profesores deben tener un conocimiento pedagógico del contenido (Shulman, 1986), que les permita hacer frente a los cuestionamientos de los estudiantes y vislumbrar los mejores caminos para que los estudiantes construyan los conceptos científicos. Es claro que la forma en la que los estudiantes aprenden no es la única variable que determina los resultados del proceso de enseñanza, que es un proceso muy complejo. Sin embargo, consideramos que sí es muy importante que los profesores la consideren para hacer las elecciones que más convengan a los estudiantes, de acuerdo al tema que se trata y a los recursos conceptuales de los que éstos disponen.

En este trabajo solamente se realizaron entrevistas con estudiantes de forma individual, y es claro que el trabajo de las profesoras y profesores en el aula es de una naturaleza totalmente diferente y se lleva a cabo en un ambiente y bajo unas reglas que no son en nada similares a este desarrollo. Sin embargo, las sugerencias didácticas que surgen de este trabajo pueden resultar útiles a los profesores en tanto señalan diversas posibilidades de construcción que pueden llevar a cabo los estudiantes y le permiten constatar la complejidad del proceso en el que sus estudiantes se encuentran involucrados.

Una enseñanza de las ciencias que considere la multiplicidad de representaciones en torno a un mismo fenómeno tanto para un mismo individuo como dentro de un grupo de individuos, y que provea las condiciones de construcción que se han descrito anteriormente, permitirá que los estudiantes sean más autónomos, capaces de entender las limitaciones y posibilidades de los modelos científicos y desarrollen la comprensión de la ciencia necesaria para los ciudadanos del mundo actual.

REFERENCIAS

- Andersson, B. (1986) The experiential gestalt of causation: a common core to pupils' preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 8 (2), 155– 171.
- Andersson, B. (1990) Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, 18, 53 – 85.
- Bachelard, G. (1968) *La filosofía del no: Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires: Amorrortu
- Berger. P. y Luckman, T. (1968) *La construcción social de la realidad*. Buenos Aires: Amorrortu
- Caravita, S. y Hallden, O. (1994) Re-framing the problem of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 89 –111.
- Charmaz, K. (1995) Grounded theory. En J. Smith, R. Harré y L. Lagenhove (Eds.) *Rethinking methods in psychology* (pp. 27-49). Thousand Oaks, California: Sage Publications.
- Charmaz, K. (2003) Grounded theory: objectivist and constructivist methods. En N. Denzin e I. Lincoln (Eds.) *Strategies for Qualitative Inquiry* (pp. 249 – 291) Thousand Oaks, California: Sage Publications,.
- Chi, M. (1992) Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. En R. Giere (Ed.) *Cognitive Models of Science* (pp. 129 – 186) Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M y Roscoe, R. (2003) The processes and challenges of conceptual change. En M. Limón y L. Mason (Eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 3 – 17) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chiu, M. M., Kessel, C., Moschkovich, J. y Muñoz-Nuñez, A. (2001) Learning to graph linear functions: a case study of conceptual change. *Cognition and Instruction*, 19 (2), 215 – 252.

- Claxton, G. (1993) Minitheories: a preliminary model for learning science, En P. J. Black y A. M. Lucas (Eds.), *Children's Informal Ideas in Science*, (pp. 45-61) London: Routledge.
- Clement, J. J. y Steinberg, M. S. (2002) Step-wise evolution of mental models of electric circuits: A "Learning-Aloud" case study. *The Journal of the Learning Sciences*, 11 (4), 389 – 452.
- Denzin, N. y Lincoln, I. (2000) The discipline and practice of qualitative research. En N. Denzin e I. Lincoln. *Handbook of Qualitative Research*. (2da edición, pp. 1 – 33). Thousand Oaks, California: Sage Publications
- DfEE/QCA (1999) *Science: The National Curriculum for England, key stages 1-4*, Department for Education and Employment/Qualifications and Curriculum Authority.
- diSessa, A. (1993) Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 105 – 225.
- diSessa (1996) What do "Just Plain Folk" know about physics? En D. Olson y N. Torrance (Eds.) *Handbook of Education and Human Development*. (pp. 709 – 730). Oxford: Blackwell.
- diSessa, A. (2003) Why conceptual ecology is a good idea. En M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. (pp. 29 – 60) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- diSessa, A. (2004) How should we go about attributing knowledge to students? En E. F. Redish y M. Vicentini (Eds.) *Research on Physics Education. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"* (pp. 117 – 135), Amsterdam: IOS Press
- diSessa, A. y Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20 (10), 1155 –1191.
- diSessa, A. A, Elby, A., y Hammer, D. (2002). J's epistemological stance and strategies. En G. M. Sinatra y P.R. Pintrich (Eds.), *Intentional Conceptual Change* (pp. 237-290). Mahwah, NJ: Erlbaum
- diSessa, A., Gillespie, N. y Esterly, J. (2004) Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force, *Cognitive Science*, 28, 843 – 900.

- diSessa, A. A., y Wagner, J. F. (2005). What coordination has to say about transfer. En J. Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multi-disciplinary perspective* (pp. 121--154). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Driver, R., y Easley, J. (1978) Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Driver, R. y Erickson, G. (1983) Theories-in-action: some theoretical and empirical issues in the study of students' conceptual frameworks in science, *Studies in Science Education*, 10, 37-60
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994) *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London: Routledge.
- Driver, R. y Scott, P. (1995) Curriculum development as research: a constructivist approach to science curriculum development and teaching. En D. Treagust y B. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. (pp. 94 –108) New York: Teachers College Press.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. En. W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.) *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 263 – 282). Oxford: Pergamon.
- Duit, R. (2007) Bibliography - Students' and Teachers' Conceptions and Science Education, available from <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html> Accessed 09/04/2007
- Duit, R. y Treagust, D. F. (1998) Learning in science: From behaviourisms towards social constructivism and beyond. En. B. Fraser y K. Tobin (Eds.) *International Handbook of Science Education*. Dordrecht:Kluwer, 3 – 25.
- Eilam, B. (2004) Drops of water and of soap solution: Students' constraining mental models of the nature of matter, *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 970–993.

- Engel Clough, E. & Driver R. (1986) A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts, *Science Education*, 70, 473-496.
- Ernest, P. (1995). The one and the many. En L. Steffe & J. Gale (Eds.). *Constructivism in Education* (pp.459-486). New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M. (Eds.) (1963) *The Feynman Lectures on Physics, Volume 1, Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company*.
- Flores, F. (2005) El cambio conceptual: interpretaciones, transformaciones y perspectivas. *Educación Química*, 15, 256 – 269.
- Flores, F., Gallegos, L., Sosa, P., Bello, S., et al, (2002) Base de datos: ideas previas. Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, UNAM. Disponible en línea: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/> [9 de agosto de 2007]
- Flores, F. y Gallegos, L. (en prensa) El cambio conceptual, su origen, desarrollo y significado en la enseñanza de la ciencia. En S. Bello (coord.) *El enlace químico: aproximaciones para su enseñanza*. Facultad de Química, UNAM.
- Gallegos, L. (2002) *Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: el modelo de la estructura de la materia*. Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Filosofía y Letras: UNAM
- Gallegos, L. y Canales, E. (2007) *Las ideas de los niños preescolares sobre la luz y la formación de las sombras*. Enviado para publicación
- Gilbert, J. K., y Watts, D. M. (1983) Concepts, misconceptions and alternative conceptions: changing perspectives in science education, *Studies in Science Education*, 10, 61-98.
- Glaser, B. G. (1978) *Theoretical Sensitivity: Advances in the Methodology of Grounded Theory*, California: The Sociology Press.
- Glaser, B. G. (2002) Conceptualization: On theory and theorizing. Using Grounded Theory, *International Journal of Qualitative Methods*, 1 (2). Article 3. Available at <http://www.ualberta.ca/~ijqm/> (accessed 9/03/2006)

