

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS**

**“CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE  
ESTUDIANTES SOBRE EL CONCEPTO DE  
REACCIÓN QUÍMICA: UN EJERCICIO DE META-  
ANÁLISIS”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRA EN PEDAGOGÍA  
P R E S E N T A :**

**FLOR DE MARÍA REYES CÁRDENAS**

**TUTOR:**

**DR. ANDONI GARRITZ RUIZ**



**MÉXICO. D. F.**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**“CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE ESTUDIANTES SOBRE EL  
CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA: UN EJERCICIO DE META-ANÁLISIS”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRA EN PEDAGOGÍA

PRESENTA:

FLOR DE MARÍA REYES CÁRDENAS

TUTOR: Dr. ANDONI GARRITZ RUIZ

México, D. F.

2006

## AGRADECIMIENTOS

A México:

En esta tierra he visto mi primera luz, he visto y veo luz tierra firme y vasto cielo, todo mi entorno está entendido en el amor que nos tuvieron los que fueron hace tiempo. Y hoy hace un buen día para hablar de los que están aquí trazando a diario el bienestar de todo aquél que vendrá, como precederá la aurora el sol de diario, como sabemos que mañana será igual, porque así se ha venido haciendo con los años que trascurren y se van.

En esta tierra en donde puedo caminar bajo la dirección que le ponga a mis pasos, siempre habrá tiempo para venirle a cantar por ser lo más que se ofrecer como regalo. Me dio un lugar donde al volver con gusto se decir, es mi país, esta es mi tierra y casa y esta es su canción, una canción como todas las que se han hecho tan sólo que con esta quiero hacer mención, de todo el bien que me hizo nacer de este pueblo y que me parte el corazón, que hablar de México siempre me inflama el pecho. Y si miramos hacia atrás donde fuimos a empezar y encontramos los antiguos que formaron un lugar, pero un buen día se marcharon y aprendimos a decir: grandes fueron los viajeros que cruzaron por aquí.

En esta tierra conocí la dignidad del que trabaja para ver crecer los suyos, del que se esfuerza superar su condición aún a pesar de cruzar tiempos de infortunio. Y hoy hace un buen día para hablar de los que están aquí, trazando a diario el bienestar de todo aquél que vendrá. De la simiente que se llega al semillero que hasta esta tierra fértil un día arribará, y no hace falta repetir como los quiero si lo he dicho tanto ya y hablar de amor es bueno cuando se es sincero. Y hablar de amor es bueno cuando se es sincero. Y si ellos miran hacia atrás, de lo que les toca empezar y nos hallan a nosotros que formamos un lugar. Que un buen día nos marcharemos y tal vez podrán decir: Grandes fueron los viajeros que cruzaron por aquí.

Fernando Delgadillo

Agradecimientos particulares:

A mis papás, Rolando y Edna, por escucharme, aconsejarme, apoyarme e impulsarme a buscar mi camino. Por compartir conmigo lo que disfrutan, lo que piensan y su forma de vida. Por hacerme saber en cada momento de mi vida que me quieren, que me apoyan y que son parte de mí. Los quiero mucho.

A mis hermanas, a Tan y a Mon, por estar cerca de mí siempre, por su apoyo incondicional, por hacerme ver más allá de donde llega mi visión. También por compartir miles de momentos significativos en mi vida, por hacerme ser una mejor persona, por compartir su vida, sentimientos y aventuras conmigo. Por que son las mejores hermanas del mundo y además son grandes amigas mías. Las adoro, las quiero, las admiro. Gracias por estar conmigo.

A Tina, Lupita, Mica y mi abuelito Otilio, a mis tías y tíos, primas y primos, sobrinas y sobrinos y a mi cuñado. Por ser parte importante de mi vida, por ser un ejemplo de vida, por compartir sus sueños, experiencias y pensamientos conmigo. Por quererme como soy, muchas gracias. Los adoro.

A Andoni Garritz Ruiz, un gran educador y químico, un excelente tutor que me ha guiado, aconsejado y apoyado en todo momento, pero sobre todo a un gran ser humano. Me siento muy honrada de poder compartir con el este periodo de mi vida.

A la UNAM por su visión y su extraordinaria tarea de apoyar en el crecimiento educativo y profesional de miles de mexicanos como yo.

A la Facultad de Filosofía y Letras y a sus profesores por proveerme la educación necesaria para mi desempeño en el área educativa. Especialmente a Ana Maria Salmerón y Laura Márquez quienes, en el área de coordinación del posgrado del pedagogía, apoyaron todo mi proceso de formación. A Fernando Flores y Leticia

Gallegos por que además de colaborar con mí instrucción en la maestría me han provisto con maravillosas oportunidades para mi desarrollo profesional.

A la Facultad de Química, a sus profesores e investigadores por instruirme en la carrera de ingeniería química, que hoy es una base firme de mis conocimientos y habilidades.

A mis amigos, que son mi segunda familia, gracias por acompañarme en esta gran aventura de vivir, por todas la experiencias que hemos compartido. Han sido y son una gran alegría en mi vida.

A todos ustedes, a todos aquellos que han sido, son y serán parte de mi vida. Los quiero mucho.

<b>Tabla de contenido</b>	
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VII
TABLA DE CONTENIDO .....	VIII
TABLA DE GRÁFICAS, ILUSTRACIONES Y TABLAS .....	X
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
2.1    LOS CONCEPTOS BÁSICOS .....	10
2.2    LA REACCIÓN QUÍMICA.....	16
2.3    LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES .....	18
2.4    IMPORTANCIA DE CONOCER Y DOCUMENTAR LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS.....	20
2.5    META DE INVESTIGACIÓN .....	22
2.6    OBJETIVOS.....	22
3. MARCO TEÓRICO .....	25
3.1    FILOSOFÍA E HISTORIA DE LAS CIENCIAS: THOMAS KUHN.....	26
3.2    EL CONSTRUCTIVISMO. ....	28
3.2.1 <i>Aplicaciones al aprendizaje.</i> .....	29
3.3    EL CAMBIO CONCEPTUAL .....	31
3.3.1 <i>Aplicaciones en el aprendizaje.</i> .....	35
4. METODOLOGÍA .....	38
4.1    EL META-ANÁLISIS .....	38
4.2    UN EJERCICIO DE META-ANÁLISIS: “CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE ESTUDIANTES SOBRE EL CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA” .....	41
4.2.1 <i>Etapa 1: Identificación del tipo de datos necesarios para tratar la investigación.</i> .....	41
4.2.2 <i>Etapa 2: Recolección de artículos.</i> .....	42
4.2.3 <i>Etapa 3: Sistematización de información.</i> .....	43
4.2.4 <i>Etapa 4: Selección de datos</i> .....	45
4.2.5 <i>Etapa 5: Propuesta de categorías de análisis.</i> .....	45
5. RESULTADOS.....	50
5.1    LA REACCIÓN QUÍMICA.....	51
5.1.1 <i>¿Por qué y cómo ocurre?</i> .....	52
5.1.2 <i>Conservación de la masa.</i> .....	60
5.1.3 <i>Enlaces y energía</i> .....	64
5.1.4 <i>Estequiometría.</i> .....	65
5.1.5 <i>Representaciones gráficas.</i> .....	68
5.1.6 <i>Óxido-reducción</i> .....	74
5.1.6.1    La combustión .....	78
5.1.6.2    La combustión de una vela.....	80
5.2    CONCEPTOS QUÍMICOS RELACIONADOS .....	83

5.2.1	<i>Relación con el concepto de ‘sustancia’</i> .....	83
5.2.2	<i>Relación con los conceptos cambio físico y cambio químico</i> .....	89
5.2.2.1	Cambio físico y cambio químico: ¿En pro o en contra de la distinción? .	92
6.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	102
6.1	<b>ANÁLISIS POR CATEGORÍAS</b> .....	103
6.1.1	<i>La Reacción química</i> .....	105
6.1.1.1	¿Por qué y cómo ocurre? .....	106
6.1.1.2	Conservación de la masa .....	107
6.1.1.3	Enlaces y energía .....	108
6.1.1.4	Estequiometría .....	108
6.1.1.5	Representaciones gráficas.....	108
6.1.1.6	Óxido-reducción .....	110
6.1.2	<i>Conceptos químicos relacionados</i> .....	112
6.1.2.1	Sustancia.....	112
6.1.2.2	Cambio físico y cambio químico.....	113
6.2	<b>OTROS ANÁLISIS</b> .....	114
6.2.1	<i>Análisis con representaciones (Johnstone)</i> .....	116
6.2.2	<i>Análisis con perfiles conceptuales (Solsona, Izquierdo y De Jong)</i> .....	119
6.3	<b>INTEGRANDO EL ANÁLISIS</b> .....	121
7.	<b>CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	128
7.1	<b>RECOMENDACIONES DIDÁCTICAS</b> .....	130
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	138
9.	<b>ANEXO 1</b> .....	153

# Introducción



Salvador (Quino), 1993

## 1. Introducción

Ben-zvi, Nylon y Silberteín (1987), opinan que parece haber un entendido entre los maestros de química y los investigadores de que la Química es una disciplina especialmente difícil para los estudiantes. Han citado también muchas razones que podrían explicar la dificultad, entre ellas: que los conceptos de química son abstractos, que la estequiometría y los cálculos son complicados, que cualquier problema de química normalmente involucra muchas variables y esto 'sobrecarga' la memoria de los estudiantes y por último, que el lenguaje de Química es difícil para el novicio.

Los profesores de ciencias quieren que los estudiantes sepan las explicaciones actuales a los fenómenos naturales y cómo es que los científicos han llegado a estas explicaciones. Para hacer la enseñanza efectiva, los profesores deben entender no sólo lo que los estudiantes ya saben al respecto del tema, sino que también, cómo es que los estudiantes aprenden ciencia y cuáles estrategias de enseñanza son más apropiadas para el aprendizaje de sus alumnos (Wandersee *et al.*, 1994).

El estudio de las concepciones alternativas (CA) ha sido posiblemente la línea de investigación más desarrollada en didáctica de las ciencias. Es necesario que estas concepciones se saquen a la luz, si se quiere evitar que jueguen un papel bloqueador en la educación ciudadana. En este sentido, esta investigación documenta y cataloga las CA de los estudiantes sobre el concepto reacción química (RQ), recabadas por diferentes investigadores, ya que al enunciarlas y agruparlas se evidencia el problema de cambio conceptual que debe realizarse para que el aprendizaje se lleve a cabo y con esta información se puede pensar en una estrategia didáctica más específica y efectiva.

En este estudio se analizan los artículos y documentos donde se exponen las CA de estudiantes en torno al concepto RQ. Las categorías de análisis se realizaron

con base en temas en los que se puede abordar la enseñanza de la RQ; de esta forma se puede realizar un análisis que enriquece los resultados obtenidos y al mismo tiempo refleja las características principales de cada grupo, facilitando a docentes e investigadores su uso, aplicación y comprensión.

Lo novedoso de esta investigación es que integra en un mismo documento en español a todas las CA con respecto a la RQ y las organiza en temas que se acompañan de un análisis por sección. Generando así un documento que puede ser utilizado por personas involucradas en el área para conocer y comprender las CA de los estudiantes e integrar esta información en sus clases, herramientas y análisis de investigación en torno a la RQ.

Este trabajo se constituye de siete capítulos. En este primer capítulo se encuentra una breve descripción del contenido de esta tesis. En el segundo capítulo se encuentra el planteamiento del problema, en donde se presenta claramente la problemática detectada, así como los conceptos básicos de química y el porque se selecciona a la RQ como concepto de foco para esta investigación. También se explica la importancia, en la enseñanza de la ciencia, de las CA y la importancia de documentarlas y conocerlas. Para cerrar este apartado se presentan claramente delineados la meta de investigación y los objetivos.

En el tercer capítulo contiene el marco teórico que plantea las bases necesarias para comprender la enseñanza de las ciencias, comenzando con Tomas Khun y su teoría de las revoluciones científicas, pasando por el constructivismo y el cambio conceptual y por último se acentúa la importancia de las CA en la enseñanza de las ciencias.

En el capítulo cuatro se explica en qué consiste un meta-análisis y se presenta una aplicación específica a esta investigación exponiendo cómo se realizó cada una de las etapas de esta investigación e incorporando también cómo se obtuvieron las categorías de análisis y en que consiste cada una de ellas.

En el capítulo cinco se presentan todas las CA con una breve descripción de la investigación o artículo de donde se extrajo. Además se presentan en tres grupos 1) reacción química, que se subdivide en ¿por qué y cómo ocurre?, conservación de la masa, óxido-reducción, enlaces y energía, estequiometría y representaciones gráficas; 2) sustancia y 3) cambio físico y cambio químico.

En el capítulo sexto se presenta cada una de las categorías analizadas y se muestran las principales características de cada grupo así como los aspectos más relevantes.

Por último, en el capítulo siete se presentan una perspectiva de aplicación de esta integración y un análisis de CA, en la que se muestran algunas sugerencias didácticas y se contempla la importancia de incorporar esta información a una estrategia de enseñanza.

## Resumen

En este trabajo se hace un meta-análisis actualizado en torno a las concepciones alternativas sobre la 'reacción química'. Las concepciones alternativas son las explicaciones que los estudiantes proporcionan de un fenómeno dado y no son científicas.

Se realizó una búsqueda de investigaciones documentadas en los últimos veinticinco años y se presentan con precisión las concepciones alternativas de 'reacción química', así como de 'sustancia' y 'cambio físico' y 'cambio químico', que el desarrollo de la investigación apuntó como importantes para la comprensión de la reacción química. Se informan 169 concepciones alternativas de reacción química, 26 de sustancia y 26 para cambios físicos y cambios químicos.

Un objetivo importante es categorizar de las concepciones alternativas que enriquezca los resultados obtenidos.

Las categorías de análisis se obtuvieron por temas en los que se puede abordar la enseñanza de la reacción química. Dentro de nuestro tema principal de estudio, la reacción química, los temas presentan los siguientes porcentajes: un 26% se refiere a reacciones de óxido-reducción, 25% de ellas expresa el ¿por qué y cómo ocurre una reacción química?, otro 25% está relacionado con la conservación de la masa en una reacción química, otro 13 % a las representaciones gráficas de reacciones químicas, un 6% a estequiometría y por último el 5% corresponden a enlaces y energía en las reacciones químicas.

Lo novedoso de esta investigación es que integra en un mismo documento en español a todas las concepciones alternativas de la reacción química y las organiza en temas. Por lo que esta investigación puede ser utilizada por los docentes e investigadores en el área, para conocer y comprender las

concepciones alternativas de los estudiantes e integrar esta información en sus clases, herramientas y análisis de investigación en torno a la reacción química.

## Abstract

This work describes a meta-analysis performed in students' alternative conceptions on the concept of chemical reaction, using as data the research papers and documents of the topic published during the last twenty five years. An alternative conception is an explanation given to a certain phenomena that it is not scientific.

The alternative conceptions are presented in three groups with the following distribution: a hundred and sixty nine alternative conceptions on 'chemical reaction', twenty six on 'substance' and twenty six for 'chemical and physical changes'.

A main goal of this research was to provide a useful classification on the alternative conceptions that could be use by teachers and students to improve their chemistry lessons. The classification consists in three groups that have categories in each one. These categories are based in themes in which the concept chemical reaction can be approached in teaching, making easier for the teacher its use, application and comprehension. In each group and category the principal characteristics and results obtained are enhanced.

For the group chemical reaction, the focus concept, the categories and its percentages are 26% on Red-Ox, 25% on ¿why and how a chemical reaction occurs?, 25% related to mass conservation, 13 % about graphic representations, 6% on stoichiometry, and 5% on chemical bond and energy.

This work integrates in one document in Spanish all the students' alternative conceptions on chemical reactions and organize them in themes that are presented with an explanation for each category. This investigation would be especially useful for teachers and researches in chemistry education, for this document can help in the knowledge and comprehension of the students' alternative conceptions.

# Planteamiento del problema



Salvador (Quino), 1993

## 2. Planteamiento del problema

Dentro de la formación integral de un estudiante en el nivel de bachillerato, se contempla a la ciencia como una rama fundamental del conocimiento. Los estudiantes de bachillerato frecuentemente se encuentran con problemas de comprensión en las diferentes áreas de la ciencia. En este proyecto nos referimos particularmente a la Química.

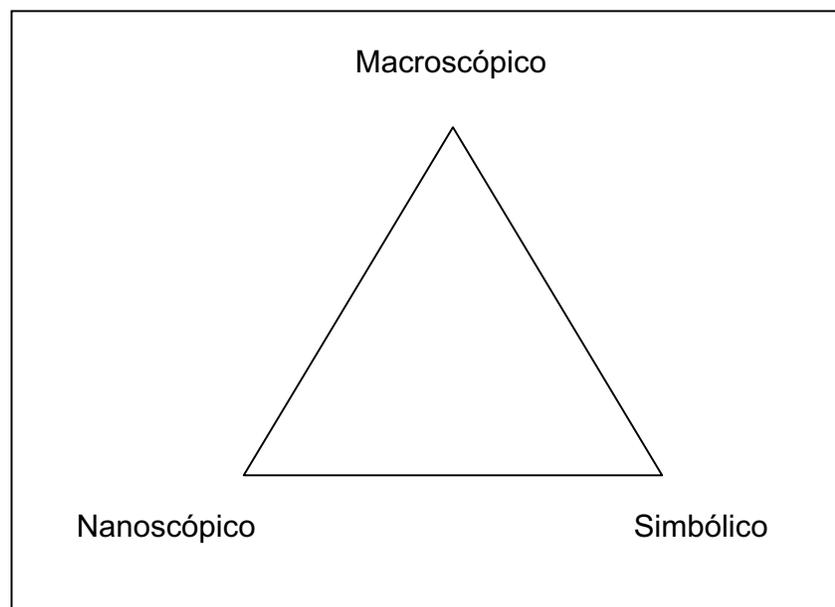
La Química es una asignatura básica teórico-práctica, que para su comprensión requiere que los estudiantes tengan capacidad de abstracción, constancia y un nivel alto de conocimientos básicos. Tradicionalmente, esta asignatura ha demostrado ser de difícil comprensión para los estudiantes de bachillerato y como resultado, al no tener los conocimientos básicos aprendidos, los estudiantes que continúan su formación en ciencias presentan problemas para la comprensión de nuevos conocimientos.

Uno de los objetivos que debe satisfacer la enseñanza es que los alumnos del bachillerato desarrollen su comprensión, actitudes y sensibilidad hacia los aspectos culturales, ya sea filosóficos, sociales, históricos, éticos o políticos, así como de las interacciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, con especial énfasis en el estudio de la Química, en nuestro caso, para que se formen como ciudadanos capaces de tomar decisiones informadas y razonadas en una sociedad democrática, con guía en la argumentación, la comunicación, el pensamiento crítico y la independencia intelectual.

Tomando en cuenta la importancia de esto surge la pregunta: ¿Cómo hacer que los alumnos de bachillerato aprendan química? Esta pregunta nos llevó a realizar una revisión de los posibles factores que influyen en el aprendizaje del alumno de la asignatura Química.

Dorothy Gabel (1999: 548) nos indica que muchos de los conceptos estudiados en química son abstractos e inexplicables sin el uso de analogías o modelos. Éstos incluyen conceptos tales como elemento y compuesto, y cambios físicos y químicos. Agrega Gabel que la materia puede ser estudiada desde el nivel macroscópico, pero puede también ser descrita desde el punto de vista nanoscópico y, al hacerlo así, las explicaciones parecen ser más definitivas. Para complicar aún más las cosas, un factor adicional es el empleo frecuente de símbolos, fórmulas y ecuaciones matemáticas y químicas para expresar relaciones entre los niveles macroscópico y nanoscópico, es decir, con el empleo de un lenguaje simbólico.

De acuerdo con Reyes-C y Garriz (2006) actualmente se utiliza el concepto nanoscópico en lugar de microscópico o submicroscópico, ya que las moléculas miden del orden de nanómetros, por lo que en esta investigación el término que se utiliza es nanoscópico.



**Ilustración 1. Los tres niveles de representación de la química de Johnstone**

Como ha indicado Johnstone (1982, 1990, 1991), la naturaleza de los conceptos científicos y la terna de formas de representarla (véase la Ilustración 1) hacen a esta ciencia difícil de aprender.

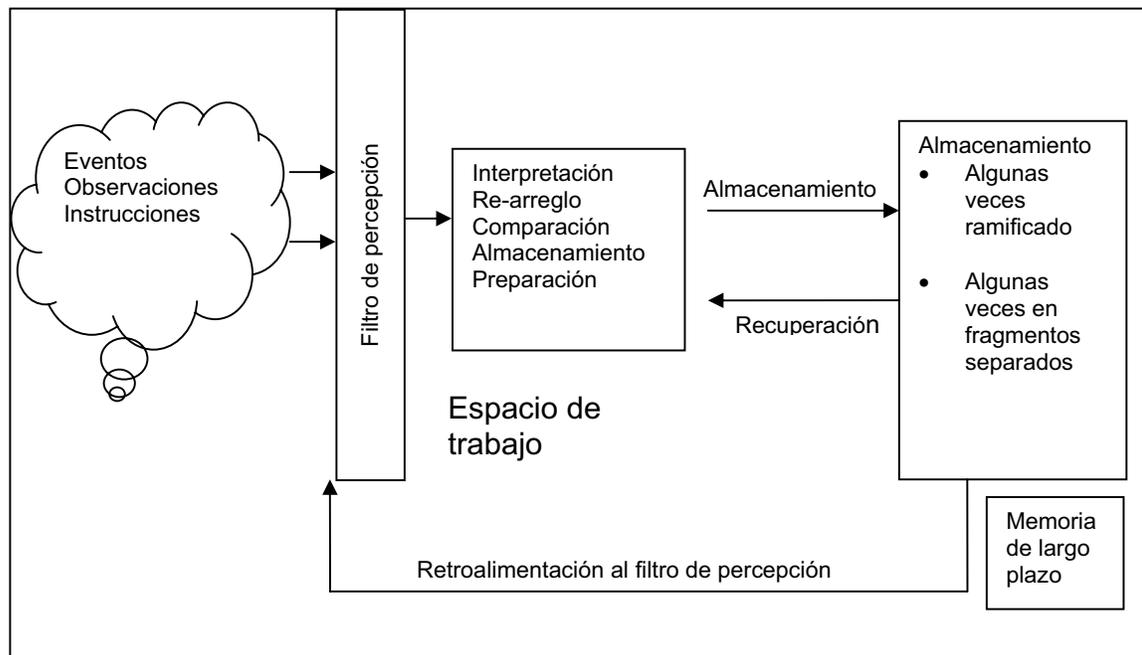
De acuerdo con Galagovsky *et al.* (2003), el nivel macroscópico corresponde a las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa; el nivel nanoscópico hace referencia a las representaciones abstractas, modelos que tiene en su mente un experto en química asociados a esquemas de partículas; y el nivel simbólico involucra formas de expresar conceptos químicos mediante formulas, ecuaciones químicas, expresiones matemáticas, gráficos, etc.