- Glaser, B. y Strauss, A. (1999) *The discovery of grounded theory*. Primera edición: 1967. New York: Aldine de Gruyter.
- Gómez-Crespo, M. A. (2005) *Aprendizaje e instrucción en química. Cambio en las representaciones de los estudiantes acerca de la materia*. Tesis de doctorado no publicada. Facultad de Psicología: Universidad Autónoma de Madrid.
- Gómez Crespo, M. A. y Pozo, J. I. (2001) La consistencia de las teorías sobre la naturaleza de la materia: una comparación entre las teorías científicas y las teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 24(4), 441-459.
- Gómez-Crespo, M. A. y Pozo, J. I. (2004) Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26, 1325 – 1344.
- Hammer, D. (1996a) More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64 (10), pp. 1316 – 1325.
- Hammer, D. (1996b) Misconceptions or p-prims: how may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions? *Journal of the Learning Sciences*, 5 (2), 97-127.
- Hammer, D. (2000) Student resources for learning introductory physics. *Physics Education Research*, 68 (7), 52 -59.
- Hammer, D. (2004). The variability of student reasoning. Lecture 3. Manifold Cognitive Resources. En E. Redish y M. Vicentini (Eds.), *Proceedings of the Enrico Fermi Summer School, Course CLVI*. Bologna: Sociedad Italiana de Física. Versión preliminar disponible en <http://www2.physics.umd.edu/%7Edavidham/varenna3.pdf> (9 de agosto de 2007)
- Hammer, D. y Elby, A. (2003) Tapping Epistemological Resources for Learning Physics. *Journal of the Learning Sciences*, 12, 53-90.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E. y Reddish, E. F. (2005) Resources, framing and transfer. En J. Mestre (Ed.) *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective*, (pp. 89-119). Information Age Publishing.

- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2002) The particulate nature of matter: challenges in understanding the submicroscopic world. En J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust y J. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp.189-212), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Hewson, P. W., Beeth, M. E. y Thorley, N. R. (1998). Teaching for conceptual change. En B. J. Fraser y K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Londres: Kluwer Academic Publishers, 199 – 218.
- Hodson, D. (1994) Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 200 – 313.
- Hoffstein, A. y Lunetta, V. N. (2004) The laboratory in science education: foundations for the twenty first century, *Science Education*, 88, 28 – 54.
- Ioannides, C. y Vosniadou, E. (2002) The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 5 – 61.
- Johansson, B., Marton, F. y Svensson, L. (1985). An approach to describing learning as change between qualitatively different conceptions. En L. West y A. Leon Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Academic Press. 233 - 257.
- Johnson, P. (1998) Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20, 393 – 412.
- Jones, S. R. (2002) Becoming grounded in grounded theory methodology. En S. B. Merriam (Ed), *Qualitative Research in Practice: Examples for Discussion and Analysis* (pp. 163-177). San Francisco: Jossey Bass
- Kind, V. & Taber, K. S (2005) *Science: Teaching School Subjects 11-19*, London: Routledge.
- Kuhn, T. (1970). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1970) Falsification and the methodology of scientific research programs. En I. Lakatos and A. Musgrave (Eds.) *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press.

- Linder, C. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77, 293 – 300.
- Marton, F. (1981) Phenomenography – Describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177 – 200.
- Marton, F. (1986) Phenomenography – A research approach to investigating different understandings of reality, *Journal of thought*, 21 (3), 28 – 49.
- Marton, F. y Booth, S. (1997) *Learning and awareness*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Marton, F. y Pang, M. F. (1999) *Two faces of variation*. Presentado en la 8ava Conferencia Europea para la Enseñanza y la Instrucción (EARLI). Agosto de 1999.
- Mayer, R. (2003) *Understanding conceptual change: a commentary*. En M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 101 – 111.
- McCloskey, M. (1983) Naive theories of motion. In D. Gentner and A. Stevens (Eds), *Mental Models*, (pp. 229-324), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Merriam, S. (2002) Introduction to Qualitative Research. En S. B. Merriam (Ed), *Qualitative Research in Practice: Examples for Discussion and Analysis* (pp. 3-17). San Francisco: Jossey Bass
- Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. En R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 110-128). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- MoE (1993) *Science in the New Zealand Curriculum*, Ministry of Education, Wellington: Learning Media.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4, 267 – 285.
- Mortimer, E. F. (1998). Multivoicedness and univocality in the classroom discourse: an example from theory or matter. *International Journal of Science Education*, 20, 67-82.

- NAS (1996) *National Science Education Standards*, National Research Council of the National Academy of Sciences: Washington DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80, 163 – 183.
- Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. En R. Giere (Ed.) (pp. 3 – 44) *Cognitive Models of Science* Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Novick, S. & Nussbaum, J. (1981) Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Ogborn, J. & Bliss, J. (1990) A psycho-logic of motion, *European Journal of Psychology of Education*, 4, 379-390.
- Pang, M. F. y Marton, F. (2003) "Beyond lesson study" Comparing two ways of facilitating the grasp of some economic concepts. *Instructional Science*, 31, 175 – 194.
- Petri, J. y Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high – school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20 (9), 1075 – 1088.
- Pintrinch, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). Beyond conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63 (2), 167 – 199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., y Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211 – 227.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998) *Aprender y Enseñar Ciencias*. Madrid: Morata
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (2005) The embodied nature of implicit theories: the consistency of ideas about the nature of matter. *Cognition and Instruction*, 23, 351–387.
- Pratt D., y Noss, R. (2002) The Microevolution of Mathematical Knowledge: The Case of Randomness. *The Journal of the Learning Sciences* 11(4) 455–488.

- Rodrigo, M. J., Rodríguez, A. y Marrero, J. (1993) *Las teorías implícitas. Una aproximación al conocimiento cotidiano*. Madrid, Visor.
- Redish, E. F. (2004) A theoretical framework for physics education research: Modeling student thinking. En E. F. Redish y M. Vicentini (Eds.) *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"* (pp. 1 – 57) Amsterdam: IOS Press.
- Renstrom, L., Andersson, B., y Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82, pp. 555-569.
- Runesson, U. (1999) *Teaching as constituting a space of variation*. Presentado en 8ava Conferencia Europea de Aprendizaje e Instrucción (EARLI). Agosto de 1999.
- Schutz, A. (1967) *Fenomenología del mundo social. Introducción a la sociología comprensiva*. Buenos Aires: Paidós
- Scott, P. H. (1992) Pathways in learning science: a case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter. En R. Duit, F. Goldberg y H. Neidderer (Eds.) *Research in Physics Learning: theoretical issues and empirical studies*, (pp. 203 – 224). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- SEP (2006) *Ciencias. Educación básica. Secundaria. Programas de Estudio 2006*. México: Secretaría de Educación Pública.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4 – 14.
- Silverman, D. (2005). *Doing qualitative research*. 2da edición. London: Sage Publications.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., y Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *Journal of the Learning Sciences*, 3 (2), 115-163.
- Solomon, J. (1993) The social construction of children's scientific knowledge. En P. L. Black (Ed.), *Children's informal ideas about science* (pp. 85 – 101) Londres:Routledge.

- Spada, H. (1994). Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction*, 4, 113 – 116.
- Stavy, R. (1995) Conceptual development of basic ideas in chemistry. En S. Glynn y R. Duit (Eds.), *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice* (pp.131-154). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Strauss, L. (1987) *Qualitative analysis for social scientists*. Cambridge: Cambridge University Press
- Strauss, A. y Corbin, J. (1998) *Basics of qualitative research*, 2da edición. Thousand Oaks: Sage Publications
- Strike, K. y Posner, G. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. L. West y A. Leon Pines (Eds.) *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Academic Press. 211 - 233.
- Taber, K. S. (1997) *Understanding chemical bonding – the development of A level students' understanding of the concept of chemical bonding*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Surrey.
- Taber, K. S. (2000) Múltiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure, 22 (4), 399 – 417.
- Taber, K. S. (2000) Case studies and generalisability - grounded theory and research in Science Education, *International Journal of Science Education*, 22, 469-487.
- Taber, K. S. (2001) Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 23 (7), 731 – 753.
- Taber, K. S. (2003) Mediating mental models of metals: acknowledging the priority of the learner's prior learning, *Science Education*, 87, 732 –758.
- Taber, K. S. (2006) Beyond Constructivism: the progressive research programme into learning science, *Studies in Science Education*, 42, 125-184.
- Taber, K. S. (accepted for publication) Conceptual resources for learning science: issues of transience and grain size in cognition and cognitive structure, *International Journal of Science Education*.

- Taber, K. S. y Watts, M. (1996) The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding, *International Journal of Science Education*, 18, 557-568.
- Taber, K. S. y Tan, K. C. D. (2007) Exploring learners' conceptual resources: Singapore A level students' explanations in the topic of ionisation energy, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 375–392.
- Talanquer, V. (2006) Common sense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83, 811-820.
- Taylor, S. y Bogdan, R. (1998). *Introduction to Qualitative Research Methods*. 3era edición. New York: John Wiley
- Tiberghien, A. y G. Delacôte (1978), "Résultats préliminaires sur la conception de la chaleur," in *Physics Teaching in Schools: Proceedings of the 5th Seminar of GIREP*, edited by G. Delacôte (London, Taylor & Francis Ltd.), pp. 275-282.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding: an inquiry into the aims of science*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tytler, R. (1998) The nature of students' informal science conceptions, *International Journal of Science Education*, 20, 901-927
- Tytler, R. (2000) A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22, 447 – 467.
- 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.
- Viennot, L. (1979). *Le Raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, Paris : Hermann.
- Viennot, L. (1985). Analyzing students' reasoning: Tendencies in interpretation. *American Journal of Physics*, 53, 432-436.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4, 45 – 69.

-
- Vosniadou S. (1999). Conceptual change research: state of the art and future directions. En W. Schnotz, S. Vosniadou y M. Carretero (Eds.), *Advances in Learning and Instruction Series. New Perspectives on Conceptual Change*. Oxford: Pergamon. 3 – 13.
- Vosniadou, S. (2003). On the nature of naïve physics. En M. Limón y L. Mason (eds.) *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. (pp. 61 – 76) Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Wagner, J. F. (2006). Transfer in pieces. *Cognition and Instruction*, 24 (1), 1 – 71.
- Wandersee, J. Mintzes, J. y Novak, J. (1994) Research on alternative conceptions in science, en D. Gabel (Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. NSTA 177 – 210.
- Watts, M. and Taber, K. S (1996) An explanatory gestalt of essence: students' conceptions of the 'natural' in physical phenomena, *International Journal of Science Education*, 18, 939-954
- White, R. y Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. New York: Falmer Press

ANEXO

En este anexo se presentan las entrevistas realizadas a estudiantes mexicanas. Algunos fragmentos de estas entrevistas fueron presentadas en el capítulo 5 de descripción y análisis de los resultados.

M15AuM

A. Entrevistadora

M. Estudiante Au

Permanganato / Agua		
A: Lo primero que voy a hacer es poner un poquito de agua y unos cristalitas de esta sustancia que se llama permanganato de potasio y lo voy a poner en el agua, ¿qué va a pasar? M: se va a poner morado		
A: Cómo describirías lo que está pasando ahí? M: <u>Está como desprendiendo el color</u> , pero como que se va más para arriba, como que para los lados es más lento		
A: Hay como unas rayitas ahí, como unos hilitos y se va también como expandiendo (...) por qué crees que pasa eso? M: porque se disuelve		
A: qué quiere decir que se disuelva? M: <u>como que se esparce en toda el agua</u> , pero lento		
A: y por qué puede esparcirse por el agua? M: <u>porque el agua lo permite</u> , como que se van juntando, <u>como el agua se mueve es más fácil</u>		P4. Un componente activo
A: Cuando dices el agua se mueve, qué es lo que se está moviendo? M: las moléculas A: cómo son esas moléculas? Cómo te las imaginas? M: No sé yo me las imagino así como <u>bolitas que están muy agitadas</u> , entonces como que agarran una y se la llevan ahí a pasear (risas)	m6 Movimiento de partículas	
A: como que están agitadas, chocan con una de las moradas y de alguna forma se la llevan? M: aha		

<p>A: si lo dejamos ahí, qué crees que va a pasar? M se va a poner morada el agua A: toda el agua? Nada más abajo? M: ahí se ve nada más abajo, y los hilitos ya no están, entonces yo creo que nada más abajo A: por qué se quedaría nada más abajo? M: porque ahí hay evidencia</p>		
<p>A: pero, esto que estás diciendo de que el agua se mueve y le pega a las moradas y se lleva las moradas (...) M: sí, es un poco contradictorio, pero (risas) bueno, sí yo creo que se va a quedar abajo porque ya no se ve tanto arriba</p>		
<p>A: y tú crees que van a dejar de moverse o se van a seguir moviendo, qué haría que de pronto se quedara nada más abajo y no se moviera hacia toda el agua M: <u>la densidad</u> A: qué tiene que ver la densidad? M: supongo que este es más denso, entonces se queda más abajo</p>		<p>P1 Densidad como explicación</p>
<p>A: cuando lo puse, casi todo se fue directo hacia abajo, entonces es más denso M: se queda más abajo, entonces las moléculas lo tienen y les aumenta la densidad, supongo y entonces se quedan abajo</p>		
<p>A: y abajo tengo moléculas de agua con permanganato, o están solo las de permanganato, cómo te imaginas? M: como que mezcladas</p>		
<p>A: abajo mezcladas y arriba se van a quedar solamente las de agua? M: supongo, es que se ve como nada más una capita y arriba se ve el agua normal, transparente</p>		
<p>A: pero se van a seguir moviendo? M: aha</p>		
<p>A: pero ahora ya no se las van a llevar? M: no es que como que haz de cuenta que <u>las tienen como agarradas, (...) como las tienen unas pocas las que alcanzaron a agarrar su morado pues lo tienen y entonces como que se quedan en la parte de abajo, que es lo de agua con la cosa morada y arriba pues no alcanzó, entonces ya está el agua normal</u> A: las que están arriba no alcanzaron entonces digamos ya está el agua normal? M: aha</p>	<p>m2 Acciones mecánicas: las moléculas de agua toman una de colorante</p>	<p>P? Antropomorfismo P5 Predisposición estática</p>