Azcona *et al.* (2004: 7) señalan que varias investigaciones de tipo constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias mencionan que lo que puede aprender un estudiante está determinado fundamentalmente por los conocimientos previos que posee y por la ayuda que le puede proporcionar la enseñanza. A este respecto, Goodwin (2003) menciona que las dificultades para el aprendizaje de la ciencia pueden englobarse en dos grupos, con referencia cada uno a los actores más importantes de este proceso:

a) El profesor. El entendimiento del profesor sobre la ciencia o tema se ha estudiado por varios autores. Un ejemplo es Martín del Pozo (1998, 2001), quien ha realizado estudios del conocimiento de los profesores sobre algunos conceptos químicos específicos. Este punto es muy importante ya que si el profesor no sabe o no entiende su tema, difícilmente podrá facilitar a sus estudiantes el aprendizaje del mismo. De tal forma que si lo que el profesor sabe es incorrecto o parco, el estudiante puede construir un conocimiento erróneo que puede jugar un rol esencial en el aprendizaje subsiguiente, y así convertirse en un obstáculo en la adquisición del conocimiento científico.

Pero ¿por qué, aún con un profesor con alto dominio de su tema, en una misma clase hay estudiantes que aprenden y otros que no? ¿En qué radica ésta diferencia? Pasemos ahora al factor de los estudiantes.

b) Los estudiantes. Se han realizado diversos estudios sobre el aprendizaje de los alumnos. De Vos y Verdonk (1985a y b, 1986, 1987a y b) investigaron cómo llevar a cabo la enseñanza de este tema, presentando una propuesta de metodología de los conceptos ‘moléculas’, ‘elementos’, ‘átomos’, ‘sustancia’ y reacción química (RQ) a partir del conocimiento y deducciones de los alumnos. También Driver (1985) presenta estudios realizados sobre métodos de enseñanza a partir de la construcción del aprendizaje en el aula.



**Ilustración 2. El modelo de procesamiento de información de Johnstone**

Johnstone (1997, 1999), así como Bowen (1994), estudian los patrones del pensamiento del alumno para el aprendizaje de la ciencia. Johnstone, por ejemplo, propone el modelo de procesamiento de información (ver Ilustración 2), en el que se incorpora un filtro para la percepción de observaciones. Una

vez que se accede al espacio de trabajo, se manipula la información antes de rechazarla o de pasar a almacenaje. El espacio de trabajo tiene dos funciones importantes: por una parte, la porción conciente de la mente que retoma las ideas y los hechos mientras pensamos en ellos, pero allí interactúa con información tomada del almacén de memoria de largo plazo para 'hacer sentido'; y por otra parte, existe un proceso de recuerdo. En este espacio de trabajo hay un equilibrio entre lo que ha de quedar en la memoria conciente y las actividades de procesamiento para manejarlo, transformarlo, manipularlo y tenerlo listo para almacenarlo en la memoria de largo plazo.

De las investigaciones mencionadas se destacan dos aspectos, el primero es que hacen énfasis en la capacidad y conocimientos del alumno como factores importantes en el aprendizaje de la química, y el segundo es que estas investigaciones se sirven en casi todos los casos de conceptos básicos para llevar a cabo sus estudios. Ahora la interrogante recae en la enunciación de cuáles son los conceptos básicos o fundamentales.

## **2.1 Los conceptos básicos**

Borsese y Esteban (1998) opinan que entre los docentes en el campo de la química existe la aceptación casi general de que los estudiantes deben adquirir, desde los primeros momentos, un conocimiento en una serie de conceptos, principios y términos que se consideran fundamentales. Estos conforman el único contenido que se debe presentar sin entrar en detalles durante la formación de secundaria y de bachillerato, de lo contrario, al proporcionar más información que la debida se ocasiona una sobrecarga de información para los estudiantes (Gillespie, 1997).

A continuación se mencionan los conceptos básicos que hacen mención diversos autores.

Griffiths y Preston (1992:612) señalan que *“los educadores de química generalmente están de acuerdo en que la comprensión de los conceptos átomo y molécula son fundamentales para el aprendizaje de la química. Esta comprensión es esencial para el aprendizaje de otros conceptos como enlace químico, RQ, iones y estados de la materia.”*

Spencer (1992) propone las siguientes cuatro componentes del currículum central (*Core curriculum*) del primer curso de ‘química general universitaria’:

1. Los átomos se conservan (El modelo atómico, modelo periódico);
2. Enlace (Modelos para compuestos iónicos; modelos para compuestos covalentes);
3. La energía se conserva (Teoría cinético-molecular, teoría cinética de los líquidos, la primera ley);
4. La entropía del universo aumenta (La segunda ley, tipos de reacciones).

Gillespie (1997) nos habla de las ‘grandes ideas de la química’, y explica que éstas deben estar en los cursos introductorios de secundaria y preparatoria y, de hecho, el curso debe ser construido alrededor de las mismas. La profundidad de cada tema depende del objetivo específico que se persiga, sin perder de vista que una cantidad mayor de información a la requerida puede perjudicar el aprendizaje del tema por parte del estudiante. De acuerdo con este autor, la quinta idea es la más importante de las seis porque la RQ es el corazón de la química.

1. Átomos, moléculas e iones;
2. El enlace químico: ¿Qué mantiene a los átomos juntos en moléculas y cristales?;
3. Forma molecular y geometría: química tridimensional;
4. Teoría cinética;
5. La RQ;
6. Energía y Entropía.

Este canadiense nos explica en las siguientes palabras el concepto de RQ con ayuda del enfoque nanoscópico (p. 863): *“las reacciones ocurren porque las*

*moléculas se están moviendo y cuando se golpean con violencia suficiente unas contra otras, los enlaces se rompen y los átomos se intercambian para formar nuevas moléculas. O una molécula que está vibrando con violencia suficiente puede romperse en moléculas más pequeñas.”*

Garritz (1998) nos da sus siete ideas centrales de la química, preocupado por el establecimiento de estándares nacionales para la educación química en el bachillerato:

1. El concepto de materia y su conservación;
2. RQ's: análisis y síntesis;
3. Modelo atómico–molecular;
4. Periodicidad;
5. Conceptos, dicotomías y modelos de estructura y reactividad;
6. Química del carbono;
7. Energía.

Con relación con el segundo tema nos dice (pp. 31-32): *“RQ's. Durante un fenómeno químico se producen nuevas sustancias total o parcialmente, pero al final se obtiene la misma cantidad de materia elemental que al inicio. Se abordarán las operaciones de síntesis y análisis químico, gracias a las cuales puede saberse ya sea de qué está compuesta una muestra de materia o cómo obtener nuevos productos para satisfacer las necesidades humanas. Se desembocará en los conceptos de elemento y compuesto.”*

Taber (2000b) en una disertación sobre ¿Qué es lo que debemos decirles a los estudiantes acerca de por qué ocurre una RQ?, parte de unos estatutos que piensa serán ampliamente aceptados:

1. Las reacciones químicas son la mayor preocupación de la química;
2. La química como ciencia necesita, no sólo de proveer información empírica de qué reacciones ocurren y cuáles no (bajo condiciones específicas), pero

- también debe ofrecer bases teóricas para explicar por qué algunas ocurren, mientras otras no;
3. La ciencia puede proveer un marco teórico general que cubra este requerimiento y que es ampliamente aceptado por la parte ortodoxa del conocimiento; y
  4. Este marco teórico general completo no es pertinente para la enseñanza a nivel secundaria.

Holman (2001) menciona cuatro aspectos de la 'química para ciudadanos' que todas las personas deben comprender a los 16 años:

1. Todo esto hecho de átomos y moléculas (éstos son muy pequeños y todos se mueven al mismo tiempo);
2. Los compuestos químicos tienen una composición fija e invariante (todo esto hecho de elementos y hay cerca de 100; todas las sustancias puras tienen una fórmula específica; y las muestras de una sustancia química en particular son idénticas, sin importar el proceso de obtención de éstas);
3. La idea del cambio químico (cuando ocurre un cambio químico los átomos se unen en diferente arreglo y se forman sustancias diferentes con propiedades diferentes);
4. La idea de que las propiedades de las sustancias dependen de su estructura molecular y que el arreglo espacial, en el que éstas se encuentran, determina cómo es la sustancia.

Por su parte Aureli Caamaño (2003) pone las ideas centrales de la química para la enseñanza secundaria con base en preguntas:

- ¿Cómo podemos clasificar la diversidad de sistemas y cambios químicos que se presentan en la naturaleza?
- ¿Cómo está constituida la materia en su interior?

- ¿Qué relación existe en las propiedades de los materiales y su estructura, es decir, entre sus propiedades macroscópicas y las propiedades de las partículas que los constituyen?
- ¿Cómo transcurren las RQ's?
- ¿Por qué ciertas sustancias muestran afinidad por otras?, ¿Por qué ciertas reacciones tienen lugar de forma completa y otras se detienen antes de llegar a completarse?, ¿Qué criterios rigen la espontaneidad de los cambios químicos?

Estas preguntas originan el siguiente listado de seis 'conceptos y teorías clave más importantes de la química':

1. La materia desde el punto de vista macroscópico;
2. La materia desde el punto de vista nanoscópico;
3. Relación entre los niveles macroscópico y nanoscópico de la materia;
4. Lenguaje químico;
5. RQ;
6. Sustancias y tipos de RQ.

Como vemos Caamaño coloca aspectos de la RQ en los dos últimos conceptos y apunta los siguientes como subtemas de los mismos:

5. RQ
  - i) Características del cambio químico;
  - ii) Cálculos de cantidades en las reacciones;
  - iii) Energía de reacción y energía de enlace;
  - iv) Entropía, entalpía libre y espontaneidad de las RQ's;
  - v) Equilibrio químico;
  - vi) Velocidad y mecanismo de reacción;
  - vii) Teorías sobre la velocidad;
  - viii) Catálisis.
6. Sustancias y tipos de RQ
  - i) Reacciones ácido-base;
  - ii) Reacciones de precipitación;
  - iii) Reacciones red-ox;

- iv) Pilas electroquímicas y electrólisis;
- v) Reacciones de formación de complejos;
- vi) Compuestos del carbono.

A partir de las propuestas mencionadas podemos señalar que los conceptos que se consideran básicos son: materia, energía y sustancia; elementos, compuestos y mezclas; modelo corpuscular de la materia; cambios químicos y cambios físicos; estabilidad química; enlace químico, RQ's y conservación. Donde el concepto de RQ tiene un primerísimo lugar en la enseñanza de la química desde el nivel de la secundaria hasta el universitario.

Recordemos que Gillespie (1997) considera a la RQ el corazón de la química; este concepto es utilizado para explicar fenómenos químicos y para organizar las transformaciones de la materia en una forma específica. Un fenómeno es químico cuando una o más sustancias son transformadas en otra(s) que son completamente diferentes de ellas. Así la comprensión del concepto RQ controla la comprensión de cuáles sustancias se convierten en otras o se conservan durante la transformación de la materia.

Kind (2004) explica que desarrollar estrategias didácticas para enseñanza de la Química de manera jerárquica es una práctica común y en general se parte de la naturaleza corpuscular de la materia, sigue con cambios físico y cambios químicos, diferencia entre mezcla, compuesto y elemento hasta llegar a la RQ y, posteriormente, temas que se desprenden de esta última. El éxito de esta estrategia es limitado por las siguientes razones: el enfoque tradicional no considera el tiempo necesario para desarrollar y consolidar cada etapa; la dependencia de los estudiantes de los modelos de materia continua los lleva a pensar sobre las RQs de la misma manera; los estudiantes confunden los cambios de estado y las disoluciones con cambios químicos; y finalmente porque el lenguaje químico les causa confusión.

Kind sugiere una estrategia que comienza presentando la RQ, y con esto se obliga a los estudiantes a pensar en lo que ven y elaborar sus explicaciones y pensar gradualmente sobre los conceptos que van necesitando. Esta estrategia esta basada en la propuesta de los educadores holandeses de Vos y Verdonk (1985 a y b, 1986, 1987 a y b) que consta de cinco etapas y exige que los profesores eviten el enfoque tradicional basado en entender la terminología detallada.

De Vos y Verdonk (1985 a) mencionan que los estudiantes tienen una gran dificultad en comprender el concepto RQ y que el fracaso en este nivel puede resultar en una experiencia frustrante para estudiantes y profesores. Estos autores agregan (1986) que para comprender la química, aún en un nivel elemental una persona debe comprender algunos conceptos fundamentales, aunque ciertamente no muy simples, como sustancia y RQ. Muy a menudo en los libros de texto de secundaria el primer concepto mencionado se da por comprendido y el segundo se introduce más o menos en el transcurso del mismo.

Por último, de acuerdo con Caamaño (1998), la comprensión de la reacción química es un aspecto esencial de estructura conceptual de la química. No es de extrañar que el estudio de las concepciones de los estudiantes sobre la RQ y las propuestas didácticas para su enseñanza haya ocupado y ocupe un lugar central en la investigación en la didáctica de la química. Por todo lo anterior centramos la importancia y objeto de este estudio al concepto RQ.

## **2.2 La reacción química**

Nos dicen Mortimer y Miranda (1995) que las mayores dificultades que enfrentan los alumnos de enseñanza fundamental o media al estudiar las RQ's están relacionadas con la gran extensión y generalización de este concepto. Al final de cuentas, *“qué es lo que puede haber en común entre fenómenos tan diferentes*

*como la combustión de una vela, la oxidación de un clavo o la disolución de un comprimido antiácido.”*

De acuerdo con de Vos y Verdonk (1985a) los estudiantes tienen una gran dificultad en asimilar y comprender el concepto de RQ. El fracaso en un nivel básico normalmente implica una experiencia frustrante tanto para el estudiante como para el profesor.

El concepto RQ es considerado medular en la enseñanza de la química ya que permite al alumno comprender los procesos de la materia, sus transformaciones y la energía involucrada en los mismos. Tradicionalmente los estudiantes han mostrado complejidad en el aprendizaje de la RQ. En muchos de los casos, este concepto básico no es plenamente comprendido, esto puede generar obstáculos en el aprendizaje subsecuente.

La dificultad que los estudiantes presentan para reconocer cuando ocurre una RQ ha sido muy estudiada por algunos autores (Ahtee y Varjola, 1998; Kind<sup>1</sup>, 2004; entre otros), generando diversos estudios de la enseñanza en particular desde el enfoque de la dificultad de aprendizaje de los conceptos. En esta problemática de Vos y Verdonk (1985a y b, 1986, 1987a y b) presentan la propuesta de un método de enseñanza en el que se construye el conocimiento a partir de lo que el alumno sabe y deduce. Estos estudios están basados en la teoría del cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Strike y Posner, 1985), y auxilian en gran medida al aprendizaje de los alumnos ya que están basados en los conocimientos de los mismos. ¿Pero cuáles son estos conocimientos que tienen los alumnos?

---

<sup>1</sup> La primera versión es Barker, V., *Beyond Appearances: Students' Misconceptions About Basic Chemical Ideas, A report Prepared for the Royal Society of Chemistry*, disponible en la URL siguiente: <http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>, 2000. Consultada por última vez el 10 de marzo de 2006.

### 2.3 Las concepciones alternativas de los estudiantes

A los conocimientos que el estudiante tiene con respecto a un tema determinado, y que no son las concepciones científicas, se denominan de diferentes maneras (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994): creencias ingenuas, ideas equivocadas, concepciones alternativas, preconcepciones, preconcepciones científicas, CA, concepciones erróneas, concepciones intuitivas, errores, modelos personales de la realidad, razonamientos espontáneos (Viennot, 1979), entre otros, con diversos significados. Cabe mencionar que dependiendo del término elegido se acotan, de acuerdo a la definición específica de cada uno, ciertos conocimientos del alumno como lo veremos en los párrafos subsecuentes, para los términos más utilizados: errores, concepciones alternativas, preconcepciones científicas, concepciones erróneas, concepciones intuitivas y CA.

El término originalmente empleado en la literatura en inglés '*misconception*' o 'concepción errónea' implica un vago o equivocado entendimiento de algo, que para el aprendiz representa su forma de ver el fenómeno y muestra una congruencia global importante. Un número importante de investigadores, que continúa aumentando, afirma que este término no sólo contradice la visión de conocimiento del constructivismo, pero además implica erróneamente que estas ideas tienen un valor negativo, lo cual no sirve para el aprendiz y deben erradicarse de inmediato. Sin embargo, no todos los investigadores acuerdan con que el término 'concepción errónea' sea erradicado. De acuerdo con Wandersee *et al.* (1994), algunos científicos están de acuerdo en que se continúe utilizando este término ya que es fácilmente comprensible por profesores y por el público en general, que ya está familiarizado con este argot.

Duit (1995) menciona que también son llamadas 'concepciones intuitivas' porque están basadas en experiencias sensoriales, mientras Gowin (1983) ha propuesto un término aun más simplificado: 'error'. Esto, sin embargo, presenta una connotación todavía más negativa que el término original.

Ofreciendo otra alternativa, Good (1991) prefiere el término 'preconcepción científica' porque es menos negativa que concepción errónea, es específico de la ciencia y hace énfasis en que las ideas del estudiante pueden eventualmente llevar al estudiante a la actual concepción científica con respecto a un tema. El término preconcepción científica expresa mejor el significado propuesto por los investigadores educativos, sin embargo, el prefijo 'pre' se relaciona fácilmente con aquello que es antes de la instrucción científica, y la investigación ha demostrado que muchos de los estudiantes aún después de la sesión de enseñanza continúan con sus CA.

En la página de Internet del CCADET, UNAM (Flores *et al.*, 2004) las denominan 'ideas previas' aunque no se oponen al término 'concepciones alternativas', que lo consideran equivalente, entendiéndolas como las concepciones de los estudiantes, y explican que este término indica que se refiere a una concepción que no ha sido transformada por la acción escolar y lo eligen porque es un término fácilmente identificable por los profesores. Indican que las ideas previas muestran la gran diversidad de representaciones que los alumnos tienen en torno a los procesos naturales y a los conceptos que los describen y explican.

Wandersee, Mintzes y Novak (1994) entre otros, utilizan el término 'concepción alternativa' que se refiere a explicaciones construidas por el alumno basadas en la experiencia para hacer inteligibles un rango de fenómenos y objetos naturales. Se trata de una concepción alterna a la científica, de aquí el nombre de alternativa. Además, ese nombre le confiere un respeto intelectual al estudiante que presenta y tiene estas ideas, lo que no sucede con las denominaciones de concepciones erróneas, concepciones equivocadas o ideas equivocadas.

En este proyecto nos referiremos al conocimiento del alumno con respecto a la RQ como concepción alternativa, siendo este término: el que mejor satisface nuestra concepción del mismo, el más utilizado por la comunidad de investigación educativa en el área científica actualmente, y de acuerdo con Wandersee *et al.* (1994), el que agrupa a las llamadas ideas erróneas, a las preconcepciones, y a

las concepciones que el alumno va creando durante el proceso mismo de enseñanza.

#### **2.4 Importancia de conocer y documentar las concepciones alternativas.**

Garritz (2001a) menciona que las concepciones alternativas (CA) han sido motivo de investigación desde finales de los años sesenta debido a que, por un lado son distintas a las explicaciones científicas y por el otro lado porque no son ideas simples que cambien al enseñar ciencia en la escuela. Su persistencia puede durar muchos años, hasta el nivel universitario inclusive, en el que se han encontrado alumnos que presentan creencias no correspondientes con lo que se les ha enseñado en sus cursos de ciencias, a pesar de ser estudiantes regulares que habían supuestamente desarrollado las habilidades necesarias para aprobar sus cursos.

Garritz (2000b) presenta algunas de las razones, de acuerdo con Garnett, Garnett y Hackling (1995), por las que aparecen en los estudiantes:

- El uso del lenguaje cotidiano dentro de un contexto científico;
- Sobre-simplificación de conceptos y utilización de aseveraciones generales;
- Uso de definiciones y modelos múltiples;
- Memorización simple de conceptos y algoritmos;
- Sobreposición de conceptos similares;
- Dotar a los objetos de características humanas o animales;
- Conocimiento inadecuado de prerrequisitos; e
- Incapacidad para visualizar la naturaleza particular de la materia.

La aceptación e identificación de las CA es importante en la enseñanza de la ciencia, por varias razones: la más importante es que torna al sujeto como el principal factor en el proceso de enseñanza-aprendizaje; también, al enunciar las diferentes concepciones de los diferentes individuos, se evidencia el problema de cambio conceptual que debe realizarse para que el aprendizaje se lleve a cabo; y

por último, porque investigaciones en torno al tema han dejado a la luz una gran cantidad de concepciones que tienen los alumnos, y con esta información se puede pensar en una estrategia didáctica más específica y efectiva.

De acuerdo con Driver (1986) el estudio de las CA desde 1980 (cuando se acuñó el término), ha ido en incremento y se presenta aún ahora como una potente línea de investigación. La mayoría de estos estudios dan a las concepciones alternativas las siguientes características:

- Parecen tener cierta coherencia interna;
- Son comunes a estudiantes de diferentes medios y edades;
- Presentan ciertas semejanzas con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento científico;
- Son persistentes, es decir, no se modifican fácilmente mediante la enseñanza habitual. Incluso reiterada.