<p>A: si hubiera puesto más, si yo agregara otra cucharada de permanganato, entonces qué pasaría? M: pues quién sabe porque pon tú que eso puede ya estar saturado, entonces pues ya no A: y si está saturado qué quiere decir, que ya todas agarraron a su (...) a la suya de permanganato M: ya me hice bolas yo sola, yo creo A: vamos a dejarlo ahí y vamos a ver qué pasa dentro de cinco minutos</p>		
Alcohol / Agua		
<p>A: voy a poner aquí 25 ml de agua y aquí 25 ml de alcohol y luego las voy a poner en este matraz aforado que sólo sirve para medir 50 mL. Cuando yo los ponga juntos, crees que van a sumar 50 mL? M: no, no creo, o bueno sí A: por qué primero no crees? Qué te hace pensar que puede ser que no? M: es que matemáticamente si daría, 25 + 25 suman 50, pero como que se puede como reducir un poquito supongo por lo mismo</p>		
<p>A: ¿por lo mismo de? M: <u>por la densidad</u></p>		<p>P1 Densidad como explicación</p>
<p>A: ¿qué tiene que ver la densidad? M se puede como contraer y entonces, pero por poquito A: qué quiere decir se puede contraer? Qué le va a pasar cuando se contrae? M: como que si lo aplasta, bueno, no sé cuál sea más denso que el otro, pero si <u>lo puede como aplastar, como aplastar, y pues el otro se contrae, entonces sobra un espacio</u></p>	<p>m2 Acciones mecánicas: una sustancia aplasta a la otra</p>	<p>P5 Predisposición estática</p>
<p>A: entonces tú crees que se va a quedar uno arriba del otro? M: puede ser A: y el que está arriba puede apachurrar al de abajo M es que no sé la verdad</p>		
<p>A: voy a poner el agua primero, tengo mis 25 ml de agua y voy a poner los de alcohol, fijate lo que pasa ahí adentro (...) M: ha, ves! Como que se hizo como espiralitos al mezclarse, A: ¿cuál se quedó arriba al mezclarse? M: ¿el agua no? Es que como que se mezclaban muy raro, como espiralitos A: y ahora se ven esos espiralitos? M: no A: ahora ya se ve como muy homogéneo M si</p>		

<p>A: entonces tú dices, el que esté arriba está como apachurrando al de debajo de alguna forma...</p> <p>M: si</p>		
<p>A: qué pasa si lo agitamos más, qué podría pasar, bajará más, se quedará igual, subirá?</p> <p>M: puede subir, no? Supongo, por las burbujas que ocupan espacio y si se mezclan abajo hay una burbuja de un poquito y hay varias burbujas que ocupan más espacio</p> <p>A: puedo generar burbujas y que eso haga que se eleve el nivel, y si luego se van esas burbujas, regresaría?</p> <p>M: aha</p>		
<p>A: lo voy a marcar y lo voy a agitar</p> <p>M: bajó</p> <p>A: por qué crees que baja?</p> <p>M: (...) puede ser porque como que se acomodan mejor al recipiente (...) bueno eso no</p> <p>A: por qué no?</p> <p>M: bueno porque el agua, se supone que eso es una propiedad que tienen los líquidos, que se amoldan al recipiente, entonces eso no puede ser</p>		
<p>A: qué si puede ser? No suman 50, todavía le agitas y baja más</p> <p>M: no sé la verdad</p> <p>A: cómo te imaginas? Si piensas en las moléculas, cómo te imaginas que están ahí las moléculas ahí adentro?</p> <p>M: <u>como unas arriba de otras, el alcohol y el agua como sea, pero también agitadas</u></p>		<p>P5 Predisposición estática</p>
<p>A: podrías dibujarlo?</p> <p>M: estas son las de agua, estas están todas así (uhuhju) y aquí abajo están las otras, de alcohol, o como sea, pero también así como, pero bueno, tal vez aquí hay una de alcohol por casualidad, como revueltas, pero conservando un como margen</p>		
<p>A: si yo metiera algo para tomar una muestra hasta abajo, sería distinto que si tomara una muestra hasta arriba?</p> <p>M: aha</p> <p>A: habría más de agua abajo, o de alcohol abajo?</p> <p>M: aha, y tal vez por eso también baje, <u>a la hora de revolverlo, pon tu pusiste el agua abajo y el alcohol, apachurra al agua y entonces baja un poco más</u></p>	<p>m2 Acciones mecánicas: una sustancia apachurra a la otra</p>	

<p>A: y están moviéndose ahí o están quietecitas? M: moviéndose, sí, moviéndose A: por qué? M: porque bueno, como que también es una característica de los líquidos que siempre están en movimiento</p>		
Permanganato / Agua		
<p>A: eso de que se están moviendo tiene sentido aquí (en el permanganato)? M: no A: por qué no? M: pues porque, como que está más raro, porque aquí nada más es una parte, tal vez lo de abajo se convirtió en otra sustancia, que es diferente al agua</p>		
Alcohol / Agua		
<p>A: por qué aquí? No vemos ya diferencias, no? Ya no se ve ninguna diferencia entre el alcohol y el agua, por qué crees que hay más moléculas de una que de otra, si las moléculas se están moviendo todo el tiempo? M: la densidad</p>		
<p>A: por qué no se alcanzan a mezclar todas M: <u>por la densidad</u>, pon tu, si tienes aceite y agua no sé, el aceite creo que es más denso, por lo mismo, por acá abajo puede haber pequeñas cantidades de alcohol en la parte del agua, pero si la ves como conjunto no se mezclan</p>	<p>Densidad asociada con no mezclarse</p>	<p>P1 Densidad como explicación</p>
<p>A: estas al final no se están mezclando como el aceite y el agua, pasa lo mismo? M: aha, nadamás que aquí no se ve tan claro por el color A: entonces tú tienes más de agua abajo que de alcohol? M: aha</p>		
<p>A: tenemos el agua ahí y vamos a poner un poquito de alcohol para ver cuál se queda arriba (...) alcanzas a ver cómo se queda arriba? M: aha</p>		
<p>A: si yo lo dejo un rato, tú crees que el alcohol se va a quedar ahí, o llegará un momento en el que (...) M: si no, bueno, como te explicaba, no que se mezclen, y que todo esté así súper mezclado pero como que se van haciendo así</p>		
<p>A: en la parte de en medio (...) M: <u>en la parte de en medio se van intercambiando un poco y entonces esas se dan cuenta de que oh, no! Aquí no voy y se suban</u></p>		<p>P? Antropomorfismo</p>

<p>A: por qué crees que las moléculas como que tienden a estar con las suyas? M: francamente no sé A: qué te imaginas? M: <u>como que no tienen las características para llegar a una completa disociación para mezclarse totalmente</u>, entonces como que una que otra puede, bueno no, porque si no serían todas, como que no se pueden mezclar, entonces por eso guardan esa distancia, bueno, pueden estar revueltas pero sin mezclarse</p>		<p>P1. Componente determina las propiedades</p>
<p>Permanganato / Agua</p>		
<p>M: mira, ya se está pintando hacia arriba (el permanganato) A: por qué? M: cómo que se va subiendo poco a poco, pero muy lentamente, la cosa morada A: por qué se va subiendo? M: porque se va mezclando y se ven también como espiralitos, como que van subiendo, entonces como que lo poco que sube, el agua que no alcanzó como que lo tiene más cerca y entonces como que se apropia</p>		
<p>A: y entonces al final, tú crees que va a estar todo morado? M: si pero dentro de mucho</p>		
<p>A: si estuviera todo morado, tú crees que las moradas estarían repartidas uniformes, o va a estar como aquí siempre separado como el agua y el alcohol? M: tal vez sí, <u>porque es como colorante esa cosa</u>, entonces si le pones al agua colorante como que también hace sus espiralitos y acaba toda el agua pintada, nadamás que esto desde un principio baja y se va esparciendo más lentamente. El alcohol como es líquido se subió y el colorante se bajó</p>		<p>P1. Componente determina las propiedades</p>
<p>A: entonces este que es como colorante al final se va a quedar por todos lados y el alcohol se va a quedar también por todos lados o se va a quedar arriba? M: yo creo que arriba, es que no sé bien (...) A: qué te hace pensar que arriba? M la densidad, no? A: pero este era más denso no? Y al final se va a quedar por todos lados M: si porque ya está como juntando con otras moléculas, es mezclable, entonces como que (uishhhs) A: y este no es tan mezclable, ¿se queda arriba? M: aha</p>		

Disolución de nitrato de níquel		
A: vamos a hacer un último, tengo agua y voy a poner en cada vasito un poquito de cada una de estas sustancias. Fíjate lo que pasa M: salen burbujitas, y también como las espirales, creo, son como cristalitos, como que se van fragmentando		
A: ¿por qué le pasa eso? Era un cristal verde y ya ni se ve M: tal vez por sus propiedades, que tenga esa cosa A: ¿qué le hace el agua a esa cosa? M: como que actúa como que más rápido, no sé muy bien por qué, pero hace que actúe más rápido		
A: qué quiere decir que actúe más rápido, o sea, está el agua y entonces (...) M: como que al momento que entra en contacto con el agua como que <u>es así como (...) como de ley que se ponga así más rápido, que se separa más rápido, como que lo pones y se separa</u>		P3. Es la forma natural de las cosas
A: qué le hace el agua? Por qué se separa a fuerzas? M: porque (...) porque han de ser como más compatibles para separarse		
Disolución de carbonato de sodio		
A: voy a poner aquí carbonato de sodio, ¿le pasará lo mismo? M: no pues ya se tardó, bueno comparado con ese ya se tardó		
A: como que no le pasa mucho. Lo voy a mezclar (...) ¿por qué cuando lo agito se disuelve? M: porque como que <u>le ayudas al agua de que esté más agitada, entonces como que agarra más rápido a la sustancia</u>	m2 Acciones mecánicas: el agua agarra la sustancia	P4. Un componente activo
Reacción carbonato de níquel		
A: ahora los voy a poner juntos, qué pasa ahí? M: cambió de color, se hizo más turbia el agua		
A: teníamos dos disoluciones muy transparentes y ahora se puso muy turbia M: tal vez <u>al estar mezcladas con el agua, cambió un poco sus propiedades y entonces al mezclarse como que ya no son agua en sí y la otra cosa en sí, ni el otro sino que ya son como una sustancia distinta y entonces al mezclarse forman una nueva sustancia</u>	m4 Formación de una nueva sustancia	

<p>A: qué les pasa a las moléculas cuando forman una nueva sustancias?</p> <p>M: <u>como que si era una estrellita y de repente viene un cuadrado como que se vuelve un pentágono, cambia</u></p> <p>A: digamos choca y se forma (...)</p> <p>M: una cosa nueva</p>	<p>m4</p> <p>Formación de una nueva sustancia</p>	
<p>A: por qué piensas luego, luego en una cosa nueva?</p> <p>M: pues porque ya no es lo que era antes</p>		
<p>Permanganato / Agua</p>		
<p>A: y en este por qué no pensaste nunca en una cosa nueva?</p> <p>M: sí, dije el de abajo</p>		
<p>A: ¿y sigues pensando lo mismo?</p> <p>M: si, bueno no sé, porque ahí es más como colorante, bueno tal vez es porque yo traía la idea del colorante, pero yo siento que ese es más colorante</p>		
<p>A: o sea, cuál es la diferencia entre el colorante que se mezcla con el agua y estas dos cosas que se mezclaron y forman algo nuevo, cuando tu dices tengo una estrella, un cuadrado forman un pentágono, y en este caso (permanganato), tienes una estrella y un cuadrado y qué les pasó?</p> <p>M: como que nada más, <u>pon tú que la estrella en el centro era blanca, pon tu que ahora en el centro tiene un cuadrado</u></p> <p>A: como que sigue siendo una estrella un cuadrado</p> <p>M: aha, como juntos, y acá no,</p>	<p>m2 / m5</p> <p>Acciones mecánicas: una partícula entra en la otra</p> <p>Unión de partículas</p>	
<p>A: ¿cómo crees que están, unidos, mezclados, o el colorante se metió a las moléculas del agua?</p> <p>M: como que vagando, pero como primero se fue hasta abajo, entonces como que se fue vagando pero muy despacio, lento, entonces fue poco a poco y después ya valoró que esa sustancia fuera morada (por decirlo así) y se empieza como a expandir en los lugares</p> <p>A: tampoco es que se quede junto</p> <p>M: es como que va vagando y también como que se van deshaciendo los cristalitos en partes más pequeñas y entonces como que se ven (uishsishsish)</p>		
<p>Globo / Jeringa</p>		
<p>A: Yo tengo esta jeringa y tengo un globito aquí que está amarrado y voy a tapar la jeringa y voy a jalar el émbolo, qué va a pasar?</p> <p>M: se va a chupar</p>		

<p>A: por qué? M: como que si hay un poquito de aire se va a hacer así como aplastado</p>		
<p>A: Observa M: se infló A: por qué se infla? M: por la presión</p>		
<p>A: qué pasa con la presión? Cuando dices la presión, qué es? M: qué tan fuerte está aplastando una cosa a otra cosa A: y en este caso es la presión de que? M: yo creo que si le pones el dedo, como que no está pasando el aire, crea como un vacío, bueno el aire se dispersa un poco más</p>		
<p>A: no está pasando nada de aire, entonces tengo la misma cantidad de aire M: <u>como que se esparcen las moléculas de aire</u> A: y eso cómo explica que se infle el globo? M: no lo sé, todavía (...) como que al momento de expandirse, el globo tiene como hoyitos, entonces como que algunas moléculas al generar vacío tratan de meterse al globo</p>	<p>m3 Espacio entre las partículas</p>	
<p>A: es que como que no me convence todavía, en el globo hay un poquitito de aire, ¿qué crees que le pasa a ese aire cuando yo jalo?, entonces tú dices se expande M: pues hay más vacío, bueno hay más espacio en el que ese aire se pueda expandir entonces me imagino porque es como quien dice, mira ahí hay espacio</p>		<p>P? Antropomorfismo</p>
<p>A: digamos le pasa lo mismo al aire de la jeringa M: que a lo del globo, al fin de cuentas es aire, entonces <u>al jalarlo encuentra más espacio por el cual repartirse</u> y entonces como que poco a poco se va como inflando el globo</p>	<p>m3 Espacio entre las partículas</p>	
<p>A: <u>¿por qué estabas pensando que entra el aire al globo?</u> M: <u>porque no encontraba otra respuesta</u></p>	<p>Primera respuesta: el aire entra al globo</p>	
<p>A: cuando dices se expande el aire qué quieres decir? Qué se expande? M: las moléculas, pon tu en este cuarto hay dos moléculas y se van a todos lados y se mueven más</p>		
<p>A: no se hacen grandes las moléculas? M: no, sino que <u>su movimiento hace que sea más grande, dicen aquí tenemos más espacio y se mueven</u></p>	<p>m6 Movimiento de partículas</p>	