Por su parte Wandersee *et al.* (1999) mencionan 7 aseveraciones del conocimiento emergente de los investigadores en CA de los estudiantes, que aparentan tener un potencial de cambio importante en cómo los educadores científicos ven a la enseñanza y al aprendizaje en las ciencias naturales:

1. Los estudiantes llegan a una instrucción de la ciencia con una serie de diversas CA concernientes a los objetos y eventos naturales;
2. Las CA que los estudiantes traen a una instrucción formal de la ciencia son independientes de la edad, la habilidad, el género y las fronteras culturales;
3. [Algunas de] Las CA son tenaces y resistentes a la extinción mediante estrategias convencionales de enseñanza;
4. [Algunas de] Las CA, a menudo las explicaciones del fenómeno natural, se presentan por generaciones previas de científicos y filósofos;
5. Las CA tienen sus orígenes en un diverso conjunto de experiencias personales, incluyendo la observación y percepción directa, la presión

- social y el lenguaje, así como en las explicaciones de los profesores y materiales de enseñanza;
6. Los profesores a menudo caen en las mismas CA que sus estudiantes;
  7. El conocimiento previo de los estudiantes interactúa con el conocimiento presentado en la instrucción formal, obteniendo un diverso conjunto de resultados de la enseñanza;

Las CA de los estudiantes del concepto de RQ han sido identificadas por diversos autores (Ben-Zvi, Eylon, y Silberstein, 1987; Garnett, Garnett, y Hackling, 1995; Ahtee y Varjola, 1998; entre otros) como elementos importantes en el aprendizaje de los estudiantes sobre este tema.

Al conocer estas CA que tienen los alumnos será más fácil elaborar una propuesta metodológica para la comprensión del concepto RQ y por lo tanto, al ser éste un concepto básico, para la comprensión de la química.

### **2.5 Meta de investigación**

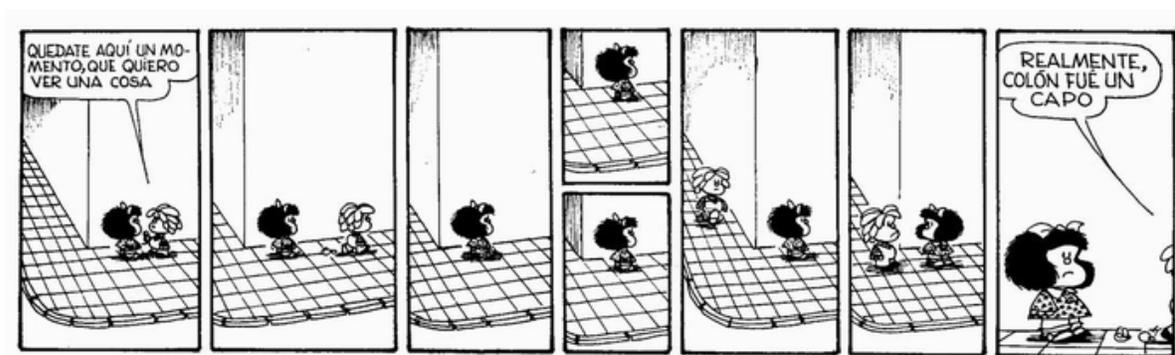
- Realizar un meta-análisis de las CA de estudiantes sobre el concepto de reacción química.

### **2.6 Objetivos**

- Documentar las CA de los estudiantes, sobre el concepto RQ, recabadas por diferentes investigadores. Su simple enunciación hace evidente el cambio conceptual que debe realizarse para que el aprendizaje se lleve a cabo y puede ser útil para plantear una estrategia didáctica específica y efectiva.
- Recabar las CA sobre el concepto de 'sustancia', así como también del 'cambio físico' y del 'cambio químico'.
- Reunir algunas opiniones de diversos autores acerca de la conveniencia de esa diferenciación de los cambios.

- Lograr una categorización que organice claramente estas ideas, para facilitar tanto su análisis como su empleo, tanto por profesores como por investigadores, y que permita enriquecer los resultados obtenidos.

# Marco teórico



Salvador (Quino), 1993

### 3. Marco teórico

Durante mucho tiempo la enseñanza de conceptos teóricos preocupó menos que otros aspectos como la resolución de problemas o la realización en prácticas de laboratorio, al profesorado y a los investigadores educativos de ciencias. Lo anterior se debía a que los problemas que presentaban los estudiantes aparecían en la resolución de los problemas y no en el cuestionamiento teórico. El problema era evidente ¿Podría hablarse de una comprensión de la parte teórica sin poder aplicar esta información a un problema planteado? Fue justo esta incongruencia la que permitió evidenciar la incompreensión real de los conceptos enseñados (Carrascosa, Gil y Valdés, 2004). Estos autores mencionan que las investigaciones de Viennot (1979) revelan que los estudiantes no sólo cometen errores menores como el olvido de alguna información, sino que en sus respuestas evocan aseveraciones y creencias con seguridad, y éstas persisten, afectando a los alumnos de diferentes niveles educativos y países.

Las concepciones alternativas (CA) en la investigación en enseñanza de la ciencia tienen como referentes pioneros a las investigaciones de Piaget (1974) y de Inhelder y Piaget (1955) en las cuales se realizó y valoró a las representaciones que tienen los alumnos. Posteriormente con el constructivismo se presenta una teoría del aprendizaje, que permite identificar y aceptar el conocimiento previo de la persona, así como también la capacidad de construcción de conceptos que realiza el individuo. Por otro lado, en el desarrollo científico, Tomas Kuhn (1971) presenta su teoría de las revoluciones científicas, en donde explica cómo se dan los cambios de paradigma en la ciencia.

El aprendizaje de las ciencias fija su atención en el cómo se puede realizar el cambio de concepciones. Así estas teorías del aprendizaje, junto con los planteamientos de Kuhn, dan origen al cambio conceptual (Strike y Posner, 1985).

De acuerdo con Carrascosa, Gil y Valdés (2004) la influencia en el replanteamiento de la enseñanza de las ciencias que propone considerar al aprendizaje como un cambio conceptual (Posner *et al.*, 1982) fundamentada en el paralelismo existente entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución histórica de los conocimientos científicos. Según esto, el aprendizaje significativo de las ciencias constituye una actividad racional semejante a la investigación científica y sus resultados –el cambio conceptual- pueden contemplarse como el equivalente de la terminología de Kuhn (1971) a un cambio de paradigma.

A continuación se presenta una breve descripción de las teorías y epistemologías que son importantes en el desarrollo histórico de la enseñanza de las ciencias, y en los casos pertinentes se resalta la relevancia de las CA.

### **3.1 Filosofía e historia de las ciencias: Thomas Kuhn**

La teoría que presenta Kuhn en su libro '*La estructura de las revoluciones científicas*' es que las diversas disciplinas científicas se comportan de acuerdo con un patrón general para su evolución. Este patrón consiste en un ciclo de cuatro etapas que comienzan con la 'preparadigmática', sigue con la 'ciencia normal', posteriormente la 'ciencia extraordinaria', para continuar con la 'revolución científica' y llegar de nuevo a la 'ciencia normal'.

En la etapa 'preparadigmática' coexisten diversas escuelas que compiten entre sí por el dominio del campo. Entre estas escuelas existe muy poco acuerdo con respecto a la caracterización de los objetos de estudio, los problemas que hay que resolver, las técnicas y procedimientos que han de utilizarse, entre otros. Este periodo termina cuando los investigadores llegan a la conclusión de que uno de los enfoques competidores es tan prometedor que abandonan los demás y lo adoptan como la base de su propia investigación, a éste se le llama 'paradigma'.

Este periodo en el cual se acepta un paradigma se llama 'ciencia normal'. Los científicos parten del paradigma y buscan resolver los problemas planteados y nuevos problemas emergentes. Mas al trabajar activamente con el paradigma, eventualmente se presentan problemas que la ciencia normal no puede resolver, a los cuales se les llama 'anomalías'. En este punto parte de la comunidad científica pone en duda la eficacia del paradigma vigente y entra en una etapa 'de crisis'.

Una vez que el paradigma ha dejado ver que no resuelve todos los problemas y que hay ciertas anomalías, los científicos comienzan a buscar respuestas y así comienza la llamada 'ciencia extraordinaria', en la que se proponen estructuras teóricas alternativas que implican una modificación o un rechazo de los supuestos aceptados hasta entonces.

El periodo de crisis termina de alguna de las tres siguientes maneras: el paradigma en tela de juicio se muestra finalmente capaz de resolver los problemas que provocaron la crisis; ni los enfoques más radicalmente novedosos logran dar cuenta de las anomalías, por lo cual éstas se archivan en espera de una etapa futura; o surge un paradigma alternativo que parece ofrecer una solución a las anomalías.

Con este nuevo paradigma alternativo inicia una etapa llamada 'revolución científica' en la que un grupo de científicos intenta probar que el paradigma anterior es el válido, y otro grupo, que el nuevo paradigma debe ser la base de la ciencia.

Después de una revolución se elige a uno de los paradigmas en pugna como el aceptado por la comunidad científica, y se comienza una nueva etapa de ciencia normal. El ciclo ciencia normal, ciencia extraordinaria, revolución científica y ciencia normal, ocurre en repetidas ocasiones en las diferentes disciplinas.

### 3.2 El Constructivismo.

La parte central del constructivismo es que quien aprende debe reconstruir a nivel personal los productos y procesos culturales con el fin de apropiarse de ellos, en donde el conocimiento construido depende del conocimiento previo de la persona. De acuerdo con Flores (2000) el constructivismo es un enfoque acerca de cómo se construye el conocimiento en todos los niveles. Tiene como origen tanto la epistemología de la ciencia como el desarrollo psicológico derivado de la teoría genética.

En todas las explicaciones de corte constructivista “... *subyace el principio según el cual el conocimiento no es una copia o reproducción de la realidad, sino una construcción, o reconstrucción personal, idiosincrásica, de esa realidad...*” (Solé, 1996: 7). Así, los objetos de la ciencia no son fenómenos de la naturaleza, mas sí son constructos creados por la comunidad científica para interpretar la naturaleza. El conocimiento no representa al mundo en absoluto, los hechos no son elementos del mundo independiente del observador, sino elementos de la experiencia de un observador, y es el individuo quien construye estos constructos. La validez del conocimiento queda sujeta a la interpretación de un individuo o grupo de individuos, y se plantea de suma importancia clarificar qué es válido, qué es la verdad. “*La verdad [se entiende] como coherencia, dice que las oraciones, y proposiciones [conocimiento] son verdaderas en relación con otra y forman un sistema de coherencia interna*” (Staver, 1998: 506).

Pero si la verdad es construida por coherencia de nuestras interpretaciones del mundo, el papel de la experiencia entonces es la interfase y está restringida a la percepción con bases sensoriales. Nuestra experiencia origina nuestro conocimiento, pero no necesariamente la justificación de éste.

De acuerdo con Ernest (1995), y resumiendo lo anterior, los dos principios del constructivismo son:

- 1) El conocimiento es construido activamente por cada miembro de la comunidad y por la comunidad misma;
- 2) La verdad es entendida como verdad por coherencia.

De acuerdo con Solé (1996: 7), cabe señalar que aunque con frecuencia se habla de 'constructivismo' en singular, lo cierto es que hoy en día son diversas las explicaciones de corte constructivista, resaltando el constructivismo radical (von Glasersfeld, 1995; Duit, 1995; entre otros) y el constructivismo social (Hodson, 1998; Ernest, 1995; entre otros), que incluso tienen puntos de vista discrepantes. Aunque los enfoques varían en algunos rubros -por ejemplo en base a qué se construye el conocimiento, el propósito cognitivo, la dependencia del significado-, ambos son complementarios ya que el primero hace énfasis en el constructivismo centrado en el individuo y el segundo en lo social.

### **3.2.1 Aplicaciones al aprendizaje.**

Con relación a las aplicaciones en la enseñanza, Hodson (1998: 34) menciona que una teoría del aprendizaje de corte constructivista, no necesariamente implica un acercamiento constructivista en la enseñanza.

El constructivismo es una corriente que plantea que el aprendizaje es el resultado de la interacción entre lo que se enseña al alumno y sus propias ideas o conceptos. Por lo tanto el aprendizaje en clase requiere actividades prácticas (que no se refiere exactamente a la experimentación, sino a actividades que permiten el apoyo a la información) muy bien diseñadas que reten las concepciones previas y que permitan que los estudiantes reorganicen sus teorías personales.

Hay tres elementos fundamentales en la aplicación del constructivismo a la enseñanza. El primero es que el conocimiento debe ser construido mediante la actividad mental de los aprendices. Este proceso de elucidación, clarificación y construcción del conocimiento de nuevas ideas se lleva a cabo internamente

dentro de cada individuo. En este punto la persona construye un conocimiento para comprender su entorno. Esta construcción puede resultar en una concepción alternativa que le permite hacer sentido de lo que está percibiendo pero que no es correcta, científicamente hablando.

El segundo es que el alumno es un individuo activo, dotado de intencionalidad, que procesa con sus herramientas intelectuales y que recibe e incorpora a sus esquemas de conocimiento de forma peculiar. Ése es, a grandes rasgos, el individuo constructor de conocimiento que concibe el paradigma constructivista (Solé, 1996: 7). El estudiante debe de explorar sus propias ideas y entendimientos para hacer elecciones entre ellas, para justificar y probar diferentes ideas y evaluarlas en situaciones conocidas y no conocidas. Donde sus propias ideas y entendimientos pueden representar una o varias concepciones alternativas y combinadas con algunas concepciones científicas.

Teniendo en cuenta la relevancia de las CA, y que a partir de éstas se pueden construir nuevas CA, el tercer punto es que el profesor debe de proponer situaciones que demuestran a los estudiantes que su visión en ciertas situaciones los lleva a contradicciones, mientras que esto no pasa con la visión científica. Hay que tener en cuenta que no siempre se tiene éxito: *“desafortunadamente, los acercamientos constructivistas actuales no han sido muy exitosos. Por ejemplo, los estudiantes a menudo no ven el conflicto cognitivo, aunque es evidente desde el punto de vista del profesor.”* (Duit, 1995: 278). Y esto puede deberse en parte a que se debe tener muy claro que los humanos sólo ven lo que sus concepciones previas les permiten ver.

Duit (p. 275) menciona que una de las características esenciales del constructivismo es que los estudiantes entienden la información presentada, ya sea por sus profesores o libros de texto, con base en sus concepciones existentes, y muy a menudo estas concepciones son considerablemente o totalmente diferentes de las concepciones científicas. Al reforzar esto se realiza la importancia

de aclarar lo que piensa el alumno y apoyarlo a trabajar con base en lo que ya piensa.

La cantidad de estudios en aprendizaje de las ciencias con enfoque constructivista ha crecido en los últimos años y algunas teorías basadas en el constructivismo han prosperado, como por ejemplo en la enseñanza de las ciencias la teoría del cambio conceptual.

### 3.3 El Cambio Conceptual

La teoría de cambio conceptual en el aprendizaje fue propuesta por Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982), basada en el planteamiento de Kuhn (1971), en donde proponen un paralelismo entre cómo cambian las CA de los estudiantes al sufrir el impacto de las nuevas ideas y cómo se transforma colectivamente una ciencia. Dicho aprendizaje no es la simple adquisición de un conjunto de ideas correctas, de un repertorio verbal o de un conjunto de conductas, pues aprender, al igual que investigar, debe ser considerado más como un proceso conceptual (Garritz, 2001).

Posner y sus colaboradores hacen una distinción básica en dos tipos de adquisición de la información: la asimilación y la acomodación. La asimilación ocurre cuando el estudiante utiliza conceptos propios ya existentes y congruentes para trabajar con nuevos fenómenos, mientras que en la acomodación los conceptos preexistentes en el estudiante son inadecuados para permitirle captar los fenómenos satisfactoriamente, por lo que debe reemplazar o reorganizar sus conceptos centrales (cambiar de paradigma).

Posner *et al.* (1982) reconocen cuatro condiciones comunes a la mayoría de los casos de acomodación:

- 1) Debe existir insatisfacción con las concepciones existentes.

La persona habrá recogido todo un conjunto de problemas sin solución (o anomalías, haciendo un símil con la estructura de las revoluciones científicas de Kuhn) y perdido su esperanza en la capacidad de sus conceptos vigentes para resolver estos problemas.

Strike y Posner (1985) analizan cuáles son las condiciones que producen insatisfacción en los estudiantes al conocer una anomalía en forma de un hallazgo experimental:

- entienden por qué el hallazgo experimental representa una anomalía;
- creen que es necesario reconciliar el hallazgo con sus concepciones existentes;
- están convencidos de la reducción de inconsistencias con la adopción de los nuevos conceptos respecto a mantener las creencias que tienen;
- los intentos de asimilar el hallazgo a sus concepciones existentes parecen no funcionar.

2) Una nueva concepción debe ser mínimamente inteligible.

La persona debe entender cómo es que este nuevo concepto puede responder al problema o anomalía. La inteligibilidad implica la comprensibilidad, la posibilidad de ser entendida.

3) Una nueva concepción debe ser plausible.

Para que los estudiantes consideren una nueva concepción debe parecerles plausible, es decir, justificada, admisible.

4) Un nuevo concepto debe sugerir la posibilidad de un programa de investigación fructífero.

Una nueva concepción debe hacer más que la concepción previa si ha de considerársela fructífera, aunque debe hacerlo sin sacrificar cualquiera de los beneficios de la concepción previa o, en todo caso, debe dar los suficientes incentivos por el sacrificio requerido.

El cambio conceptual es un proceso complejo, que ha sido abordado desde diferentes posturas e interpretaciones, con base en los trabajos de Strike y Posner, por diversos autores: Chi, Slota y Leeuw (1994), Vosniadou (1994), Chi y Roscoe (2002), entre otros.

Flores (2004) presenta una clasificación que permite una comprensión y análisis de las diferentes propuestas desde el punto de vista de la aproximación que puede ser epistemológica (E), cuyos orígenes se encuentran en la filosofía de la ciencia; y cognitiva (C), basada en la psicología cognitiva o de las ciencias cognitivas; y desde el cómo se considera el cambio conceptual, ya sea como reemplazo de unidades conceptuales totalmente definidas e invariantes o como un sistema conceptual complejo (ver Tabla 1).

Desde las aproximaciones derivadas de un enfoque epistemológico (E), las representaciones de los sujetos tienen su origen en sus propias construcciones a través de la elaboración de un lenguaje propio. El cambio conceptual se ve desde un punto de vista más complejo y de largo plazo. Encontramos dos subgrupos que son: los que parten de una aproximación epistemológica centrada en el reemplazo de una concepción por otra (E-R) y los que manejan el cambio como un sistema complejo (E-SC).

Desde las aproximaciones derivadas de la perspectiva cognitiva (C), las representaciones y el significado de los conceptos son determinados de manera externa al sujeto y son presentadas a los estudiantes como entidades que tienen que acomodar dentro de su sistema o esquema cognitivo. El énfasis del cambio conceptual se encuentra en la reubicación de conceptos, en su combinación o en ambos. Los dos subgrupos son: los que parten de una aproximación cognitiva centradas en el reemplazo (C-R), y los que parten de una aproximación cognitiva con un cambio de sistema complejo (C-SC).

	<b>Concepción de concepto</b>	<b>Origen de la conceptualización</b>	<b>Interpretación del cambio conceptual</b>	<b>Autores</b>
<b>Teorías C - R</b>	Entidad unitaria definida externamente.	Dada al sujeto (por el entorno o por otros sujetos).	Reemplazo de conceptos, proceso simple y abrupto.	Chi y colaboradores: Chi, Slota y Leeuw, 1994; Chi y Roscoe, 2002
<b>Teorías E - R</b>	Entidad unitaria cuyo significado depende de la teoría o sistema de interpretación al que pertenece.	Elaborado por los sujetos en función de estructuras y procesos cognitivos.	Reemplazo de conceptos, proceso complejo y progresivo.	diSessa (1993)
<b>Teorías C - CS</b>	Entidad compleja constituida cuyo significado depende de un esquema cognitivo básico.	Determinado por las condiciones cognitivas innatas del sujeto, en su aspecto más básico o de manera externa.	Síntesis e integración de conceptos, proceso complejo y progresivo.	Vosniadou (1994)
<b>Teorías E - CS</b>	Entidad dinámica que evoluciona en función del contexto y de nuevas relaciones	Elaborado por los sujetos en función de estructuras y procesos cognitivos.	Proceso de construcción de nuevos conceptos y/o evolutivo de conceptos, proceso complejo y de largo plazo.	Strike y Posner (1985)

**Tabla 1. Teorías del cambio conceptual**

La aproximación cambia radicalmente dependiendo de en qué grupo se ubique la teoría, pero aún con la diversa gama de propuestas del cambio conceptual, éste ha sido asimilado fuertemente por la comunidad científica, desde mi punto de vista porque comparte una visión similar a la construcción del conocimiento científico de Kuhn.

### 3.3.1 Aplicaciones en el aprendizaje.

Una de las autoras que han abordado la tarea de trasladar la teoría del cambio conceptual para aplicarla en el aprendizaje es Driver (1986). Ésta expresa que para el logro del cambio conceptual se propone la siguiente secuencia de actividades: La primera que hay que hacer es identificar y clarificar las ideas que ya poseen los alumnos. El conocimiento que los estudiantes tienen es la base para su construcción de nuevos conocimientos, al enseñar un concepto es necesario conocer y reconocer lo que están pensando y las explicaciones que le dan a ciertos fenómenos involucrados con el contenido que se busca enseñar. De no ser así es posible que las CA que tiene el estudiante le impidan construir el concepto científico que se quiere enseñar.

Una vez reconocidas las CA se requiere de formular prácticas que permitan al estudiante poner en cuestión sus ideas a través del uso de contraejemplos. El alumno debe poder reconocer que sus explicaciones no son suficientes para comprender el fenómeno o problema planteado. Y deben ser lo suficientemente claras para que el estudiante no atribuya la ineficacia de su CA a situaciones que considere ajenas al fenómeno. Es decir, debe ser claro que su explicación es insuficiente para comprender el problema planteado.

En el momento en que el estudiante ha visto la inconsistencia de su CA, la introducción de nuevos conceptos es de gran utilidad, ya que se les presentan opciones para resolver la cuestión. Se puede llevar a cabo mediante 'tormenta de ideas' de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de los materiales de instrucción. En cualquiera de las opciones es importante verificar que comprenden su significado.

Finalmente hay que proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas, en donde puedan explorar su alcance y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

Es necesario recordar que la identificación de CA es tan sólo una parte de una estrategia didáctica tanto como para el constructivismo, como para el cambio conceptual. El individuo y lo que sabe es un elemento fundamental para un posible aprendizaje de la concepción científica.

En la medida en que el profesor reconozca, comprenda y acepte las CA en cada uno de sus estudiantes habrá una posibilidad mayor de un entendimiento del posible proceso que debe realizar cada individuo para comprender y aceptar la visión científica. Y en este sentido una mayor conciencia del profesor de la diversidad de estrategias que puede realizar para lograr su cometido.

En este documento se presentan las CA, apoyando así a que éstas se conozcan y comprendan, y en la medida de lo posible se incorporen a los procesos de enseñanza propios de cada profesor dentro de sus clases.