<p>A: el espacio entre ellas es lo que cambia? M: no, el espacio no, sino que su movimiento, su agitación es la que crece, como que se empiezan a mover por todos lados, en cambio si las tienes en un lugar más apretado se mueven pero con más complicación. O sea, se mueven mucho pero como que si chocan pues se tienen que desviar y si chocan con la pared, y en cambio acá pueden tener una trayectoria larga</p>	<p>m6 → m3 Movimiento de partículas causa espacio entre las partículas</p>	
<p>A: por qué se regresa la jeringa hasta donde estaba? M: no sé A: piensa en esto de las moléculas M: tal vez como que de ahí empezaron entonces están más acopladas, como que les cuesta más trabajo el lugar nuevo, pon tu, que hay un cuarto con una cuevita tapada y abres la cuevita y una de casualidad lo encuentra y otra no A: si yo lo dejo se va a quedar solito hasta allá, si yo lo destapo ya no se mueve M: a lo mejor es que como que (...) no sé</p>		
<p>A: también juega el (...) M ¿el entorno, no? Tal vez aquí hace más calor o tiene una característica diferente A: ¿pero en qué momento tiene una característica diferente? M: al momento de destaparlo, pon tu ahorita lo tapas y ahí ya es esta cosa y aquí pues puede pasar algo y aquí pon tú que se calienta más o se enfría porque ya está en otro espacio y <u>cuando lo sueltas, esta característica como que la busca más y cuando lo sueltas como que esta característica lo busca más y se va para allá</u></p>		<p>P? Antropomorfismo</p>
<p>A: tú estás diciendo que el aire tiende a irse a todos los espacios que pueda, mientras no lo cierre la presión afuera es igual a la presión adentro ahorita y de hecho si yo lo cierro ahorita, no ha cambiado nada M: sí, pero en el otro momento, lo que tú haces es jalarlo</p>		
<p>A: si yo por ejemplo lo empujo, ¿cómo es la presión ahí ahora? M: mayor, porque hay menos espacio A: ¿qué le pasó al globo ahí? M: se desinfló A: por qué se desinfló el globo? M: por la presión, como es mayor, <u>como que se vuelven más contraídas las moléculas entonces ya no pueden estar tan esparcidas, entonces como que lo que hacen es juntarse y ya no pueden estar jugando, moviéndose</u> A: y si lo suelto, hacia dónde va a volver? M: hacia donde estaba al principio</p>	<p>m3 / m6 Espacio entre las partículas Movimiento de partículas</p>	

<p>A: por qué puedo comprimir el aire? Si esta jeringa estuviera llena de agua, podría comprimirla?</p> <p>M: tal vez, por lo mismo, de que te digo de las moléculas, como que las del agua (...)</p> <p>A: ¿cómo están las del agua comparadas con las del aire?</p> <p>M: <u>más quietas, pon tú, las del aire son más inquietas entonces como al momento de juntarlas, siguen recorriéndose al espacio, pero las del agua como que se salen,</u> no?</p> <p>A: como que no podrían?</p> <p>M: si le pones agua y le apachurras te mojas el dedo</p>	<p>m6</p> <p>Movimiento de partículas</p> <p>Movimiento mucho más relevante que espacio</p>	
<p>A: eso tiene que ver con que haya espacios?</p> <p>M: o presión</p> <p>A: a qué te refieres?</p> <p>M: bueno, es que presión y espacio como que van de la mano, no?</p> <p>A: por qué?</p> <p>M: bueno, porque en física presión es fuerza entre área, entonces como que hay un área, tienes que saber lo que mide un área para saber la presión</p>		
<p>A: mientras yo tenga mayor área,</p> <p>M: depende también de qué fuerza le estés aplicando</p> <p>A: si tengo la misma fuerza pero en un área mayor, la presión es (...)</p> <p>M: menor</p> <p>A: por qué?</p> <p>M: ¿o no? Como que es un poco obvio, pues sí, porque el espacio es más grande, pon tú que yo este espacio chiquito aplico esto y en toda la mesa aplico esta es mucho menor presión.</p>		

M16MaM

A. Entrevistadora
M. Estudiante Ma

Permanganato de potasio / Agua		
A: Aquí tengo agua destilada y tengo aquí permanganato de potasio, y voy a poner unos cristallitos en el agua, ¿qué crees que pueda pasar con ellos? M: que se disuelva A: ¿qué pasa con las sustancias cuando se disuelven? M: está toda el agua y entra, pero en vez de separarse, se vuelven uno		
A: Lo voy a poner, y tú me describes qué pasa M: no se disolvió (...)		
A: describe qué pasó M: no se juntaron, se quedó abajo, y en una parte como mucho más junto y en otras separado y algunas partes arriba		
A: y si ves como el caminito, como en medio? ¿por qué se forman esas líneas? M: no sé		
A: qué crees que pasa cuando entra la sustancia ahí? M: va abriéndose como espacio		
A: ¿cómo le hace para abrirse espacio? M: no sé		
A: ¿cómo te imaginas? Tienes estos granitos de sustancia morada, qué le vas poniendo, los pones ahí y qué les pasa? M: <u>pues se van moviendo (...) las partículas, hasta poder, como que va a empujando también a las de al lado</u>	m6 / m2 Movimiento de partículas Acciones mecánicas: se van abriendo camino	
A: se va moviendo, entra y empieza a (...) M: pero poquito, para llegar al fondo,		
A: o sea sólo para llegar al fondo (...) y ahora, qué está pasando en el fondo, ¿hay algo como distinto? M: se está expandiendo A: ¿por qué se expande? M: no sé A: ¿qué te imaginas que está pasando ahí? M: no tengo idea		
A: entró, estaba esa parte más oscura y está como expandiéndose por abajo M: supongo que estaba haciendo lo mismo que cuando entró, sólo que hacia los lados A: y cómo te puedes explicar que pasa eso? M: no sé		