A continuación se presenta con detalle la metodología utilizada para elaborar este meta-análisis.

# Metodología



Salvador (Quino), 1993

## 4. Metodología

Abordar las concepciones alternativas (CA) de los estudiantes con respecto al concepto reacción química (RQ) se puede llevar a cabo desde diversas perspectivas. Este proyecto de investigación es de corte metodológico explicativo, que como una primera aproximación se realizará en meta-análisis. Es decir se llevará a cabo un análisis de las investigaciones documentadas de las CA de los estudiantes del concepto 'RQ'.

### 4.1 El meta-análisis

Para hacer una revisión de cualquier tipo se empieza por leer los estudios recogidos sobre el tema y por tratar de comprender lo que significan sus resultados. Se comprueba cuáles han sido las variables empleadas y la forma de manipularlas, el origen de las muestras de participantes, el contexto de la investigación, las técnicas estadísticas, entre otros.

El precursor del meta-análisis es la revisión, también llamada revisión narrativa. En ellas, el revisor recogía los trabajos que le parecían más relevantes, los interpretaba y extraía las conclusiones que le parecían más pertinentes. Por lo que tenían los siguientes inconvenientes: incluían selectivamente a los estudios, había ausencia sobre las variaciones, presentaban una inadecuada información sobre muestras, medidas y estadísticas utilizadas en los estudios, y una tenían una asignación subjetiva.

Una alternativa moderna a las revisiones narrativas, es el meta-análisis que es una revisión sistemática de la evidencia científica que utiliza una metodología analítica, de síntesis estructurada y explícita, y por tanto reproducible. En ésta se hacen intentos explícitos por reducir o eliminar todas estas amenazas a la validez de las revisiones (Botella y Gambara, 2002; Glass, 1982).

El término meta-análisis fue acuñado por Glass en la comunicación presidencial de la reunión anual de 1976 de la *American Educational Research Association*. Glass plantea la diferencia entre análisis primario, análisis secundario y meta-análisis. El análisis primario es el análisis original de los datos directos de un estudio. En el análisis secundario, se analizan nuevamente los datos procedentes de una investigación. Mientras el meta-análisis es un análisis de los análisis.

Los meta-análisis son trabajos de síntesis de evidencia científica que hacen explícitas todas las decisiones que se toman en el proceso de revisión, sistematizan el proceso de revisión con el objeto de obtener resultados más exhaustivos y menos susceptibles a sesgos y además presentan los resultados de forma cuantitativa, cualitativa o ambas, lo que contribuye a una mayor objetividad en su interpretación.

Uno de los mayores beneficios del meta-análisis es que su metodología permite revisar críticamente y combinar estadísticamente por métodos formales los resultados de distintos estudios originales con objetivos y características similares o comparables, de modo que puedan dar respuesta definitiva aún cuando ninguno de los estudios individuales ha podido aportar unos resultados concluyentes a una pregunta de investigación concreta.

Los elementos más importantes de esta metodología son: el uso de métodos objetivos o explícitos para localizar los estudios; la aplicación de técnicas estadísticas a estadísticos-resumen (aplica sólo para el caso de las investigaciones de tipo cualitativo) y no a los datos brutos; el hecho de abarcar un número grande de estudios; el no centrarse sólo en el nivel de significación, sino estudiar el tamaño del efecto, expresando los efectos en una escala común; el centrarse en las relaciones entre las características de los estudios y sus resultados; es cuantitativa, no prejuzga el efecto de la calidad del estudio sobre sus resultados; y busca conclusiones generales.

El meta-análisis tiene como objetivo conseguir resúmenes e integraciones más rigurosas y precisas de conjuntos de investigaciones. Sus objetivos son especialmente tres:

- Precisión, el meta-análisis concluye con afirmaciones más claras y precisas, tanto sobre la significación como sobre el tamaño del efecto, sobre la variabilidad en los resultados y sobre el grado en que esa variabilidad puede ser explicada por el momento;
- Objetividad, el meta-análisis tiene como una de sus normas hacer explícitas todas las reglas y criterios empleados a lo largo de su desarrollo; y por último
- Replicabilidad, ya que un meta-análisis debe poder ser replicado por un segundo investigador que lo realice.

La validez de un meta-análisis depende, en buena medida, de la exhaustividad con que se identifican y localizan los trabajos originales. Se deben especificar los procedimientos que se han utilizado para la localización de estudios y hacer explícitos los criterios de inclusión en el meta-análisis. Lo ideal es trabajar con todos los estudios realizados, aunque se pueden tomar muestras, siempre y cuando se enuncie la característica de la muestra que se va a analizar.

Se debe realizar una selección del material bibliográfico recabado ya que no todos los trabajos deben incluirse forzosamente. Aquí, se presentará un sesgo de selección, y es importante explicitar el criterio de selección para dar mayor validez al meta-análisis. También se puede recurrir a diferentes métodos que nos ayudarán a disminuir el sesgo de selección como son: que las revisiones las realicen varios evaluadores, sin saber ni el autor ni la publicación de la cual proviene; realizar un test de homogeneidad; llevar a cabo un análisis de sensibilidad; entre otros.

Una vez que se ha establecido con qué trabajos se va a llevar a cabo el meta-análisis es necesario extraer la información contenida en los mismos. Con esta

información de resultados se recomienda realizar una hoja de recolección de datos, en donde se definen las variables relevantes.

## **4.2 Un ejercicio de meta-análisis: “Concepciones alternativas de estudiantes sobre el concepto de reacción química”**

En este apartado se describe de forma puntual el proceso que se llevó a cabo para la elaboración del meta-análisis. Primeramente se realizó una búsqueda de información para comprender el estado actual de la enseñanza de las ciencias y la importancia de los posibles factores que influyen en el aprendizaje de la química. Con esta información se definió que el proyecto de investigación se orientaría a la RQ y particularmente a sus CA. Posteriormente se seleccionó como metodología al meta-análisis.

En esta investigación se llevaron a cabo múltiples acciones que se pueden inscribir en cinco etapas. En la primera etapa describe cómo se realizó la identificación del tipo de datos necesarios para tratar la investigación; en la segunda se explicita los procesos realizados y las diversas fuentes para la recolección de artículos; en la tercera etapa se explica cómo se llevó a cabo la sistematización de información; en la cuarta etapa se especifica cuál es la selección de datos para la inclusión en esta investigación; y por último en la quinta etapa, se presenta la propuesta de categorías de análisis y en que consiste cada una de ellas.

A continuación se presenta una descripción de cada una de ellas y las decisiones y alcances de cada una de ellas.

### **4.2.1 Etapa 1: Identificación del tipo de datos necesarios para tratar la investigación**

El meta-análisis requiere de las investigaciones documentadas que, en torno al tema de estudio, se han escrito (Botella y Gambará, 2002). Para esto se recabaron todos los documentos que presentan CA que los estudiantes tienen con respecto al concepto 'RQ' y otros conceptos relacionados (sustancia, cambio físico y cambio químico). Específicamente los documentos consultados son: reportes escritos sobre investigaciones, artículos de revistas, libros de texto, libros en general y documentos institucionales del autor.

La obtención de estos datos se realizó en varias formas consultando: bibliotecas y hemerotecas, bases de datos especializadas, buscadores de Internet, páginas de red de las diferentes revistas que desarrollan temas de química y de educación, compendios de congresos de química y de educación, páginas de Internet de las diferentes instituciones que se dedican a la química y a la pedagogía y más específicamente a la enseñanza de las ciencias.

Hasta el momento no se ha encontrado ningún registro de la realización de un meta-análisis en el tema de este proyecto. Cabe mencionar que algunos autores como: Garnett, Garnett y Hackling (1995), Taber (2002a) y Kind (2004) han realizado estupendas recopilaciones de varios conceptos básicos de la química incluyendo el de RQ, pero no incluyen a todas las investigaciones existentes. Para las CA obtenidas en estos tres documentos se obtuvieron casi todas las fuentes primarias para su cita. Se realizó una revisión de nuevas publicaciones constante y frecuentemente, así se aseguró que se cuenta con lo más reciente, así como con lo que ya se ha extraído de años anteriores.

#### **4.2.2 Etapa 2: Recolección de artículos**

Se realizó una búsqueda de investigaciones documentadas en fuentes primarias y secundarias que en torno a las CA de los estudiantes sobre el concepto RQ y se registraron con precisión los conceptos, definiciones y conclusiones pertinentes de estas investigaciones. Esta búsqueda de CA de los estudiantes se obtuvo de los

artículos escritos los últimos veinticinco años y se realizó en tres diferentes acercamientos:

1. Los primeros rastreos fueron referidos por los artículos o libros de Andersson (1990), Nakhleh (1992), Garnett, Garnett y Hackling (1995), Taber (2002a) y Kind (2004) los cuales nos llevaron a otros investigadores que han abordado el tema;
2. Se realizó una búsqueda bibliográfica y hemerográfica;
3. Un tercer procedimiento de búsqueda consistió en una búsqueda exhaustiva con ayuda de recursos electrónicos (catálogos, bases de datos, revistas de texto completo, libros electrónicos, etc.).

Botella y Gambará (2002), Glass (1982), Hedges (1985) y Rosenthal (1991) coinciden en que es importante obtener todos los documentos que se refieran a nuestro tema de investigación y que después se puede proceder a una selección dependiendo de una característica específica que varía dependiendo del autor que lo maneja. En este trabajo se revisaron todos los documentos publicados encontrados relacionados a las CA de RQ.

De acuerdo con Lankshear y Knobel (2004) para contar con una investigación de calidad se debe de contar con información de calidad. En este caso es suficiente usar el criterio de publicación en revistas con crítica editorial para establecer 'calidad', ya que si las fuentes se encuentran publicadas en revistas con dictamen arbitral puede ser dicho que tienen calidad.

### **4.2.3 Etapa 3: Sistematización de información**

Una vez leídos al menos dos veces cada artículo, se procedió a la extracción de datos y análisis general de los documentos. Primeramente se organizaron los artículos de acuerdo a una primera categoría del contenido por conceptos, siendo las opciones: reacción química, elemento, compuesto y mezcla, sustancia y cambio físico y cambio químico. Así un artículo podría tener uno o varios temas de

estos. Además se extrajo en una ficha el título del artículo, los autores, la publicación, el año y los conceptos que trata el documento. Por ejemplo:

Tema: Cambio físico y cambio químico  
Título del artículo: Terminology reexamined. Physical versus chemical changes  
Autores: Gensler, W. J  
Publicación: *Journal of Chemical Education*  
Año: 1970

Ya organizados los artículos se procedió a hacer una ficha extrayendo el grado de los estudiantes que presentan las CA y la cita textual de las mismas. Las CA se localizaron como citas de fragmentos de extractos de entrevistas, de citas textuales de las CA y también de enunciados elaborados por el autor que reflejan la CA de los estudiantes. Y posteriormente se prosiguió a una primera aproximación en las categorías de las CA relacionándolas con temas. Es decir, ya la propia transformación de la información de los documentos en datos del meta-análisis. Se utilizó el formato que se utiliza en la página de concepción alternativas del CCADET (<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048>). A manera de ejemplo se presenta la siguiente CA:

Concepción alternativa: La cera funciona como el soporte del pabilo que, al derretirse lentamente, tiene como función el control de la velocidad de quemado del pabilo.

Nivel educativo: Secundaria

Referencia: Johnson, P. (2002), Children's understanding of substances, Part: explaining chemical change, *International Journal of Science Education* **24**(10), 1037-1054.

Tema: Reacción química

Subtema: Reacciones Óxido-reducción

Finalmente se incluyó en la ficha un pequeño extracto del artículo y de la investigación realizada para presentar el contexto de las CA reportadas.

#### **4.2.4 Etapa 4: Selección de datos**

Se revisaron todas las fichas y la información contenida en ellas. Se encontraron algunas CA reportadas en dos o más artículos y siendo el objetivo el documentar y analizar las CA, se considero que únicamente se debe citar en esta tesis la primera mención de la CA y a su fuente, de acuerdo al orden cronológico de publicación.

Todos los documentos que se localizaron y contenían información de la CA se seleccionaron como material de trabajo para este meta-análisis, y de éstas se localizaron cerca de 250 de ellas.

#### **4.2.5 Etapa 5: Propuesta de categorías de análisis**

Se realizó una revisión de las diferentes propuestas de categorizaciones, tanto para presentación, como para análisis de CA, de los siguientes autores consultados: Andersson (1990), Nakhleh (1992), Garnett, Garnett y Hackling (1995), Taber (2002 a), Kina (2004) y Balocchi *et al.* (2005). Se analizó cuidadosamente la información que arroja cada una de estas categorizaciones tomando en cuenta que la mayoría de ellas abarca más temas aparte de la RQ.

Se elaboraron tres propuestas de categorización en orden consecutivo buscando reunir toda lo información necesaria, hasta culminar con la siguiente categorización que se realiza en base en las propuestas por Kind (2004), Garnett, Garnett y Hackling (1995), Nakhleh (1992) y Balocchi *et al.* (2005), quienes lo hacen en base a conceptos químicos, temas y subtemas de éstos.

La investigación permite distinguir tres grupos importantes de CA: los que se localizaron y se obtienen de artículos que tratan directamente el concepto RQ y los que se enfocan a sustancia y a cambios físicos y químicos, que son conceptos químicos relacionados intrínsecamente con la RQ.

El primer grupo corresponde a todas las concepciones alternativas localizadas en documentos que incluían como uno de sus temas principales a la RQ y que enuncian CA relacionadas a la RQ o a un aspecto de esta. Este grupo se revisó detalladamente y finalmente se decidió que una categorización útil y de fácil manejo se debía realizar en temas posibles para abordar la RQ.

La primer categoría, necesaria para dar contexto, es ‘¿Por qué y cómo ocurre una RQ?’, aquí podemos encontrar las diversas explicaciones de los estudiantes a preguntas básicas como son ¿qué es?, ¿por qué ocurre? y ¿cómo ocurre? una reacción química. Este bloque es fundamental para la comprensión de las CA de los estudiantes en la RQ, al consultarlo se pueden apreciar las diferentes interpretaciones y por lo tanto incorporar esta información al planear una clase, una estrategia didáctica o una investigación en el tema.

La segunda categoría agrupa a las investigaciones que se enfocan principalmente a la conservación de la masa en las RQ. La conservación de la masa ha sido un tema muy estudiado en las CA de los estudiantes, ejemplos clásicos de conservación se pueden encontrar en los textos de Piaget (1974) y de Inhelder y Piaget (1955). Aunque ya con estos antecedentes se ve que los estudiantes tienen problemas para la comprensión de la conservación, el problema de la conservación de la masa en un sistema reaccionante presenta una complejidad mayor, ya que no sólo han de comprender cómo se conserva una sustancia, sino que se transforma en otra y para agregar un grado de dificultad, hay gases y sustancias que los alumnos no contemplan como reactivos o productos. Las CA recabadas en este grupo muestran parte de la problemática.

La tercera categoría agrupa dos temas importantes en la RQ. El primero es enlaces y éste explicita la visión de los alumnos con respecto a la comprensión microscópica del estudiante, ya que los enlaces son los que unen a los átomos y estos, al reaccionar, se forman o se rompen. El segundo es energía, toda reacción requiere cierta energía de activación para iniciar, hay reacciones que requieren de energía del sistema y otros que la liberan durante RQ. Los estudiantes presentan CA muy localizadas y poco investigadas en ambos temas.

La cuarta categoría corresponde a la estequiometría de las RQ, en este apartado se pueden revisar las CA que generan los estudiantes cuando escriben una reacción química e intentan comprender qué significado tiene cada uno de los símbolos presentados. Se adiciona una dimensión matemática al 'balancear' la ecuación de tal forma que el mismo número de átomos de un elemento debe estar tanto en los reactivos como en los productos y este número se obtiene de comprender los numeradores y los subíndices para cada caso.

La quinta categoría corresponde a estudios de la RQ que hacen énfasis en las representaciones gráficas de éstas hechas por estudiantes. Esta forma de abordar una RQ permite analizar de forma visual qué es lo que el estudiante está comprendiendo con respecto al tema.

Y por último la sexta categoría, corresponde a CA que se abocan específicamente a las reacciones de óxido-reducción. Este tipo de reacción, particularmente el caso de la combustión, es muy recurrido en las demostraciones, propuestas educativas e investigaciones de RQ dentro de la enseñanza. Es por esto que se considera importante permitir el acceso a esta información de forma integral.

Las categorías parten de lo general a lo particular, así la primera expone las CA de los estudiantes al explicar una RQ, la segunda, tercera, cuarta y quinta revisan algún aspecto específico de la RQ. La sexta categoría habla de un tipo de reacción muy revisado para la enseñanza e investigación en las RQ. Se trata de

un apartado que incluye una información de utilidad para los profesores en cuanto a sistemas red-ox y se genera a partir de una gran cantidad de estudios que se abocan específicamente a este tema.

El segundo grupo es el del concepto de 'sustancia' que se encuentra directamente relacionado con el de la RQ ya que en ésta, una cierta sustancia se transforma en una o más sustancias diferentes. De hecho Schummer (2004) se cuestiona si la química estudia sustancias químicas o RQ.

El tercer grupo incluye a otro concepto que se utiliza frecuentemente en la definición de la RQ es el cambio químico y por lo tanto su complemento el cambio físico. En este apartado se incluyen, además de las concepciones alternativas, algunas argumentaciones de diversos autores con respecto a la utilidad de la diferenciación de estos cambios para el aprendizaje de las RQ.

# Resultados



Salvador (Quino), 1993

## 5. Resultados

De acuerdo con Furió y Furió (2000) la línea de investigación sobre las concepciones alternativas (CA) de los estudiantes en temas de ciencia ha sido, desde hace más de 20 años, el eje medular del cuerpo teórico de conocimientos que hoy llamamos didáctica de las ciencias. El exceso de información en esta temática será también un problema que consiste en como organizar y presentar aquellas CA y dificultades derivadas sin que se convierta en una lista de preconcepciones sin hilación donde el lector puede perderse fácilmente. Tomando en cuenta lo anterior, los resultados se presentan agrupados por temas y, dentro de cada tema, en orden cronológico. Los grupos generales son reacción química (RQ), sustancia y cambio físico y cambio químico.

Primeramente las CA están presentadas en tres grandes grupos que son RQ, sustancia y cambios físicos y químicos, para facilitar su manejo y ubicación se les colocó un identificador alfanumérico que consiste de dos partes. La primera son siglas que aluden a que grupo pertenece siendo 'RQ' para las de reacciones químicas, 'S' para las correspondientes a sustancias y 'CF y CQ' para cambios químicos y físicos. La segunda parte consiste en un número asignado en orden creciente conforme a su aparición en esta tesis dentro de cada tema.

Por ejemplo en el párrafo siguiente se debe leer que la CA que se muestra, corresponde al grupo de RQ y que es la número 26 en orden de aparición:

RQ 26        Para mí una reacción química es... el resultado de la unión de dos diferente productos químicos... así dos productos químicos mezclados dan un producto diferente... Hay una adición de los dos productos y el resultado de esta adición es un producto diferente

Para el caso particular de la diferencia entre cambio químico y cambio físico, importante cuestión en una gran cantidad de definiciones de la RQ, además de presentar las CA de estos temas se encontró información interesante respecto a las diferentes posturas de autores reconocidos en el área en pro o en contra de la

diferenciación del cambio. Es por esto que además de abordar las CA, se presenta un bloque donde se presentan estas posturas con el fin de mostrar la complejidad del tema.

### 5.1 La reacción química

En este apartado se encuentran todas las CA que se obtuvieron en estudios que tienen como foco de estudio a la RQ. Este tema se puede abordar desde muchos ángulos y así separamos en seis categorías la información:

- a. ¿Por qué y cómo ocurre?
- b. Conservación de la masa
- c. Enlaces y energía
- d. Estequiometría
- e. Representaciones gráficas
- f. Óxido-reducción: generalidades

Para la presentación de CA, se considero importante presentar los rasgos generales y conclusiones principales de cada investigación, que se encuentran en texto y las CA identificadas se muestran incluidas en recuadros.

Nakhleh (1992) hace una síntesis de CA desde primaria hasta bachillerato en un artículo titulado ¿Por qué algunos estudiantes no aprenden química? Menciona que la mayoría de las recopilaciones de concepciones alternativas se ha llevado a cabo recientemente (a partir de 1980). Las concepciones de física y biología han sido estudiadas más intensivamente, por lo que las concepciones en química representan un campo fértil para la investigación.

### 5.1.1 ¿Por qué y cómo ocurre?

Esta primera categoría se conforma de las explicaciones de estudiantes que responden a tres preguntas básicas: ¿qué es una RQ?, ¿por qué ocurre una RQ? y ¿cómo ocurre una RQ? Este bloque presenta, mayormente, explicaciones generales aunque también hay algunas CA que explican una reacción en particular. Ese bloque se coloca al inicio ya que las siguientes categorías se abocan a aspectos particulares de la RQ, mientras éste intenta explicar cuáles son las CA de los estudiantes cuando piensan en una RQ.

Rosa (1998) menciona que la ocurrencia de los mecanismos de las transformaciones químicas permite ayudar al entendimiento de muchos procesos que ocurren diariamente en nuestras vidas, como el metabolismo, la acción de los medicamentos, el cocimiento de los alimentos, entre tantos otros ejemplos. Rosa (1998) cita una investigación suya realizada en Brasil (Rosa, 1996) en la que constata que el 20% de los estudiantes de enseñanza media responden la RQ 1, y el 65% la RQ 2.

RQ 1 Una reacción química es una simple mezcla de materiales

RQ 2 Las transformaciones químicas son procesos donde ocurren cambios de estado físico o de color

Concluye que las concepciones de continuidad de la materia constituyen para los alumnos un obstáculo importante en la construcción del concepto transformación química; también encuentra que las explicaciones de los alumnos sobre la transformación química se concentran en el nivel macroscópico, esto es, en el campo fenomenológico; y por último que la transferencia de aspectos observacionales del nivel macroscópico al nanoscópico impide que los alumnos construyan modelos explicativos coherentes que se aproximen más a los modelos científicos.

Athee y Varjola (1998) pidieron a estudiantes de cuatro grados y niveles diferentes (séptimo, octavo grado, el primer año de preparatoria y universitarios del primer año de química general) responder a cuestionamientos en torno al concepto de RQ. Encuentran que los estudiantes dan respuestas con diferente grado de comprensión, relacionadas con el grado escolar. La primera pregunta ¿Qué es una RQ? Sólo el 6% de los estudiantes de preparatoria y el 14% de los universitarios lograron describir adecuadamente el significado de la RQ, mientras que el resto proporcionó explicaciones como las siguientes:

RQ 3 Dos sustancias se combinan y forman una tercera sustancia

RQ 4 Cuando dos sustancias se mezclan, se produce una reacción química

RQ 5 Las sustancias reaccionan unas con otras, éstas se descomponen, se combinan, dan o reciben electrones. Ácido + metal  $\rightarrow$  hidrógeno + sal

Hinton y Nakhleh (1999) examinan las representaciones mentales (macroscópicas, microscópicas y simbólicas) de la RQ de seis estudiantes. Este estudio revela que los participantes utilizan al menos una de estas tres, pero el nivel de sofisticación varía considerablemente entre los estudiantes.

RQ 6 Dos diferentes sustancias (se combinan) para formar algo más...se puede ver algún tipo de reacción

RQ 7 Calor (absorbido o liberado) y cualquier formación cristalina es evidencia de una reacción

RQ 8 En una reacción de precipitación de  $\text{CaF}_2$ , un cambio visible de color de un indicador ácido-base es una evidencia macroscópica de la reacción química

RQ 9 La última capa... para el hidrógeno quiere ser de dos, pero para... todos los demás, ellos quieren llegar a ocho en su última capa... para que le guste completar la capa

RQ 10 Esto es justo una molécula de oxígeno, pero el oxígeno se separará porque esta más atraído a la molécula de hidrógeno porque pueden satisfacer sus electrones de valencia juntos. Entonces yo veo uno, la molécula de oxígeno partiéndose y moviéndose hacia los hidrógenos

RQ 11 Los iones de calcio y los ... iones de fluor. Ah, cuando ellos se ponen en contacto uno con otro y forman una molécula por un periodo de tiempo corto, se vuelve insoluble en agua. Se separa de la solución en forma de precipitado: sin embargo, el nitrato de sodio, cada vez un sodio y –iones de sodio y iones de calcio- se juntan, ellos son solubles y así se separan en sus iones otra vez y no forman precipitado

Estos autores concluyen que: todos los participantes identificaron exitosamente varias manifestaciones macroscópicas físicas de las reacciones químicas; todos los participantes balancearon exitosamente ecuaciones químicas; ninguno de los participantes demostró una clara comprensión de la naturaleza microscópica poliatómica; los participantes que generalmente demostraron un uso inexacto de vocabulario algunas veces pudieron dar definiciones a los términos y no necesariamente demostraron una comprensión pobre de los conceptos nanoscópicos; los participantes, que no utilizaron los términos ‘átomo’ o ‘molécula’, también tienen CA sustanciales en los aspectos nanoscópicos de las reacciones químicas; y participantes que tienen cursos muy similares en ocasiones tienen una comprensión conceptual muy diferente de las representaciones macroscópicas, microscópicas y simbólicas de las reacciones químicas.

Taber (2000a), en una revisión que hace de las ideas constructivistas y sus implicaciones en el aprendizaje de la química, informa las siguientes concepciones: la primera de Taber (1994 y 1997), la segunda de Schmidt (1997).

RQ 12 En un enlace iónico los iones pueden enlazarse sólo con contra-iones con los que han intercambiado electrones, en lugar de con cualquier ion adyacente cargado opuestamente

RQ 13 Una reacción entre un ácido y una base siempre produce una solución neutra

Taber (2000b) encuentra que muchos de los estudiantes de preparatoria mantienen la creencia de que llena la última capa del octeto o un octeto de electrones es un muy buen indicador de la estabilidad química. Comúnmente utilizan este principio para explicar porque una RQ ocurre:

RQ 14 Las reacciones químicas ocurren para que los átomos puedan obtener la última capa del octeto/ un octeto de electrones

También ha encontrado de una gran parte de los estudiantes de preparatoria piensa que especies como el  $\text{Cl}^{7-}$  son estables porque tienen llena la última capa del octeto de electrones.

Johnson (2000) menciona que los alumnos simplemente no aceptan la posibilidad de que unas sustancias cambien a otras y concluye en su investigación que sólo una vez adquiridas las ideas sobre partículas, los alumnos llegan a reconocer el concepto de RQ.

Justi (1998) realizó un estudio con alumnos de enseñanza media en el que se les pide que expliquen porqué algunas sustancias reaccionan cuando son colocadas en contacto. La autora encontró que las respuestas de los alumnos se podían relacionar con explicaciones históricas de diferentes científicos y filósofos acerca del término 'afinidad' ya que, dice que "*una de las concepciones espontáneas más comunes de las reacciones químicas es la de que existe afinidad entre los reactivos*". El primer tipo de respuestas (RQ 15) se refiere a atribuir a los elementos capacidades humanas, como el amor y el odio, con el cual coinciden las explicaciones más antiguas para la ocurrencia de interacciones entre las sustancias, propiedades antropomórficas que fueron propuestas por Empédocles e Hipócrates (s. V d.C.). El segundo tipo de respuestas son explicaciones que aluden a la afinidad o atracción. De acuerdo con Justi, encontramos varios significados para el término afinidad de acuerdo con Aristóteles, Boyle y Newton: Aristóteles (s. IV d.C.) discute los factores que podrían influir en la ocurrencia de las transformaciones, identificando diferencias y similitudes entre los materiales

empleados (RQ 16); Boyle considera que la afinidad sería el resultado de formas apropiadas de las partículas que les permitían adherirse una a la otra (RQ 17); y por su parte, Newton acredita que la materia está constituida de partículas y éstas se asocian por atracción y repulsión (RQ 18). En la siguiente tabla se presentan las explicaciones de los alumnos informadas en este estudio.

RQ 15	Las sustancias sólo reaccionan si gustan una de la otra
RQ 16	Debe ser aquella historia de 'semejante atrae a semejante'. Cuando alguna cosa es igual ellas tienden a reaccionar
RQ 17	Existe afinidad entre dos sustancias cuando sus moléculas encajan, como en un rompecabezas
RQ 18	La gente puede decir que una sustancia es afín a otra cuando existe una fuerza de atracción como en un imán. Sólo acontece la reacción cuando existe esa afinidad, esa fuerza

Boo y Watson (2001) al realizar un estudio para explorar las CA de estudiantes de 16 a 18 años con dos reacciones: la de magnesio con ácido clorhídrico diluido y la de nitrato de plomo acuoso con cloruro de sodio acuoso, encuentran que:

RQ 19	Una RQ ocurre debido a un agente causal —e. g. calor administrado, reactividad de una sustancia, diferente reactividad entre dos o más sustancias, o disolvente
RQ 20	El disolvente no participa para nada en la reacción

El 41% de la muestra respondió la RQ 19, mientras que la RQ 20 la respondieron el 25% de los estudiantes de 16-17 años y el 20% los estudiantes de 17-18 años.

En un taller de trabajo sobre modelaje en física y química (Arizona, 2001) se realizó un extenso documento en donde presentan las diversas concepciones que tienen los alumnos de física y química. Dos concepciones que llaman la atención con respecto a la RQ son:

RQ 21 Una RQ continúa ocurriendo hasta que todos los reactivos se han agotado

RQ 22 Las RQ's son propiciadas por agentes externos [e. g. calor]

Stavridou y Solomonidou (1998) presentan una investigación con jóvenes de 12, 14, 16 y 18 años sobre la reorganización y cambio conceptual, relacionada al concepto de RQ. Estos autores distinguen tres etapas del proceso de construcción:

- a) De la fenomenología a la comprensión del cambio. En esta etapa los estudiantes no comprenden las reacciones químicas como cambios, sino como eventos con algunas manifestaciones fenomenológicas, por ejemplo: cambio de color, liberación de gas, explosión, etc.:

RQ 23 La reacción química es... lo que pasa cuando mezclamos diferentes productos. Una explosión ocurre... algo pasa... su color cambia

Algunos alumnos 'trasladan' manifestaciones fenomenológicas en cambios de los productos iniciales, pero ignoran completamente qué es lo que puede ser el estado final o el resultado para cada transformación:

RQ 24 Una reacción es un encuentro entre dos productos que causa un cambio... ellos se combinan, deben provocar algo... una liberación de gas... o un cambio de color

- b) '1 +1 da algo más'. Los estudiantes en esta etapa han desarrollado un esquema conceptual para la comprensión de los fenómenos químicos que integran la idea de la formación de nuevos productos.

RQ 25 Dos productos son mezclados y algo más es producido, un nuevo producto

RQ 26 Para mí una reacción química es... el resultado de la unión de dos diferente productos químicos... así dos productos químicos mezclados dan un producto diferente... Hay una adición de los dos productos y el resultado de esta adición es un producto diferente

Aunque se ve el progreso con respecto a la etapa 1, sus distinciones no son satisfactorias porque ellos a menudo utilizan como en la RQ 27 en la que se muestra la existencia de dos productos iniciales: si sólo hay un reactivo no puede ocurrir una RQ; y en la RQ 28 y la RQ 29 en la que se ha formado algo más o un nuevo producto. El problema aquí es que comprenden esto desde su propio criterio: Un nuevo producto es simplemente algo diferente del inicial.

RQ 27 Un fenómeno es una reacción química cuando hay dos productos en el estado inicial. (Una reacción siempre empieza con dos sustancias)

RQ 28 La disolución de sal o azúcar en agua, el vapor de un perfume, hielo y hasta el fuego son considerados como un nuevo producto

RQ 29 Un huevo hervido no es un nuevo producto en comparación con un huevo sin cocer, porque 'era un huevo y todavía lo es'

c) Fenomenología y estructura de la materia. La fenomenología de las transformaciones químicas esta relacionada con los cambios estructurales de los productos o moléculas iniciales. Pero con una excepción, estos estudiantes no conectan los cambios estructurales con la formación de un producto nuevo.

RQ 30 Entonces es cuando... cuando la estructura de un cuerpo cambia

RQ 31 Dos moléculas dan una nueva molécula... que tiene una nueva estructura... eso es un cambio químico

Vázquez (1990), en un estudio para mostrar la dependencia de las CA encontradas del instrumento que se utilice para su localización con alumnos de 16 a 18 años de bachillerato, encuentra que no hay una dependencia considerable, sin embargo, informa de las siguientes CA:

- RQ 32      Los catalizadores se emplean para aumentar la velocidad de las reacciones (no para disminuirla)
- RQ 33      Al elevar la temperatura se consigue siempre mayor eficiencia en todas las RQ's

Novick y Nussbaum (1978) entrevistan a 20 alumnos de enseñanza secundaria para recabar sus concepciones sobre la estructura de la materia. Uno de los cinco aspectos del modelo de la estructura de partículas de la materia que presentan es el de la RQ:

- RQ 34      Cuando dos diferentes sustancias interactúan para formar una tercera sustancia, lo representamos como la unión de diferentes clases de partículas

y lo ejemplifican con la formación del humo blanco (cloruro de amonio) al hacer reaccionar dos gases (amoníaco y cloruro de hidrógeno). Preguntan “¿cómo se forma la sustancia blanca?”. Dos terceras partes de los alumnos emplea partículas en sus explicaciones, la otra tercera parte se emplea una representación continua de la materia. Finalmente sólo una tercera parte responde con la concepción científica en la que emplean un modelo de partículas en el cual se forma un nuevo compuesto. Los autores señalan que los aspectos menos asimilados por los estudiantes fueron los relacionados con el espacio vacío entre las partículas (concepto de vacío), con el movimiento intrínseco (cinética de las partículas) y con las interacciones entre las partículas (cambio químico).

Barker (2001) menciona que una confusión común entre estudiantes de 13-14 años es que:

RQ 35	La disolución y el cambio de estado son RQ's
-------	--

Mientras que Tsapalis (2003) reporta las características que debe cumplir un fenómeno para ser considerado una RQ:

RQ 36	El vapor es resultado de una RQ
-------	---------------------------------

RQ 37	La formación de gas y el burbujeo son indicadores de una RQ
-------	---

Galagovsky y colaboradores (2003) construyen una experiencia práctica en la que sucede una RQ [obtención de sulfuro de hierro (II)] si se lleva a cabo el calentamiento de una mezcla (de los elementos azufre y hierro). Los alumnos explican que: *“Ocurrió una reacción, pues ya no es posible separar al hierro por medio de un imán. La mezcla se transformó en un nuevo compuesto por la presencia de una reacción”*. Al preguntar si es posible producir una reacción ente el azufre y el hierro, el 83% de las respuestas fue negativo:

RQ 38	No es posible porque, al acercar el imán, el hierro vuelve a su estado original. Cada sustancia conserva sus propiedades y se diferencian sus partículas a simple vista
-------	---

RQ 39	No se puede producir un cambio de sustancia
-------	---

RQ 40	No, porque lo que hicimos fue un cambio físico
-------	--

RQ 41	Si, porque el azufre es un no-metal y el hierro es un metal. Pueden formar un enlace iónico. En este caso no sería porque no hubo cambio químico
-------	--

### 5.1.2 Conservación de la masa

Muchos estudios de la RQ se centran en la conservación de la masa en sistemas reaccionantes. Este tema parece ser complicado para los alumnos y han generado una cantidad importante de CA como se muestra a continuación.

Ramsden (1997) realizó un estudio donde aplica un cuestionario con varias situaciones a dos grupos: uno piloto y otro testigo. Pretendía probar que la enseñanza de la ciencia con un enfoque basado en el contexto (los conceptos científicos son presentados con base en la necesidad-de-conocer, como aparecen en contextos particulares) es más efectiva que uno basado en el esquema tradicional. Los autores obtuvieron muy poca diferencia en sus resultados con ambos enfoques, mas su estudio identificó varias CA, la mayor parte de las cuales tienen que ver con inconsistencias del fenómeno de conservación de la masa, porque atribuyen ganancia o pérdida de peso en función del estado de agregación de reactivos y productos. Al hacer reaccionar una disolución de sulfato de sodio con una disolución de cloruro de bario los alumnos explican que:

- |       |  |
|-------|--|
| RQ 42 | Un sólido se forma y como las partículas en un sólido están más juntas, es más denso y por lo tanto más pesado |
| RQ 43 | Un sólido se forma, el cual tiene una mayor densidad que el líquido, entonces pesará un poco más               |
| RQ 44 | Un precipitado se ha formado, éste pesa más que los líquidos, los que disminuyen el peso                       |
| RQ 45 | Pesa menos porque parte del líquido se evapora   |

En cuanto a lo que sucede al disolver una tableta efervescente en agua los alumnos explican que:

- |       |  |
|-------|--|
| RQ 46 | Los gases estaban atrapados en el compuesto agua (se refieren al oxígeno) y éstos se liberan cuando reacciona con la tableta |
|-------|--|

Andersson (1990) cita una investigación previa (Andersson, 1984) en la que coloca una pieza de fósforo en un recipiente cerrado y lo expone al Sol. Pregunta a los estudiantes si el frasco pesa más, igual o menos y entre las respuestas encontramos las siguientes CA:

- RQ 47 El peso se quema. Como el frasco tiene corcho nada puede desaparecer. Pero el oxígeno se ha usado porque una sustancia se ha quemado en el envase, el peso era menor
- RQ 48 El humo ya estaba presente en la tableta, aunque pesa más en la forma comprimida
- RQ 49 Cuando el fósforo se quema, el fósforo sólo se transforma en otra forma. Pesa lo mismo
- RQ 50 [pesa] menos de 205 [g, el peso antes de la reacción], pero la energía (calor) causada por el fuego desaparece cuando el frasco se enfría
- RQ 51 El humo no pesa nada. Un gas es formado para que el envase sea levantado. El gas es más ligero que un sólido

Barker (1999) encuentra CA similares y algunas más en la misma línea de las de Ramsden al realizar en un estudio con 250 estudiantes del bachillerato en el que incluye sistemas abiertos y cerrados. Se cuestiona a los alumnos en una reacción de dos líquidos que forman un precipitado y responden lo siguiente:

- RQ 52 La masa cambia porque un reactivo se agota
- RQ 53 La masa cambia porque están presentes sustancias extra
- RQ 54 La masa cambia porque se han formado nuevos enlaces
- RQ 55 La masa disminuye porque se ha formado un gas
- RQ 56 Nada cambia porque no ocurre ninguna reacción

En otra reacción, Barker repite el experimento de Andersson y coloca en un recipiente cerrado una pieza de fósforo la cual se incendia al sacar al Sol el sistema de reacción. El resultado de la combustión del fósforo se acaba disolviendo en el agua que está también dentro de la botella. Las concepciones se presentan a continuación:

RQ 57	La energía se pierde o absorbe, por lo que la masa cambia
RQ 58	La masa cambia porque el fósforo se disuelve
RQ 59	La masa cambia porque los gases pesan menos que el sólido
RQ 60	La masa cambia porque los líquidos pesan menos que el sólido
RQ 61	La masa cambia porque el fósforo se agota
RQ 62	La masa cambia porque el oxígeno está ahora incluido

Özmen y Ayas (2003) realizan en Turquía un estudio similar y encuentran algunas de las concepciones ya mencionadas y las siguientes, obtenidas en sistemas cerrados:

RQ 63	La masa se incrementa porque el gas se disuelve en el agua
RQ 64	La masa disminuye al disolverse
RQ 65	La masa total decrece en una reacción de precipitación porque el precipitado es sólido y éste es más pesado que el líquido
RQ 66	Cuando ocurre una reacción de combustión en un sistema cerrado la masa total decrece
RQ 67	En un sistema cerrado, en una reacción que produce gas hidrógeno el peso decrece ya que el hidrógeno es más ligero que el aire
RQ 68	Un precipitado es más pesado que un gas
RQ 69	Cuando un humo (gas) se disuelve en agua, el peso decrece
RQ 70	El tamaño del fósforo se incrementa cuando se quema
RQ 71	En un sistema cerrado, después de la reacción se producen nuevas sustancias por lo que el peso del sistema aumenta
RQ 72	El gas es más ligero que el sólido
RQ 73	Cuando se disuelve el fósforo en el agua, sólo queda agua

Y estas otras, obtenidas en sistemas abiertos:

RQ 74	Cuando dos disoluciones forman un nuevo producto en una sola disolución, el peso decrece
RQ 75	La formación de un precipitado hace que se incremente el peso
RQ 76	Los sólidos son más pesados que los líquidos
RQ 77	Un sólido es más pesado que un gas
RQ 78	El precipitado producido es más pesado que el líquido

Rosalind Driver (1985), basada en las propuestas de Piaget, estudió el razonamiento conservativo de los estudiantes en las transformaciones físicas y químicas. Se derivan dos hallazgos importantes de esa investigación. Primero, que muchos estudiantes emplean ideas intuitivas no científicas en sus explicaciones de los cambios químicos, adquiridas en sus experiencias de combustión, corrosión y otros fenómenos de oxidación (RQ 79, RQ 80) y en segundo lugar, un error al no seleccionar apropiadamente la frontera de los procesos químicos, lleva a los alumnos a no introducir un reactante en su concepción de una reacción (RQ 118).

RQ 79	Un clavo oxidado debe de pesar lo mismo que el clavo original
RQ 80	Un clavo oxidado debe de pesar menos que el clavo original

### 5.1.3 Enlaces y energía

Aquí se encuentran dos temas importantes: el primero está visto desde el punto de vista nanoscópico de la química y son 'los enlaces' que existen entre los átomos presentes y se rompen o forman al ocurrir una RQ; el segundo tema 'la energía' está relacionado, ya que en la formación y rompimiento de las RQ se encuentra involucrada la energía. A continuación presentamos las CA que se enfocan en estos dos temas.

En el estudio de Boo y Watson (2001) con la reacción del magnesio con ácido clorhídrico diluido y la de nitrato de plomo acuoso con cloruro de sodio acuoso se reportaron también las siguientes concepciones:

RQ 81 El rompimiento del enlace es exotérmico  
RQ 82 La formación del enlace es endotérmica  
RQ 83 El enlace iónico resulta en un par de iones o algún tipo de enlace covalente

Tanto la RQ 81 como la RQ 82 la sostienen el 23% de los estudiantes de 16-18 años. La RQ 83 la responde el 44% de los estudiantes de 16-17 años, y el 34% para los de 17-18 años.

En Arizona (2001) se menciona que la energía relacionada con la RQ es explicada con las CA mostradas a continuación:

RQ 84 La energía es creada en las RQ's  
RQ 85 La energía es utilizada en las RQ's  
RQ 86 Los enlaces químicos son almacenes de energía  
RQ 87 La energía que forma la gasolina no es realmente energía sino hasta que ésta se libera  
RQ 88 La energía es un reactivo que hay que añadir a la reacción

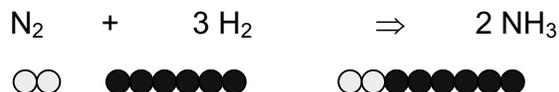
#### 5.1.4 Estequiometría

Las RQ se pueden escribir por medio de ecuaciones que permiten saber cuantos átomos y moléculas reaccionan y cuantos se producen. Para representar correctamente una RQ debe estar bien balanceada, las siguientes investigaciones se centran en la estequiometría de la reacción.

Yarroch (1985) encuentra que la mitad de los alumnos de 17 años, que saben balancear ecuaciones exitosamente, es incapaz de diagramar correctamente una

representación de la ecuación al nivel de partículas o moléculas. Estos estudiantes dibujan representaciones congruentes con el número total de partículas involucradas, pero incongruentes con la fórmula de las sustancias y con los coeficientes de la reacción. Por ejemplo, cuando se les pedía dibujar una representación de ecuaciones (i.e.  $N_2 + 3 H_2 \Rightarrow 2 NH_3$ ),

RQ 89 Representan 3  $H_2$  como  $H_6$  y 2  $NH_3$  como  $N_2H_6$



La mitad de los estudiantes no pudieron dibujar correctamente un diagrama molecular para explicar las ecuaciones en los sistemas nanoscópicos y aunque algunos estudiantes dibujaron el número correcto de partículas, parece que no pueden utilizar la información contenida en los coeficientes y subíndices para construir las moléculas. Sólo nueve de catorce estudiantes balancearon correctamente las ecuaciones pero fueron incapaces de explicar qué significaban las ecuaciones. Este estudio demuestra que los estudiantes no distinguen entre los coeficientes que preceden a las fórmulas y los subíndices que indican atomicidad.