<p>A: ¿qué crees, si lo dejo así un rato, qué le va a pasar? M: supongo que toda la parte de abajo ya va a estar cubierta de eso A: sólo la parte de abajo? M: sí porque como que nunca empezó, como que no se juntó con el agua, entonces supongo que se va a quedar separado</p>		
Aceite / Agua		
<p>A: qué pasa si yo pongo aceite? M: se van a queda separados, porque como que chocan, se queda arriba</p>		
<p>A: como que chocan? Qué es lo que choca? M: no sé, las partículas o no sé A: no se mezclan entre ellas, sino que se quedaría y lo demás abajo</p>		
<p>A: por qué hay algunas cosas que no se mezclan nada como el aceite y el agua? ¿qué hace que algunas cosas nomás no se mezclen? M: como lo de los polos de negativo y positivo y todo eso, se supone que cuando tienen parecidos se repelen en vez de juntarse</p>	m7 Compatibilidad entre partículas	
<p>A: ¿por qué tienen polos las partículas? M: no sé, nunca lo había pensado A: ¿son como los polos de los imanes? Son distintos? M: supongo que como los polos de los imanes</p>		
Permanganato / Agua		
<p>A: y aquí, qué crees que está pasando, aquí es como el mismo caso que el agua y el aceite, o no? M: no, supongo que si tienen que tener medio parecidos porque no se mezcla, no tanto como el agua y el aceite porque poquito a poquito si se están juntando</p>		
<p>A: ¿Qué les pasa cuando se juntan? ¿Cómo te imaginas que está ahorita la situación ahí? M: <u>pues van medio rebotando las partículas y entonces van uniéndose</u> A: rebotando (...) qué hace que las partículas reboten? M: no sé</p>	m2 Acciones mecánicas: las partículas rebotan	
<p>A: si te pido que dibujes, ¿cómo crees que están ahí las partículas? M: así</p>		
<p>A: y aquí es como la parte de abajo, no? M: <u>se volvió un poco más denso porque se juntan</u> A: y acá se quedan solamente las de (...) M: agua</p>		P5 Predisposición estática

<p>A: y si yo lo dejo así un buen rato, ¿qué crees que le pase?</p> <p>M: <u>supongo que va a haber más movimiento</u> y se va a llenar un poco más todo</p> <p>A: y qué es lo que hace que haya más movimiento?</p> <p>M: no sé</p>	<p>m6 Movimiento de partículas</p>	
<p>A: por qué te imaginas que se están moviendo?</p> <p>M: no tengo idea</p> <p>A: tú crees que se están moviendo siempre?</p> <p>M: sí</p>		
<p>A: pensar que se mueven tiene sentido?</p> <p>M: no, porque lo ves sin moverse,</p> <p>A: pero cuando tienes que explicar algo como esto?</p> <p>M: pues crees que se mueven porque si no, no tendría sentido que vaya volviéndose la misma sustancia,</p>		
<p>A: si yo lo dejo así un buen rato entonces qué le va a pasar, se va a volver todo moradito?</p> <p>M: sí</p>		
<p>A: y hay manera de recuperar la sustancia moradita?</p> <p>M: pues supongo, evaporando el agua, se quedaría abajo la otra sustancia</p> <p>A: si evaporas el agua, por qué lo morado no se evapora también</p> <p>M: tal vez si se evapora, pero supongo que tienen diferentes niveles, entonces uno se evapora a cierta temperatura y la otra o no se evapora o se evapora a otra temperatura</p> <p>A: vamos a dejarlo ahí un ratito a ver qué le pasa</p>		
<p>Sal / Agua</p>		
<p>A: tengo aquí agua otra vez, y voy a ponerle un poquito de sal (...) si dejo la sal solita tú crees que se disuelva?</p> <p>M: no,</p> <p>A: si yo la dejo así, ¿qué crees que está pasando entre la sal y el agua?</p> <p>M: <u>las partículas de la sal no están interactuando con las del agua</u></p>		<p>P5 Predisposición estática</p>
<p>A: ¿Por qué no?</p> <p>M: no sé</p> <p>A: ¿si lo dejo así, tú crees que va a tener la misma cantidad de sal?</p> <p>M: sí</p> <p>A: bueno, vamos a dejarlo así un rato</p>		
<p>A: ahora voy a poner más agua y le voy a poner tantita sal. Esta vez lo voy a agitar, ¿por qué cuando agitas como que si se disuelve?</p> <p>M: porque las partículas empiezan a interactuar entre ellas</p>		

<p>A: y si dejas de agitar, dejan de interactuar? M: <u>al principio no porque siguen estando en movimiento, pero cuando paran, a menos de que se disuelvan y se vuelvan como otra molécula</u>, en vez de que quede el agua y la sal que quede algo que sea como agua y sal junto</p>	<p>El movimiento existe cuando agregas la sustancia</p>	<p>P5 Predisposición estática</p>
<p>A: y en este caso, ¿tú que crees que pase, que quede algo como agua y sal, o sea, que cambien las moléculas? M: (...) pues sí</p>		
<p>A: ya lo disolvimos, ¿tú crees que ahí tengo agua y sal (...)? M: no, una sustancia nueva, diferente A: ¿qué te hace pensar eso? M: <u>pues como se disolvió, no quedaron las dos sustancias separadas, quedó una diferente</u></p>	<p>m4 Formación de una nueva sustancia</p>	
<p>A: ¿podría recuperar la sal de ahí? M: no sé, supongo que sí A: ¿qué harías para recuperarla? M: (...) como ese experimento raro, como con un hilito y se va pegando la sal y lo demás ya se queda así</p>		
<p>A: si tu tuvieras aquí una sustancia nueva, ¿por qué será que la sal se vuelve a pegar al hilito? ¿cómo te imaginas que están las partículas de sal? ¿están como esas? M: no, <u>en vez de que sea agua así y sal, supongo que están como juntas, como que ya se volvieron una molécula</u></p>	<p>m4 Formación de una nueva sustancia</p>	
<p>A: ¿Qué pasa si yo calentara esto? M: se evaporaría el agua y la sal supongo que se quedaría abajo A: ¿qué les pasaría a estas partículas nuevas que se formaron? M: se separaría otra vez</p>		
<p>Reacción de cloruro de plata</p>		
<p>A: voy a poner ahora esta otra sustancia que se llama nitrato de plata que son estos cristalitos, voy a agarrar uno y lo voy a disolver. Si yo lo dejo así, ¿tú crees que se disolvería? M: sí, pero en mucho tiempo</p>		
<p>A: ¿qué pasaría entre el agua y el cristal? ¿Qué estaría pasando en ese tiempo? M: las partículas sí se moverían pero empezarían a interactuar más lento que en los otros</p>		
<p>A: ¿por qué más lentos? M: <u>por la densidad</u> A: es decir cada sustancia tiene una densidad diferente y por eso se mueve diferente? M: sí</p>		<p>P1 Densidad como explicación</p>