Nakhleh (1992) cita a Gussarsky y Gorodetsky (1990) que analizan el equilibrio químico. Ellos encuentran que los estudiantes no perciben la mezcla de equilibrios como una entidad, más bien manipulan cada lado de la ecuación de forma independiente como si fuera un balanceo. Los estudiantes no comprenden la naturaleza dinámica del equilibrio. Ellos asumen que alcanzar la condición de equilibrio significa que ninguna reacción está ocurriendo a partir de ese momento. Estos autores apuntan a que los estudiantes confunden los diferentes significados de equilibrio (la vida cotidiana y el concepto químico).

Wandersee (1995) menciona algunas CA que presentan los estudiantes con respecto al balanceo y la interpretación de ecuaciones químicas:

RQ 90 Los superíndices en las fórmulas son números utilizados en el balanceo y no representan agrupaciones atómicas

RQ 91 Los coeficientes en las ecuaciones son números utilizados para balancear mecánicamente las ecuaciones y no representan el número relativo de especies que reaccionan o son producidas en las reacciones químicas

RQ 92 Las ecuaciones químicas no representan las reacciones químicas a nivel corpuscular

RQ 93 Las ecuaciones químicas no representan procesos dinámicos en los que las partículas/ moléculas reaccionan con otra para producir nuevas partículas /moléculas mediante el re-arreglo de átomos

Nakhleh (1992) cita Hackling y Garnett (1985) quienes estudian velocidades de reacción con la siguiente reacción:  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \leftarrow \rightarrow 2\text{NOCl}(\text{g}) + \text{calor}$

Encuentran que muchos de sus estudiantes piensan que las concentraciones de los productos igualan a las concentraciones de los reactivos en el equilibrio. Los autores argumentan que esta concepción alternativa esta basada en el hecho de que no comprenden cómo se usan los coeficientes de una RQ en la expresión del equilibrio.

En cuanto a las CA de los estudiantes con respecto a los aspectos cinéticos del modelo particular de la materia, Nakhleh (1992) menciona que los estudiantes: a) a menudo no pueden establecer que una ecuación química balanceada representa un re-arreglo de átomos; b) tienen dificultad para reconocer y describir instancias del cambio químico o del cambio físico; y c) se percibe al equilibrio químico y del estado estacionario como condiciones estáticas esenciales.

### 5.1.5 Representaciones gráficas

Es importante que los estudiantes puedan realizar representaciones gráficas de la RQ, esto puede significar que el estudiante ha comprendido. Los siguientes estudios presentan CA en las representaciones gráficas reportadas.

Ben-Zvi, Nylon y Silberstein (1987) realizaron un estudio en Israel con 337 alumnos 15 años de edad en el cual investigan si hay una disminución en las CA conforme avanzan en los años escolares; en él concluyen que los estudiantes presentan dificultades en la comprensión de la química, aún en niveles superiores de enseñanza. En la primera parte se les pide a los estudiantes que representen aspectos estructurales de una RQ (la estructura de una molécula, la naturaleza del estado gaseoso) y el aspecto interactivo de una reacción, con la reacción de descomposición del gas  $\text{Cl}_2\text{O}$  en sus elementos. A continuación se presentan las representaciones y explicaciones encontradas:

RQ 94 Representan al  $\text{Cl}_2\text{O}$  con dos fragmentos: uno ' $\text{Cl}_2$ ' y el otro 'O'

RQ 95 Representan el gas  $\text{Cl}_2\text{O}$  con una sola molécula [no hay un claro concepto de que el gas tiene varias moléculas]

RQ 96 Los alumnos no son capaces de distinguir entre  $\text{N}_2\text{O}_2$  y  $\text{N}_2 + \text{O}_2$

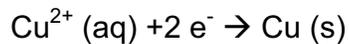
RQ 97 En una reacción entre  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  no puede formarse  $\text{N}_2\text{O}_5$  porque sólo hay  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  ¿De dónde sale el oxígeno adicional?

RQ 98 En una reacción entre  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  no puede formarse NO porque de acuerdo a la ley de la conservación de la masa, la masa del producto es menor

RQ 99 En una reacción entre  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  no puede formarse NO porque tenemos  $\text{O}_2$  que no puede descomponerse ni tampoco el  $\text{N}_2$

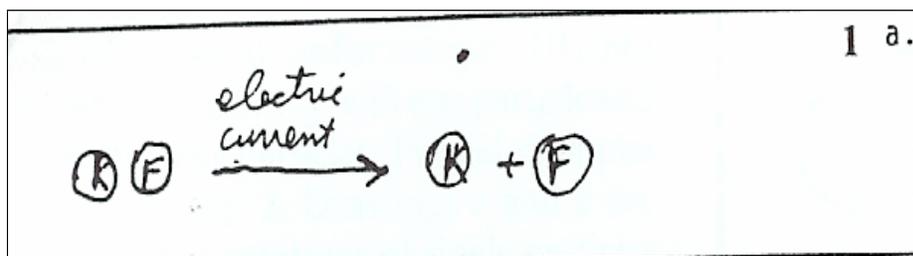
RQ 100 En una reacción entre  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  puede formarse  $\text{NO}_2$  porque por alguna razón y debido a la reacción [el N] desaparecerá en el envase

En la segunda parte de su estudio los autores elaboran cuestionamientos en torno a reacciones de electrolisis en donde a partir de las siguientes ecuaciones:



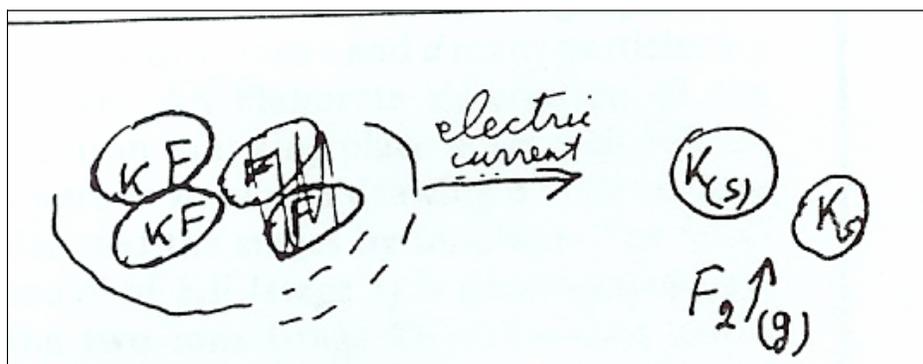
994 estudiantes de décimo grado deben representar su significado con dibujos, el 58% de ellos dibujo representaciones estáticas:

### Representaciones microscópicas estáticas



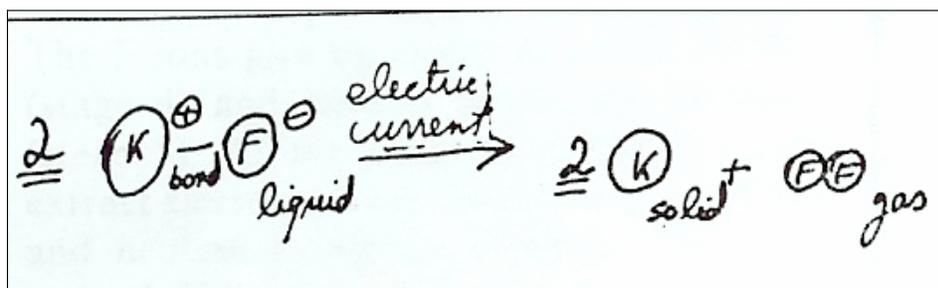
RQ 101

KF esta representado por dos átomos

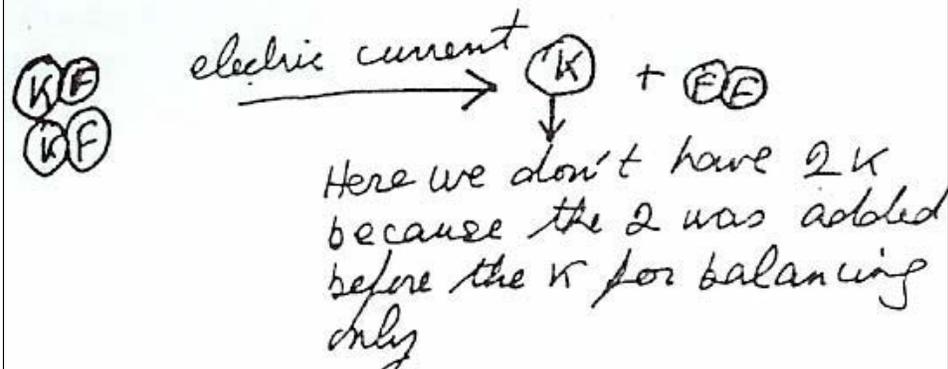


RQ 102

KF esta representado por dos moléculas conectadas

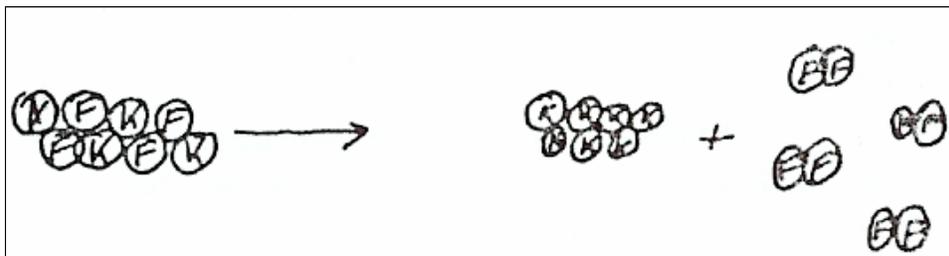


RQ 103



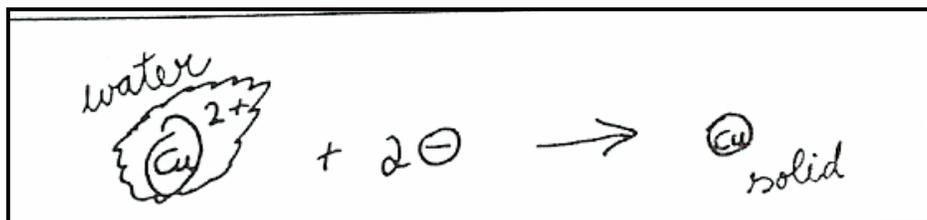
RQ 104

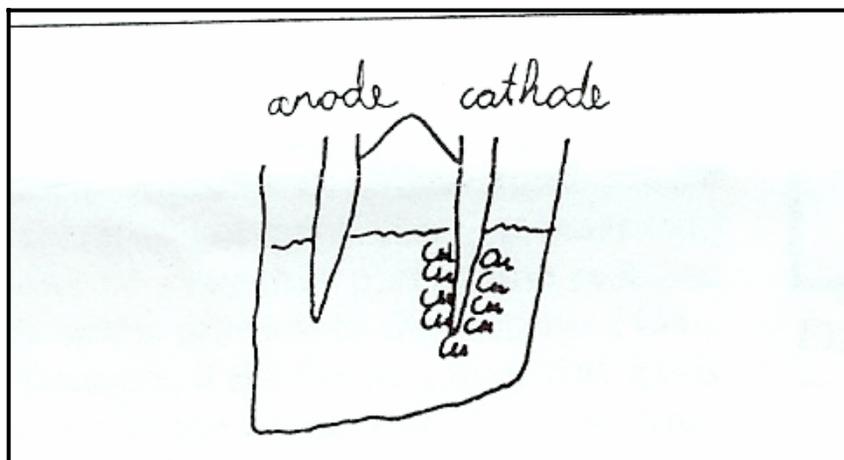
“Aquí no tenemos 2 K porque el 2 fue adicionado antes de la K únicamente para balanceo”



RQ 105

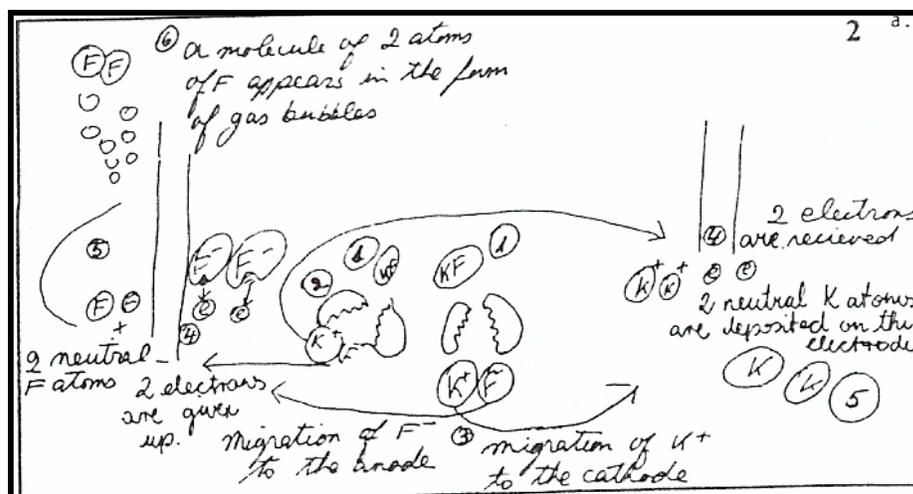
En este estudio dos de las representaciones reportadas se pueden clasificar, de acuerdo con Andersson, como interacciones químicas:





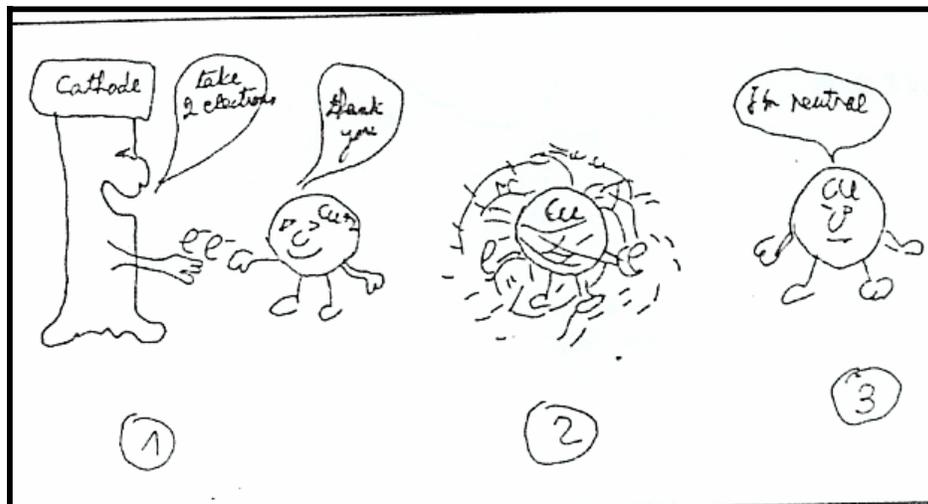
Sólo 38% de los estudiantes utilizó representaciones que muestran una concepción dinámica del proceso, encontramos a las siguientes:

### Representaciones microscópicas dinámicas



RQ 106

1. KF se representa con dos moléculas en forma de un círculo 'KF'
2. Se rompe 'KF' por la mitad
3. Migración de  $K^+$  al cátodo y migración de  $F^-$  al ánodo
4. En el cátodo: se reciben 2 electrones  
En el ánodo: dos electrones son abandonados
5. En el cátodo: dos átomos neutros de K son depositados en el electrodo  
En el ánodo: dos átomos neutros F
6. Una molécula de 2 átomos de F aparece en forma de burbujas de gas



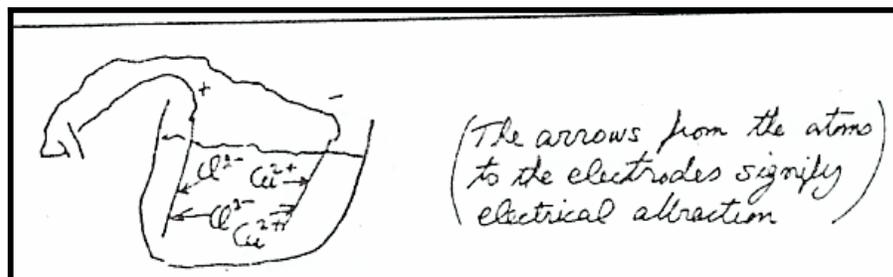
RQ 107

1. "Cátodo –'toma dos electrones'"

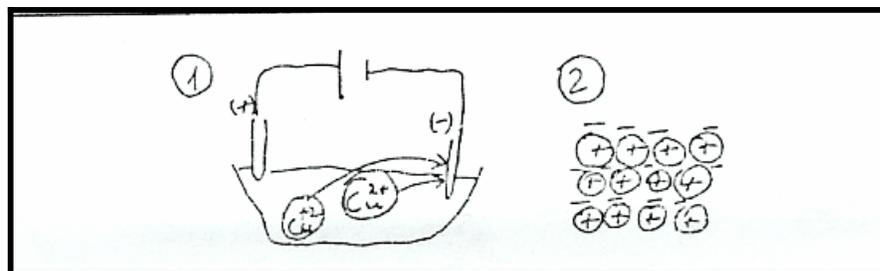
Cu - 'gracias'

3. "Cu –'soy neutro'"

RQ 108



"Las flechas desde los átomos a los electrodos significan la atracción eléctrica"



RQ 109

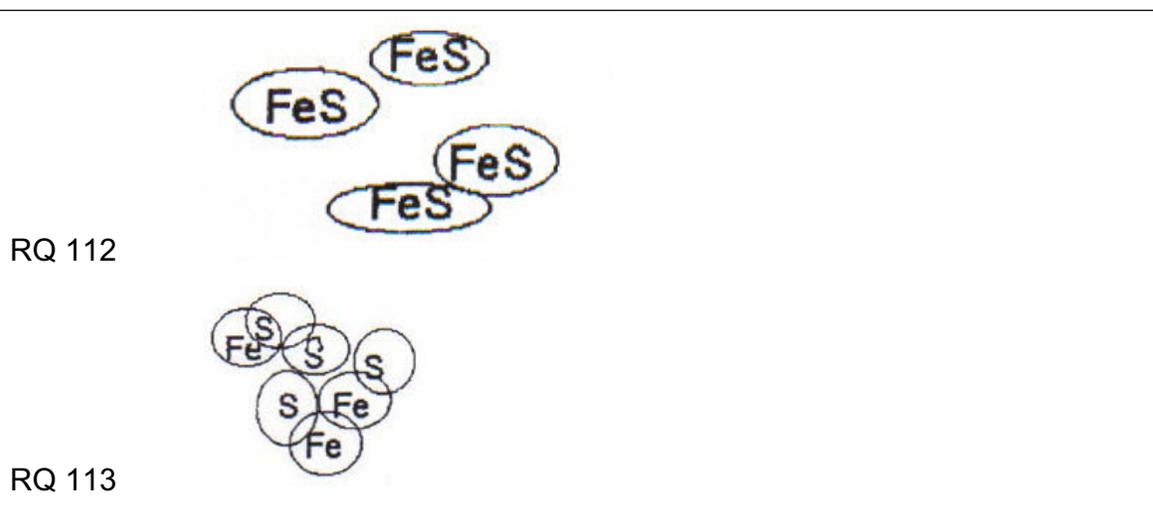
Andersson (1990: 71) encuentra que las representaciones diagramáticas con figuras geométricas llevan a que los alumnos piensen que:

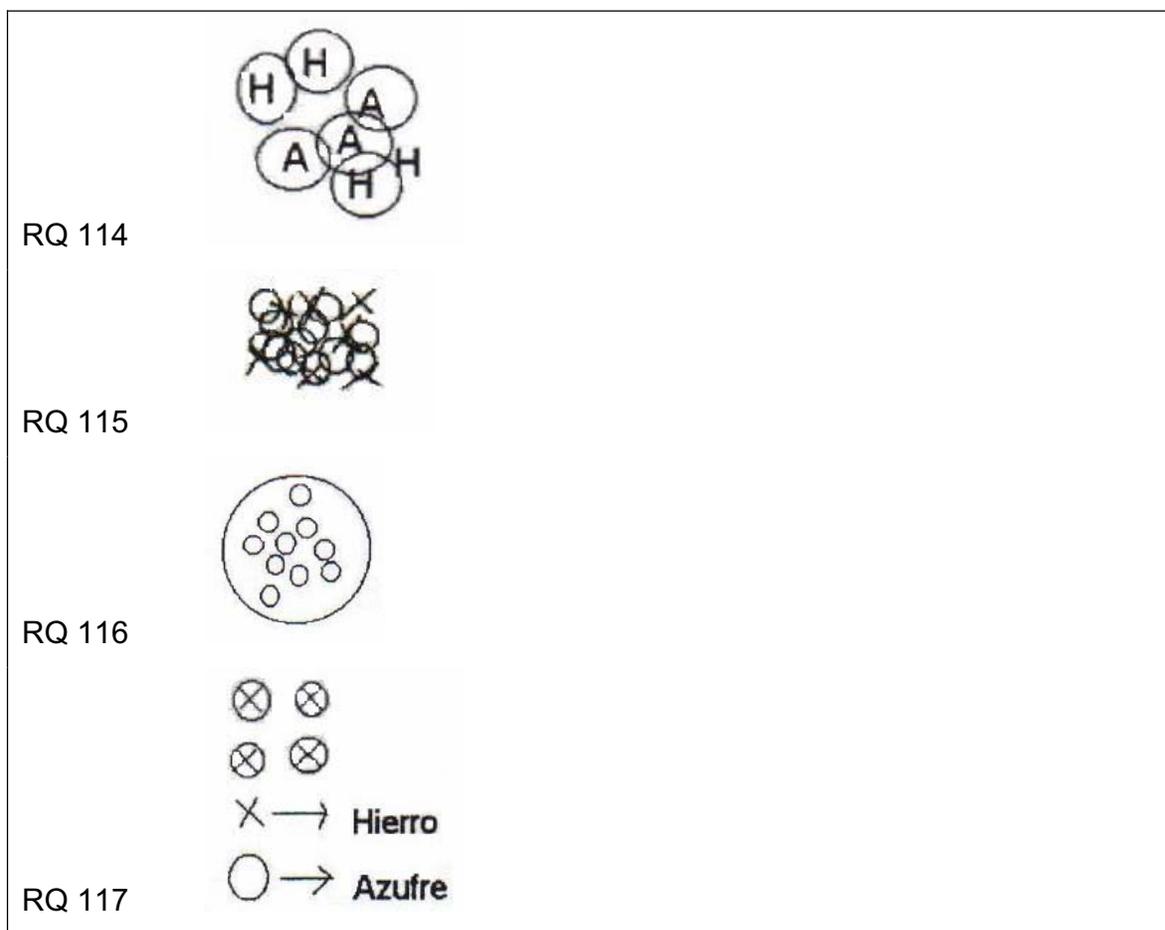
RQ 110 Existen átomos de diferentes formas y colores (i.e. circulares, triangulares, etc., rojos, azules, y así, un núcleo con una nube electrónica o bolas separadas por resortes)

RQ 111 Se trata de diferentes modelos utilizados con diferentes propósitos

Sin embargo, nos dice (p. 73) que *“hay que hacer énfasis en que es relativamente raro que los libros de texto simbolizen las RQ’s con sistemas de partículas, lo cual traería una imagen más certera de lo que sucede y un mejor entrenamiento en el razonamiento químico”*.

Galagovsky *et al.* (2003) encuentra que el 12% de sus alumnas realizó esquemas donde superponían rasgos macroscópicos y nanoscópicos, al utilizar dos formas diferentes de simbolizar las partículas de azufre y de hierro, pero además el azufre lo pintaron de amarillo y las partículas de hierro fueron bien remarcadas en color oscuro.





Estos esquemas para representar el cambio químico ocurrido entre el azufre y el hierro lo presentaron 87% de los alumnos en la siguiente distribución: la RQ 112 (29%), RQ 113 (26%), RQ 114 (16%), RQ 115 (8%), RQ 116 (5%), RQ 117 (3%). Galagovsky menciona que cada lenguaje tiene sus propios códigos y formatos sintácticos aceptados y compartidos por los expertos, pero estas explicitaciones generalmente se omiten durante las explicaciones dadas en clase.

### 5.1.6 Óxido-reducción

Las RQ se pueden agrupar de varias formas para su estudio. Una agrupación muy utilizada es por tipo de reacción, siendo óxido-reducción (Red-Ox) uno de éstos. Un número importante de artículos presenta su investigación de los sistemas reaccionantes en torno a ejemplos y aplicaciones de óxido-reducción. Se presentan primero los que se refieren a generalidades de red-Ox, en una sección

interna de éste se encuentra la ‘combustión’, que es un ejemplo específico de las red-Ox, y dentro de éste último uno llamado ‘combustión de una vela’, que resulta ser un fenómeno muy recurrido por los profesores para ejemplificar la combustión.

En esta primera parte se muestran a continuación las CA encontradas en investigaciones generales con respecto a RQ del tipo Red-Ox.

Rosalind Driver (1985) reporta que en muchas ocasiones no se considera al oxígeno como reactivo en las reacciones de óxido-reducción:

RQ 118                      El oxígeno no se considera como un reactante importante en la reacción de oxidación de la lana de hierro que se calienta, debido a su naturaleza «invisible»

El artículo de Andersson (1990) clasifica en cinco apartados las interpretaciones de los alumnos en cuanto a la RQ, sin que hagan uso del esquema de partículas:

- desaparición, las sustancias pueden desaparecer durante un proceso, piensan algunos alumnos (RQ 119, ésta es una cita de Andersson (1990) de una investigación de Andersson y Renström (1983));
- desplazamiento, las sustancias aparecen o desaparecen porque son desplazadas (este concepto tiene que ver con el ‘desplazamiento físico’), por ejemplo una forma en la que desaparecen los reactivos de una RQ es porque se desplazan hacia alguna otra parte (RQ 120);
- modificación, significa que una sustancia puede retener su identidad mientras que algunas de sus propiedades sí cambian, por ejemplo puede haber modificación de apariencia, si la sustancia modifica su apariencia pero continúa siendo la misma; y de cantidad, si la sustancia sigue siendo la misma pero en cantidades distintas (RQ 121);
- transmutación, esta categoría contempla unas transformaciones ‘prohibidas’ para la química, como lo es la transformación de materia en energía o de

energía en materia, o de una sustancia que transmuta en otra (RQ 122 y RQ 123); y la

- interacción química, que es el conjunto de contestaciones que sí emplean razonamientos químicos básicos, como por ejemplo *“El oxígeno en el aire ha reaccionado con el tubo de cobre formando la capa de óxido de cobre del tubo”*.

A manera de ejemplo se presentan las siguientes CA encontradas por Andersson en una investigación con estudiantes suecos de 12 a 15 años de edad al preguntar *¿Por qué el cobre brillante de las tuberías de agua se pone opaco? y ¿Qué pasa cuando un clavo se oxida?*

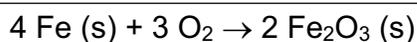
RQ 119	El combustible usado en el carro simplemente desaparece.
RQ 120	La capa sólo se materializa, ya sea del aire en el caso del clavo o del agua en el caso de cobre
RQ 121	El cobre se pone oscuro por el calor
RQ 122	Al oxidarse el hierro se convierte en carbón
RQ 123	El acero gana peso cuando se quema porque la lana de acero ha cambiado al carbón, que es más pesado

La RQ 123 muestra una clara carencia de comprensión en los siguientes aspectos (Nakhleh, 1992): a) la materia está compuesta de partículas; b) estas partículas están en constante movimiento; y c) estas partículas pueden reaccionar con otra rompiendo o formando enlaces.

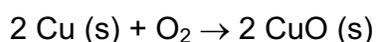
Otra posible interpretación de los alumnos es una que mencionan Mortimer y Miranda (1995), el animismo. Éste consiste en atribuir comportamientos típicos de los seres vivos a las sustancias. La transformación química es vista muchas veces como la realización de una cierta voluntad de la sustancia.

Hesse y Andersson (1992) realizaron una investigación con 100 alumnos del bachillerato en la cual se empleó un cuestionario escrito para que los estudiantes

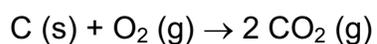
explicaran tres reacciones de oxidación-reducción. Éstas se presentan a continuación, acompañadas de las explicaciones que proporcionaron los alumnos:



RQ 124 La oxidación implica la 'desaparición' del hierro. La herrumbre 'se come' al metal de la misma forma que cuando lo ataca un ácido fuerte o como un hongo microscópico se come a la comida. Entonces, si eliminas la herrumbre, lo que queda del clavo pesa menos que el clavo original limpio



RQ 125 Calentar el cobre con el mechero logra que se quemara la capa exterior del cobre, la cual se pone negra. El cobre pesa menos después de eliminar la cubierta, porque parte del cobre se ha ido con el óxido



RQ 126 Cuando el carbón se quema, se consume... como si creciera y se volviera viejo... se agota y no tiene más las propiedades físicas y químicas que acostumbraba tener, por que fue quemado por la llama

Cabe mencionar que tanto la RQ 124 como la RQ 125 también hablan de la conservación de la materia, pero la concepción alternativa se presenta en la descripción de la reacción y no en la conservación de la materia.

Wandersee y colaboradores (1995) reúnen las siguientes CA con respecto a la óxido-reducción:

RQ 127 El estado de oxidación de un elemento es el mismo que la carga del ion monoatómico del elemento

RQ 128 Una especie poliatómica puede ser asignada a un estado de oxidación y éste es igual a la carga de la especie

RQ 129 En todas las ecuaciones químicas el 'adicionar' y el 'remover' el oxígeno e hidrógeno puede ser identificado como óxido-reducción

RQ 130            En todas las ecuaciones químicas el cambio en las cargas de las especies poliatómicas puede ser usado para identificar la oxidación y la reducción

RQ 131            La oxidación y la reducción son procesos que pueden ocurrir de manera independiente

Athee y Varjola (1998) en su estudio también preguntan ¿Qué piensas que indica que una RQ se ha llevado a cabo? Los estudiantes responden con ejemplos específicos de reacciones de óxido-reducción:

RQ 132            [El] quemado[:], dos sustancias forman una tercera sustancia, un compuesto

RQ 133            El óxido es formado cuando al hierro esta en contacto con gotas de agua

Kind (2004) en su apartado de 'Ideas de los estudiantes sobre procesos químicos en sistemas abiertos' cita a Schollum (1981 a y b) y menciona que una minoría de estudiantes atribuye la corrosión a una RQ pero no siempre incluyen al oxígeno:

RQ 134            Corrosión es la forma de reacción química que tiene un clavo de hierro luego que se ha dejado en la lluvia

RQ 135            ...se provoco una reacción con el agua y una impureza del clavo

#### 5.1.6.1 La combustión

Para el caso particular de óxido-reducción, se encontraron cinco investigaciones que analizan las ideas de los estudiantes. A continuación se muestran las CA encontradas.

En el artículo de Andersson (1990) encontramos la siguiente concepción alternativa:

RQ 136	La gasolina que se quema en un motor desaparece, convirtiéndose sólo una pequeña porción en los gases del escape
--------	--

Mortimer y Miranda (1995) informan que los alumnos piensan que en la combustión de la madera sucede una transmutación, como la cataloga Andersson (1990):

RQ 137	La madera quemada se transmuta en carbón, ceniza y energía
--------	--

Krnel, Watson y Glazar (1998) encuentran la siguiente interpretación de las RQ's por parte de los estudiantes:

RQ 138	El gas sobre un mechero es el mismo que entró por la parte baja del mismo
--------	---

BouJaoude (1991) confirma los hallazgos previos con relación a las concepciones sobre combustión y plantea la siguiente tabla como una lista de malos entendidos mostrados por los alumnos de octavo grado en su estudio:

RQ 139	La cera, el alcohol y el oxígeno no están activamente involucrados en la combustión
RQ 140	Las sustancias no participan en un cambio químico durante la combustión
RQ 141	Términos tales como evaporación y quemado pueden utilizarse intercambiabilmente cuando se describe la combustión del alcohol

Otros autores como Gómez-Crespo *et al.* (1992) analizan las ideas sobre conservación de la masa en las reacciones de combustión y de Jong *et al.* (1999), hallan que concepciones muy similares son señaladas por profesores en formación como problemas previsibles en sus estudiantes:

RQ 142	El oxígeno no posibilita la combustión
RQ 143	Una temperatura mínima no es necesaria para la combustión
RQ 144	No se forman nuevas sustancias durante la combustión
RQ 145	Cuando la cinta de magnesio se quema, su masa decrece

#### 5.1.6.2 La combustión de una vela

Como ya se mencionó anteriormente, la combustión de una vela es un ejemplo que se utiliza frecuentemente para enseñar y explorar la combustión. Se localizaron seis investigaciones que abordan este tema, las CA encontradas en todos ellos se parecen mucho y de hecho se repiten varias de ellas, pero únicamente presentamos la CA en la primera investigación, de acuerdo al orden cronológico, que la reporta de acuerdo a lo estipulado en la metodología.

Mortimer y Miranda (1995) nos recomiendan llevar a cabo una experiencia utilizada para demostrar que el oxígeno es consumido en la combustión, que consiste en poner una vela en un plato con un poco de agua. Al colocar un vaso volteado sobre la vela prendida, ésta se apaga al poco tiempo y el nivel de agua dentro del vaso sube. En su artículo reportan que los alumnos piensan que:

RQ 146	El fuego jala agua del plato sobre el cual está el vaso volteado con la esperanza de encontrar oxígeno, pues dentro del vaso se ha acabado
--------	--

Johnson (2002) presenta resultados similares al analizar la RQ que ocurre al quemarse una vela, encuentra las explicaciones incluidas en la siguiente tabla por parte de los alumnos:

RQ 147	La cantidad de cera se conserva aún tiempo después de que la vela ha estado encendida
RQ 148	La cantidad de cera decrece tiempo después de que la vela ha estado encendida debido a la evaporación de la misma

RQ 149	La cera funciona como el soporte del pabilo que, al derretirse lentamente, tiene como función el control de la velocidad de quemado del pabilo
RQ 150	La cera no participa en la reacción de combustión
RQ 151	El agua generada estaba en la cera
RQ 152	El agua generada estaba en el aire
RQ 153	La combustión de una vela es un proceso de evaporación
RQ 154	La cera no se quema
RQ 155	El oxígeno no participa en el proceso de producción del agua en la combustión de una vela

Abraham, Williamson y Westbrook (1994) analizan las concepciones de 300 estudiantes de la secundaria, el bachillerato y la universidad sobre cinco conceptos químicos fundamentales. Toman como ejemplo la formación de una película negra sobre una varilla de vidrio mantenida sobre la llama de una vela. Informan que 73% de los alumnos tienen alguna concepción alternativa con relación al cambio observado. Las concepciones de los alumnos se presentan en la siguiente tabla

RQ 156	La combustión de la vela es un proceso físico que la ha llevado a otro estado físico, el líquido, pero manteniendo la cera como sustancia
RQ 157	El material oscuro que se forma sobre la varilla proviene de la combustión de la mecha
RQ 158	La mecha es la que se quema, no la cera
RQ 159	La película negra proviene de la combustión de la varilla, es decir, de una reacción en el vidrio

Los porcentajes de los estudiantes de la secundaria, el bachillerato y la universidad, para cada una de las concepciones son respectivamente: RQ 156 (37%, 21% y 24%), RQ 157 (4%, 18% y 22%), RQ 158 (4%, 18% y 22%), y para la RQ 159 (17%, 11% y 13%).

En la tabla siguiente presentamos las concepciones en relación con la combustión que aparecen en el taller de trabajo sobre modelaje en física y química (Arizona, 2001).

RQ 160	El aire arriba de la llama es el mismo que entra por debajo del mechero
RQ 161	Sólo hay aire sobre la llama
RQ 162	Los colores de la llama durante la combustión estaban presentes en la madera
RQ 163	El humo ya estaba presente en la madera
RQ 164	La combustión de la madera, del alcohol y de una vela son diferentes fenómenos
RQ 165	La combustión es un cambio de estado (de sólido o líquido a gas)
RQ 166	La combustión de una vela es endotérmica ya que requiere de calor para iniciar

Meheut, Saltiel y Tiberghien (1985), por ejemplo, video graban y cuestionan a 400 estudiantes sobre la combustión, la evaporación y la fusión de diversos materiales, como alcohol, una vela o el hierro. Los experimentos que veían los alumnos fueron diseñados para intentar mostrar los productos de la combustión y el papel del oxígeno en el proceso. Los estudiantes explican que el agua producida es:

RQ 167	Puedes ver pequeñas gotas de agua porque la llama se calienta y el calor se va como vapor y después se convierte en agua
RQ 168	Vapor de agua... no hay nada de agua en el alcohol. No veo que hace el vapor de agua ahí

Finalmente Kind (2004) cita al trabajo de Schollum cuando explica que la llama esta hecha de partículas:

RQ 169	Pequeñeces que arden... bacteria muy pequeña... oxígeno del aire... partículas de hidrógeno del aire
--------	--

Los resultados generales de estas investigaciones muestran que las observaciones hechas por los alumnos los llevan a hacer interpretaciones muy alejadas de la RQ entre un combustible y el oxígeno. Parece importante documentar este conocimiento de esas interpretaciones del proceso de la combustión, ya que debe proveer una mejor línea base para la enseñanza de este tópico.

## 5.2 Conceptos químicos relacionados

El entramado epistemológico de conceptos en la matriz de la química es sumamente complejo, ya que unos son dependientes de los otros y viceversa. Una gran cantidad de definiciones de RQ involucra la inclusión de los conceptos de 'sustancia' y 'cambio químico y cambio físico'. Es por esto que a continuación se presentan en un primer apartado las CA del concepto sustancia, seguido por otro apartado que expone las CA de cambios físicos y cambios químicos, y dentro de este último, una presentación de algunas posturas de ciertos autores que exponen sus razones para diferenciar o no los cambios químicos y los cambios físicos.

### 5.2.1 Relación con el concepto de 'sustancia'

Schummer (2004) se pregunta si la química se encarga de estudiar cosas o procesos, es decir, estudia sustancias químicas o, más bien, RQ's: "*¿Es una RQ definida por el cambio de ciertas sustancias? O ¿Son las sustancias definidas por sus RQ's características?*" (p. 3. Llega a una conclusión de compromiso entre los dos extremos, cuando dice "*He argumentado hacia un enfoque integrador que combina conceptualmente sustancias y procesos en una red de relaciones dinámicas, de tal forma que sustancias y reactividades se definen mutuamente una a la otra, tanto en el nivel experimental como en el teórico.*" Así en este primer apartado se presentan las CA relacionadas con el concepto sustancia. Cabe

mencionar que para la designación alfanumérica de las CA dentro de los cuadros se utiliza la sigla S por sustancia seguida de un número asignado en orden ascendente conforme a su aparición en este documento.

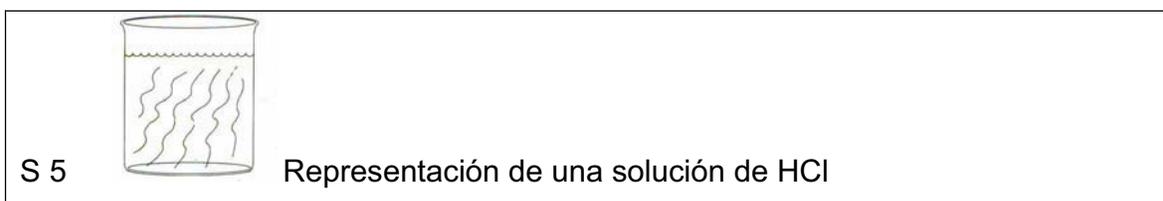
Johnson (2000) concluye que los niños no poseen naturalmente la identidad del concepto de sustancia que los lleve a reconocer el cambio químico como una posibilidad.

Azcona *et al.* (2004) reportan las siguientes explicaciones de los alumnos de segundo y primero de bachillerato:

- S 1 Una sustancia es toda materia, todo lo que es material, y esta compuesto por átomos
- S 2 [Una sustancia] Es toda materia de la que se puede medir su masa, volumen, ...
- S 3 [Una sustancia] Es una mezcla homogénea o heterogénea compuesta por elementos o compuestos
- S 4 [Una mezcla] son sustancias, el aire, el agua, el azufre, la sal fumante, el cobre, la leche, el bicarbonato sódico y el zumo de naranja. Todas menos la luz, las ondas porque no son materia

Nakhleh (1992) menciona que desafortunadamente estudiantes de diferentes edades parecen entender a la materia como hecha de un medio continuo que es estático y que tienen todos los espacios llenos. Novic y Nausbaum (1978, 1981) encuentran que más de la mitad de los estudiantes de preparatoria y universidad sostienen conceptos que implican las percepciones de la materia como un medio continuo, en lugar de una agregación de partículas. Nakhleh (1992) cita a Krajcik (1989) que reporta, al pedirles a estudiantes de noveno grado que dibujen cómo se vería el aire de un envase cerrado si lo pudieran ver con un lente muy poderoso de aumento, que 14 de 17 estudiantes tienen un modelo de representación continua de la materia.

Nakhleh (1991) entrevistó estudiantes de onceavo grado que se encontraban el último cuarto final del curso. Estos estudiantes habían completado recientemente una unidad de ácidos y bases. Un 20% de los estudiantes mantienen una visión de la materia simplista e indiferenciada y cuando se les cuestionó cómo se vería un ácido o una base en solución con un lente muy poderoso de aumento estos estudiantes dibujaron ondas, burbujas y parches brillosos.



Nakhleh (1992) cita cinco de las concepciones encontradas por Griffiths y Preston (1989) cuando entrevistan a estudiantes canadienses de 12 años para investigar su entendimiento de las moléculas y los átomos:

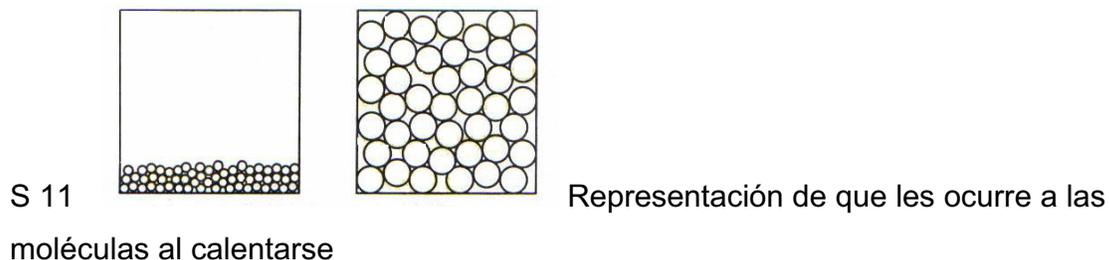
S 6 Las moléculas son mucho más grandes de lo que probablemente sean

S 7 Las moléculas de una misma sustancia varían en tamaño

S 8 Las moléculas de una misma sustancia pueden cambiar de forma en los diferentes estados de agregación

S 9 Las moléculas tienen diferente peso en los diferentes estados de agregación

S 10 Los átomos están vivos



En esta investigación hacen una división de grupos de estudio, siendo uno de ellos el 'académico científico' que sostiene las siguientes CA:

- S 12 Las moléculas de agua están compuesta de esferas sólidas
- S 13 La presión afecta la forma de una molécula
- S 14 Las moléculas se expanden cuando se calientan
- S 15 El tamaño de un átomo depende del número de portones que contiene
- S 16 Las colisiones entre átomos alteran los tamaños atómicos

De acuerdo con Chastrette y Franco (1991), los estudiantes de todos los niveles de enseñanza encuentran dificultades para apropiarse del modelo corpuscular de la materia y del concepto de átomo. Las representaciones que construyen los jóvenes alumnos se convierten así en obstáculos difíciles de sortear a través de una enseñanza tradicional.

Taber (2001b) expresa que la comprensión de la química involucra cambios que pueden ser vistos macroscópicamente en términos de modelos moleculares. Los estudiantes a menudo asumen que las moléculas tienen las mismas propiedades macroscópicas que las partículas (por ejemplo: olor, temperatura de fusión, etc.

Varios autores (De Vos y Verdonk, 1987; Chastrette y Franco, 1991) han encontrado que los alumnos no establecen una distinción entre las propiedades de las sustancias y las propiedades de las partículas. Esta cuestión ya había sido señalada por Selley (1978) como el error frecuente de confundir las sustancias con sus partículas moleculares. Ha sido recientemente mencionado por Azcona, Furió, Intxausti y Álvarez (2004) cómo la falta de comprensión del término 'sustancia' es una limitante trascendente para el entendimiento del concepto de RQ.

En la revista *Alambique* existe un número dedicado al cambio químico, en el que varios autores tocan el tema como uno central de la investigación en didáctica de la química. Martín del Pozo (1998), por ejemplo, aborda la construcción didáctica del concepto y apunta dos CA que resultan como verdaderos obstáculos del aprendizaje, tanto la 'sustancialización', que es "*el planteamiento del cambio químico como la transformación de las propiedades de las que son portadoras las*

*sustancias, sin admitir un cambio en su identidad*”; como ‘el mecanicismo’, “*que explica las propiedades de las sustancias en función de una traslación de esas mismas propiedades al nivel nanoscópico, de manera que el cambio químico resulta ser consecuencia del cambio de forma, tamaño o movimiento de los átomos*”. En el mismo número de la revista, Solsona e Izquierdo (1998) revelan las dificultades de los alumnos de secundaria en aprender la conservación de los elementos en una RQ mediante la realización de diversos experimentos de reacción.