<p>A: ahora tengo aquí agua con sal y aquí agua con nitrato de plata y ahora voy a agregar una a la otra M: se está poniendo como turbia</p>		
<p>A: ¿qué crees que está pasando ahí? M: pues como en una había sal y en otra nitrato, supongo que esas partículas interactúan entre ellas y cambió el color</p>		
<p>A: pero cambió como mucho, no? M: igual supongo que la luz influye A: qué tendría que ver la luz M: <u>al rebotar esas partículas o así</u> (...) no sé, pero no es igual</p>	<p>m2 Acciones mecánicas: las partículas rebotan</p>	
<p>A: ¿se parece esto al caso en el que pusimos la sustancia morada? M: no, porque esté cayó hasta el fondo y se fue expandiendo y en este, desde que lo echaste se empezó a mezclar pero volviéndose de otro color, entonces pues no es lo mismo</p>		
<p>A: qué partículas crees que haya ahí? M: <u>pues como una de todo, con agua, nitrato y sal,</u> A: como si se hubiera hecho una sola partícula de todas? M: sí A: como en el caso de la sal? M: sí</p>	<p>m4 Formación de una nueva sustancia</p>	
<p>A: qué pasaría si yo evaporo esto? M: pues supongo que a una temperatura se iría el agua y luego quedarían la sal y los nitratos</p>		
<p>A: quedarían la sal y el nitrato? M: o tal vez quedarían juntos, pero el agua se evaporaría</p>		
<p>A: ¿por qué crees que en este caso sea tan distinto de lo que yo tenía al principio? M: no sé, pero hasta se ve más espeso</p>		
<p>A: si te fijas, se alcanza a ver un polvito y si lo dejamos así un rato vamos a ver cómo se asienta un poquito (...) entonces aquí se forman sustancias nuevas, ¿cómo te imaginas ese proceso? M: <u>pues supongo que tienen polos diferentes y se atraen y pues se van medio pegando las partículas y queda otra de ellas</u></p>	<p>m5 Las partículas se unen</p>	
<p>A: ¿puedes dibujar lo que tenías en un vaso, en otro y luego dibujar qué tienes cuando los tienes juntos? M: sí A: ¿la grande es el agua, y aquí tengo el cloruro de sodio y el nitrato?</p>		

A: y si yo evaporo, se quedarían estas dos separadas? M: no sé, o tal vez se quedarían juntas pero solas las dos chiquitas		
Globo / Jeringa		
A: ahora tengo aquí, es un globito cerrado y entonces voy a taparlo aquí y voy a jalar el émbolo, ¿qué crees que le puede pasar al globo? M: que se infle A: ¿por qué se puede inflar el globo? M: supongo que quedó un poco de aire aquí y con la presión lo jalaría y se iría inflando		
A: yo tengo ahí un poquito de aire, y voy a tapar para que no entre nada más, ¿se infla un poquito? M: sí A: ¿qué le pasa con el cambio de presión? M: supongo que lo que había ahí lo jaló y se infló		
A: qué había ahí que lo jala? M: un poco de aire y la presión de cuando lo jalas , del espacio que había, <u>las partículas tienen que ocupar todo el espacio que habían y se infla</u>	m3 Espacio entre las partículas	
A: por qué tienen que ocupar todo el espacio que hay? M: <u>porque las partículas del aire tienen que ocupar todo el espacio que hay</u>		P3. Las cosas tienen un estado normal
A: ¿cómo están las partículas en el aire que ocupan todo el espacio? M: muy separadas y volátiles		
A: por qué el que ocupen todo el espacio que hay hace que se infle el globo? M: supongo que como está vacío (...) ahí está en un espacio muy chiquito y como rodeado de muchas y al expandirse tiene más espacio y se expande él también		
A: cuando tú dices se expande, ¿qué está pasando ahí con las partículas? M: <u>como que se separan más y rebotan más entre ellas</u>	m3 / m6 Espacio entre las partículas Movimiento de partículas	
A: si yo hago el inverso, lo tapo y lo apachurro, ¿qué le va a pasar ahí? M: se va a quedar igual		
(...) M: se hace más aplastado A: ¿por qué yo puedo empujar el aire así?, si yo tuviera agua dentro de la jeringa, ¿podría hacer lo mismo? M: pero poquito porque como tiene más partículas, son más densas las del agua que las del aire, las podrías empujar poquito porque ya es el espacio máximo		

<p>A: ¿a qué te refieres con que son más densas? M: como que en un mismo espacio, el agua tiene más partículas que el aire, entonces el aire las puedes presionar más, tienen más espacio para poderse seguir juntando que las del agua</p>		
<p>A: y por qué llega un momento que ya no puedo empujar? M: porque ya no caben</p>		
<p>A: ¿cómo te imaginas que está ahí las partículas? M: como apelmazadas</p>		
<p>A: ¿ya estarán todas amenazadas aunque siga siendo un gas? M: más que antes, no están juntas, pegadas, A: por qué no están juntas pegadas? M: porque sería un sólido</p>		
<p>A: esta fuerza que yo siento así de que por más que yo empuje M: es como la presión de las partículas, o sea, el estarse moviendo y que ya no pueden más</p>		
Permanganato / Agua		
<p>A: qué le pasó al morado? M: se quedó abajo la mayoría de lo morado y arriba está toda el agua</p>		
<p>A: si tuviéramos tiempo y lo dejáramos así, tú cómo crees que quedaría (...) M: un poco más, tal vez subiría pero no creo que se juntara todo</p>		
<p>A: por qué no crees que se juntara todo? M: pues no sé, como el agua y el aceite (...) supongo que es más denso lo morado y se queda abajo</p>		
<p>A: aquí te imaginas también que las partículas chocan y se repelen? M: sí A: aunque hay algunas que sí se (...) M: sí algunas, pero no toda la sustancia</p>		
<p>A: ahorita cómo te imaginas las partículas, quitas moviéndose? M: moviéndose A: y si se están moviendo todo el tiempo, por qué crees que de todas maneras se queden separadas? M: no sé, por lo de los polos o así, como que no tienen la tendencia a juntarse</p>		
<p>A: debe haber algo en las partículas que no las deja juntarse? Algo así? M: algo, sí</p>		

Alcohol / Agua		
A: voy a medir aquí 25 ml de agua destilada y 25 ml de alcohol y los voy a poner juntos en este matraz que sólo está hecho para medir 50 ml, ¿crees que el volumen va a sumar 50? M: depende (...) de la interacción de sus partículas, porque si se mezclan, quedaría un poco más abajo		
A: si se mezclan qué pasa, por qué quedaría más abajo? M: <u>sería otra sustancia, entonces en lugar de ocupar todo el espacio como ya se juntaron un poco menos</u>	m4 Formación de una nueva sustancia	
A: entonces, digamos esta partícula de sal-agua que pusiste aquí ocupa menos espacio que la sal y el agua por separado M: aha		
A: ¿cómo te imaginas a las partículas de los líquidos, están juntas, están separadas? M: separadas pero tampoco mucho		
A: no subió hasta los 50, se quedó como abajo (...) digamos que tú lo explicarías porque el agua y el alcohol al juntarse forman esa sustancia nueva y esa sustancia nueva ocupa menos espacio de lo que ocupan las dos sustancias por separado? M: sí		
A: le voy a poner una marca aquí y lo voy a agitar, ¿qué crees que le pase? M: supongo que se quedaría igual, A: por qué ya no podría disminuir más M: porque si ya son una misma sustancia (...)		
A: lo voy a tapar y (...) ¿qué le pasó? M: se bajó un poquito más A: ¿cómo podrías explicarlo? ¿qué te imaginas que pudo haber pasado? M: no tengo idea		
A: cuando tú piensas se formó una nueva sustancia (...) M: <u>supongo que si no estaban todas encontradas ahí ya se encuentran todas y por eso disminuye un poco más.</u>	m4 Formación de una nueva sustancia	P5 Predisposición estática