Vogelezang (1987) menciona que la noción de ‘sustancia’ debe enseñarse antes de que el alumno aprenda sobre los átomos y las moléculas, porque es un concepto más cercano a las propias experiencias estudiantiles. Cuando los alumnos tienden a pensar en la materia como un continuo, el término ‘sustancia’ está más cerca de ‘esta cosa’ (*this stuff*) que los términos de partículas, como ‘átomo’ y ‘molécula’. Propone que se emplee la estrategia que plantean de Vos y Verdonk (1985a y b, 1986, 1987a y b) para que los estudiantes aprendan acerca de las reacciones, los átomos y las moléculas. Algunas de las CA identificadas por estos autores sobre sustancialización de las moléculas y átomos son las siguientes:

S 17 Hay moléculas frías y calientes

S 18 Un metal es un buen conductor porque cada átomo es un buen conductor

S 19 En los líquidos las moléculas son pequeñas en forma de pequeñas gotas

Ahtee y Varjola (1998) presentan un estudio en el que analizan las diferentes concepciones de estudiantes desde el 7° grado de enseñanza primaria hasta el primer año de química general universitaria, en relación con la RQ. Presentan a los alumnos una definición de RQ de un libro de texto y se pregunta a los estudiantes qué tipo de cuestiones indicaría que ocurrió una RQ. Los autores llegan a la conclusión de que la mayoría de los alumnos tienen conflicto con el término ‘sustancia’, en particular tienen problema en relacionar las observaciones hechas sobre el mundo real con los conceptos teóricos requeridos en las

explicaciones. Los alumnos confunden el término 'sustancia' con el término 'molécula'. Así, contestan cuestiones como las presentadas a continuación:

S 20 El estado de agregación y diferentes propiedades de una sustancia pueden cambiar como  $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

S 21 Las sustancias forman enlaces

S 22 Las sustancias cambian los electrones externos entre ellas. El óxido de hierro. Esto es oxidación, i.e. el hierro deja electrones

Los resultados contribuyen a la clarificación del porqué los profesores experimentan dificultades al instruir a los estudiantes la diferencia entre cambio químico y cambio físico.

En un estudio conducido por Galagovsky *et al.* (2003) los alumnos de preparatoria explican que:

S 23 Las partículas de una sustancia tienen el mismo color que la sustancia

S 24 No es posible hacer reaccionar el hierro y el azufre

S 25 Se puede otorgar propiedades macroscópicas a las partículas de nivel atómico o molecular

De acuerdo con Kind (2004), las diferencias entre elementos, compuestos y mezclas constituyen la base para entender el concepto de RQ. Sin embargo la diferenciación de estos tres conceptos puede ser compleja como lo muestran Azcona *et al.* (2004) que en su estudio reportan que más de la mitad de los estudiantes encuestados (55.1%) piensan que:

S 26 No hay diferencia entre sustancia y mezcla a escala macroscópica

### 5.2.2 Relación con los conceptos cambio físico y cambio químico

El funcionamiento efectivo del concepto reacción química puede resultar en una clara distinción entre el cambio físico y el químico, y de acuerdo con Stavridou y Solomonidou (1998), aunque hay fenómenos que pueden ser clasificados como los dos tipos de cambios, una distinción gruesa es importante para los estudiantes del nivel secundario. En muchas de las ocasiones, la RQ se define con base en la diferencia entre cambio químico y cambio físico. Para la designación alfanumérica de las CA dentro de los cuadros se utilizan la sigla las siglas CF y CQ para indicar cambio físico y cambio químico, seguida de un número asignado en orden ascendente conforme a su aparición en este documento.

Kind cita a Briggs y Holding (1986), quienes en las conclusiones del proyecto *Children Learning in Science*, informan que 23% de los alumnos consideran como condiciones visibles para establecer que ha sucedido un cambio químico a las siguientes:

- CF y CQ 1 Observar una fusión es suficiente para establecer que un cambio químico sucedió
- CF y CQ 2 Observar una disolución es suficiente para establecer que un cambio químico sucedió
- CF y CQ 3 La sustancia cambia de color, masa y estado, por lo tanto, parece ser obvio que ha tenido lugar un cambio químico

y también cita a Schollum (1981a y b) que informa sobre las confusiones que tienen los alumnos con el cambio químico y el cambio físico:

- CF y CQ 4 [el cambio físico] Cuando algo cambia su forma respecto de lo que era antes
- CF y CQ 5 [el cambio físico] Uno en el que una reacción no rompe los compuestos

CF y CQ 6 [el cambio físico] Cambio de propiedades... Puede fácilmente revertirse a su forma original

CF y CQ 7 [el cambio químico]... Cuando la forma molecular se cambia por hacer algo, por ejemplo al añadir o quitar agua

CF y CQ 8 [el cambio químico] Uno en el que los compuestos se rompen para formar nuevos compuestos

CF y CQ 9 [el cambio químico] Cambiar a una forma o estado diferente. No es fácil de revertir

Stavridou y Solomonidou (1998) les piden a sus estudiantes que clasifiquen como físicos o químicos 19 fenómenos cotidianos: una piedra cayendo, un vidrio rompiéndose, agua hirviendo, cera fundiéndose, agua congelándose, agua de colonia evaporándose, sal siendo adicionada a la sopa, azúcar siendo adicionada al té, cerveza haciendo espuma, un clavo corroyéndose, carne cocinándose en un horno, madera quemándose, una manzana madurando, hojas de árboles poniéndose amarillas, jugo de uva haciéndose vino, leche haciéndose agria, un vestido blanqueándose con cloro, jugo de limón actuando sobre mármol y un huevo hirviendo. El 47% de las categorizaciones de los estudiantes de 14 años, el 37% de los de 16 y el 19% de los de 18, son incorrectas; es decir que a un cambio químico lo catalogaron como físico o al revés.

BouJaoude (1991) encuentra con alumnos de octavo grados que:

CF y CQ 10 Frases como cambio físico o cambio químico pueden usarse alternativamente cuando se describe la combustión de cosas

Chastrette y Franco (1991) afirman que en los últimos años han sido llevadas a cabo varias investigaciones didácticas acerca de las representaciones sobre los fenómenos físicos y sus interpretaciones en relación con la naturaleza corpuscular de la materia y mencionan que los alumnos tienen:

CF y CQ 11 Una gran confusión entre las RQ's y las transformaciones físicas

Abraham, Williamson y Westbrook (1994) al preguntar si la combustión de una vela es un cambio químico o físico encuentran las siguientes explicaciones:

CF y CQ 12 La mecha, por otro lado, se ha oxidado o quemado, que es un cambio físico

CF y CQ 13 Es un cambio químico porque no está cambiando al sólido, está cambiando al estado gaseoso

CF y CQ 14 Químico. Porque ni la varilla ni la vela han cambiado físicamente, por lo tanto hay un cambio químico

CF y CQ 15 Físico: Estas quemando materia, no químicos. La película negra de la varilla es física: Residuo de la flama

CF y CQ 16 Físico. Porque la puedes ver físicamente

CF y CQ 17 Físico: Libera calor y luz. La película es humo de la flama

CF y CQ 18 Químico: Porque hay un sólo cambio de fase

CF y CQ 19 Físico. Porque es reversible

Ahtee y Varjola (1998) encontraron que cerca de un 85% de los estudiantes no hace una clara diferencia entre cambios físicos y químicos, por ejemplo la quinta parte de los niños y jóvenes de su estudio concluyen que:

CF y CQ 20 Una disolución o un cambio de estado pueden caracterizarse como cambios químicos

Ahtee y Varjola (1998), Chastrette y Franco (1991) y Johnson (2002) concluyen en sus estudios que sólo después que el concepto de átomo es introducido, se vuelve obvia la diferencia entre los cambios físicos y los químicos.

De acuerdo con Barker (1999), los estudiantes experimentan dificultades en reconocer cuándo ocurre una RQ.

CF y CQ 21 No se discrimina consistentemente entre un cambio de fase, que los químicos llaman un cambio físico

Tsaparlis (2003) utilizó los mismos 19 fenómenos que proponen Stavridou y Solomonidou (1998) para preguntar a 77 estudiantes del bachillerato y primer año universitario cuáles eran físicos y cuáles químicos. Encuentra que un buen número de los estudiantes (alrededor del 45%):

CF y CQ 22 Si se puede escribir con ecuaciones químicas, entonces es una RQ.

CF y CQ 23  $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) + \text{calor} \rightarrow \text{H}_2\text{O} (\text{g})$  que es la ecuación química para la evaporación del agua

Los alumnos asumen que algunos fenómenos físicos son RQ's dado que las escribimos como tales.

CF y CQ 24 No reconocen como fenómenos químicos algunos en los que sí indican que hay una RQ

Kind (2004) cita a Schollum (1981a y b) quien encuentra en Nueva Zelanda que más del 50% de los alumnos con 14 y 16 años consideran que:

CF y CQ 25 La dilución con agua de un jugo de fruta concentrado es un cambio químico

CF y CQ 26 La disolución del azúcar en agua es un cambio químico

#### 5.2.2.1 Cambio físico y cambio químico: ¿En pro o en contra de la distinción?

Borsese y Esteban (1998), hacen referencia a esto diciendo que siempre se podrá encontrar el ejemplo de un cambio químico que satisface enteramente la definición de cambio físico y viceversa, desembocando en una comprensión poco clara del concepto RQ. La revisión que hasta ahora se ha realizado evidencia que éstos a

su vez presentan una dificultad en su comprensión a nivel básico, al no presentar una diferencia clara entre uno y el otro, es por esto que se presentan a continuación algunos extractos de autores en donde hacen una defensa ya sea para conservar o para eliminar la diferencia entre cambio físicos y cambios químicos.

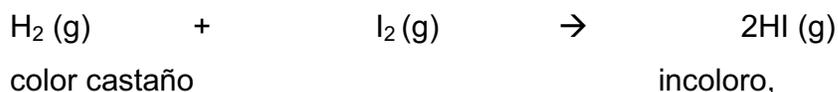
De acuerdo con Gensler (1970), la mayoría de los libros básicos de química, generalmente en las primeras páginas se presenta una pequeña discusión de cambio físico y químico. A menudo, ésta incluye una definición que dice algo como: *“Los cambios físicos son los que involucran un cambio de estado o de forma de la sustancia pero no producen una nueva sustancia; los cambios químicos son aquellos en los que resulta una nueva entidad”*. Sin embargo, la distinción para los estudiantes primerizos entre cambio químico y cambio físico no está garantizada ni es sabia, ya que para que sea útil, estas definiciones deben incluir conceptos nanoscópicos que, para su apreciación, requieren mucho más que un curso introductorio. Incluye en su discusión las reacciones en las que un elemento se transforma en otra forma alotrópica (diamante en grafito,  $P_4$  gaseoso en  $P_n$  polimérico negro), para las cuales hay quien dice que no se trata de RQ's, pues no se da un cambio de sustancia, tenemos al final al mismo elemento, pero para él sí es una RQ porque se afecta lo que siempre cambia en una reacción: los enlaces covalentes de las sustancias.

A este respecto, en el mismo año aparece en la misma revista la opinión de Strong (1970) como un defensor de la idea de diferenciar cambios físicos y químicos, ya que la RQ representa un cambio especial de la materia. De acuerdo con este autor para considerar a un cambio como químico se deben cumplir las siguientes cuatro características:

- La identidad de un producto está determinada por la identidad de los materiales iniciales;
- La mezcla de los materiales iniciales es esencial cuando más de un reactivo está involucrado;
- La discontinuidad entre las propiedades de los materiales iniciales y finales

- La invariancia de las propiedades del producto cuando se varía la temperatura, la presión y la composición inicial.

Lopes (1995) menciona que en algunos libros didácticos permanece una clasificación antigua, distinguiendo los fenómenos en reversibles (físicos) e irreversibles (químicos). Esto porque los fenómenos físicos son considerados 'superficiales', transformaciones ligeras, y los fenómenos químicos 'profundos', transformaciones más definitivas. Esta diferencia ha mostrados estar equivocada, porque la reversibilidad no es un criterio científico de diferenciación entre los dos fenómenos. Doblar una barra de hierro o rasgar una hoja de papel, por ejemplo, no implican la formación de nuevas sustancias pero tampoco son reversibles. Por otro lado la RQ:



tiene una reversibilidad que se observa fácilmente con una variación en la temperatura ya que es endotérmica.

Otra forma que muchos libros didácticos utilizan para distinguir fenómenos físicos y químicos son las variaciones macroscópicas de las sustancias. Aquí también podemos encontrar problemas. Una vaporización de agua y una disolución de azúcar en agua conllevan grandes diferencias macroscópicas.

Palmer y Treagust (1996) presentan cuatro hipótesis para explicar la longevidad de los conceptos 'cambio físico' y 'cambio químico' en los libros de texto de química:

- 1) Los conceptos son un recordatorio de la teoría aristoteliana de la materia, retenida debido a la naturaleza conservadora de los científicos.
- 2) La oposición de 'cambios físicos y químicos' en los libros de texto es una estratagema pedagógica, de manera que los estudiantes puedan aprender otros conceptos relacionados.

- 3) Los conceptos son a menudo ilustrados por un número de excitantes e interesantes experimentos, lo que satisface a aquellos profesores que se consideran orientados hacia la parte práctica de la ciencia.
- 4) Los conceptos son un instrumento utilizado por los químicos para definir la frontera entre la física y la química, buscando aventajar a la química, de tal forma que los jóvenes la escojan como asignatura, en lugar de la física.

Por otra parte, en la construcción del concepto del cambio químico radicaría en la posibilidad de conectar el mundo de los fenómenos con la explicación química de por qué ocurren (Solsona e Izquierdo, 1997).

Garriz (1997) analiza la dificultad de diferenciar un cambio químico y uno físico y para comenzar su argumentación cita a Glasstone (1946) quien indica: “[Con el propósito de su estudio, se ha encontrado conveniente] *dividir los fenómenos naturales en dos clases: una consiste de cambios [de naturaleza aparentemente permanente], que involucran la transformación de una forma de materia en otra (química), y otros son cambios [temporales, generalmente] resultantes de la alteración de condiciones externas (física)*”; y a Linus Pauling (1947), quien define como propiedades químicas de las sustancias a “*aquellas que se refieren a su comportamiento en las RQ’s*” y a éstas como “*los procesos por los cuales unas sustancias se transforman en otras*”. Así, todo estaría posiblemente claro si pudiéramos en forma nítida caracterizar lo que significa “*la transformación de una forma de materia en otra*”. ¿Cómo podemos asegurar que “*unas sustancias se transforman en otras?*”

Además, se insiste en que la energía involucrada en éstos es notablemente mayor que la de los cambios físicos y que éstos pueden simplemente echarse marcha atrás por la alteración de las condiciones externas y los químicos no, en forma general.

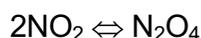
Garriz (1997) presenta algunos ejemplos en donde se ve que la definición proporcionada no permite una clara y buena clasificación:

- Los cambios de estado de agregación: fenómenos físicos.  
Como ejemplo: la ebullición. Ello implica que el vapor de agua y el agua líquida no deben considerarse como formas diferentes de materia, a pesar del enorme cambio que presentan sus propiedades físicas. y que la cantidad de energía involucrada en la ebullición es de 40.66 kJ/mol.
- La transformación alotrópica del tipo grafito-diamante: un cambio químico.  
Se pueden realizar las RQ's con las dos formas y ambas están compuestas únicamente por átomos de carbono, así son dos formas diferentes de la misma materia como es el caso del agua. Quizá la razón para calificar al grafito-diamante como cambio químico sea la ruptura y posterior formación de poderosos enlaces covalentes, como sucede en cualquier otro cambio químico ordinario (no sucede en los cambios de fase), además, del re-arreglo en el que todos los átomos de carbono cuentan con cuatro vecinos cercanos enlazados pasan a otro en el que sólo tienen tres. Sin embargo, la energía involucrada en esta transformación es de sólo 1.9 kJ/mol, es decir, veinte veces menor que la necesaria para ebullicir un mol de agua.
- El proceso de cocimiento de un huevo: ¿proceso físico o químico?  
Desde el punto de vista observacional la transformación sería: un claro cambio químico la desnaturalización de la proteína de la clara y la yema del huevo. No obstante, posiblemente el fenómeno básico que ocurre aquí es la ruptura de diversos enlaces de puente de hidrógeno, hecho que provoca el desmadejamiento de las hélices proteicas y su consecuente pérdida de estructura secundaria y terciaria. Por lo que a fin de cuentas, el suceso es similar al que ocurre en la ebullición del agua ¿por qué calificar a este último como proceso físico?
- Una transformación isomérica: ¿Podría decirse que el proceso de desnaturalización mencionado en (c) es equivalente?  
Existen los mismos átomos antes y después del proceso, enlazados por los mismos enlaces covalentes, pero la configuración espacial molecular es diferente. Tradicionalmente se toma como un fenómeno químico. Sin embargo, en ocasiones, la energía involucrada en la transformación isomérica

es tan baja que ambas especies se encuentran en equilibrio a temperaturas ordinarias, como si se tratara de dos confórmeros —etano eclipsado y alternado— cuya transición ocurre debido a rotaciones o a vibraciones cuyas barreras energéticas son vencidas térmicamente. Y nunca nos atreveríamos a calificar como una RQ a una transformación entre confórmeros ¿o sí?

- La reversibilidad: ¿Característica de los fenómenos físicos?

En multitud de RQ's 'verdaderas' la reversibilidad es evidente y se manifiesta a la menor alteración de las condiciones externas, como sucede en los fenómenos físicos. Por ejemplo, el equilibrio gaseoso



puede desplazarse hacia el lado izquierdo al disminuir la presión o la temperatura, de acuerdo con el Principio de Le Châtelier. La evidencia de dicha reacción inversa es notable por la desaparición del color característico del  $\text{NO}_2$ . Si nos ceñimos a que todo lo reversible es un fenómeno físico, este sería también uno de ellos.

Concluye Garritz que *“siempre se falla en el intento de definir un universo de estudio de la física perfectamente ajeno al de la química. No existe una frontera claramente definida entra ambas, lo que afortunadamente habla acerca de la unidad de la ciencia.”*

Athee y Varjola (1998) Mencionan que no es fácil diferenciar entre un cambio físico y un cambio químico sólo por la observación de las características externas; mencionan que sólo después de que el término átomo es introducido, la diferencia entre cambio físico y cambio químico es obvia.

En la Tabla 2 se puede ver que diferentes fenómenos presentan varios cambios observables que ocurren en la combustión de la madera. Esto se complica más porque no todos estos cambios ocurren en todas las reacciones químicas.

<b>Quemar madera</b>	<b>Disolver sal en agua</b>	<b>Derretir hielo</b>	<b>Hierro incandescente</b>
Cambio de forma	Cambio de forma	Cambio de forma	
Cambio de color	Cambio de color		Cambio de color
Se requiere calor		Se requiere calor	Se requiere calor
Cambio de estado	Cambio de estado	Cambio de estado	
Algo desaparece	Algo desaparece		
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$	$H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$	$Fe(s) \rightarrow Fe(s)$

**Tabla 2. Comparación de un cambio químico (combustión), con tres diferentes cambios físicos (disolución, derretimiento e incandescencia). Athee y Varjola (1998)**

Borsese y Esteban (1998) hacen una revisión de las ideas que sobre los 'cambios de la materia' tienen los docentes, autores de textos de enseñanza e investigadores en didáctica de las ciencias. Tras analizar todas estas ideas llegan a la conclusión de que no se pueden establecer unos límites nítidos entre los cambios físicos y los cambios químicos, por lo que hacer esa distinción en el aula no es una ayuda pedagógica ni tampoco significativa desde el punto de vista científico. Mencionan que es bastante común señalar la reversibilidad como característica básica de los cambios físicos, mientras que la de los cambios químicos sería la irreversibilidad. Sin embargo, hay muchos cambios clasificados como químicos que también son reversibles y en los que también puede desplazarse el equilibrio actuando sobre la temperatura. En su estudio mencionan que 28 de 29 profesores consideran que existe una diferencia sustancial entre cambio químico y físico. Casi todos piensan que, aunque tal vez no sea demasiado importante profundizar en la distinción entre cambio físico y químico, pueda servir de ayuda para que alumnas y alumnos entiendan mejor otros conceptos, relativos sobre todo a la RQ. No obstante, algunos consideran que matizar demasiado esta distinción puede causar, incluso, cierta confusión, sobre todo entre los alumnos y alumnas de niveles inferiores.

Brosnan (1999) argumenta que el problema de la distinción entre cambio físico y cambio químico radica en que cuando se dice 'una nueva sustancia es formada' a veces se refiere a macromoléculas (yoduro de plomo) pero otras veces a nanopartículas (moléculas, átomos, iones, etc.) Así la distinción sólo es útil si ya se comprende la química, y si ya se comprende ésta, no hay necesidad de usar estos términos para entender lo que ocurre. Por último argumenta que hay muchos casos en que ambos términos pueden ser utilizadas para describir el mismo cambio. Así concluye que no es útil esta diferencia.

Taber (2002a) nos dice que cambio físico y cambio químico no son categorías que existan obviamente en la naturaleza. *“Son los químicos quienes encuentran útil imponer estas categorías artificiales para caracterizar al amplio tipo de cambios que pueden ocurrir a y entre las sustancias. Cabe mencionar que aunque sólo se espera que sirvan para juzgar ejemplos con respuestas claras, algunos de los cambios con los que se van a encontrar los alumnos no cazan fácilmente con una u otra categoría”*.

Korolija, Jovic, Steljic y Mandic (2005) dan una aproximación diferente para comprender el cambio físico y el cambio químico, en el que les piden a los estudiantes que elijan la sustancia que quieran y que propongan los cambios que le pueden hacer a esta. Todos los estudiantes pudieron identificar exitosamente dos propiedades de la sustancia elegida, en la mayoría de los casos el color, el olor, el sabor, estado de agregación, que son propiedades físicas. Encuentran que sus criterios para identificación son:

- Formación (o la no-formación) de nuevas sustancias
- El fácil retorno a las sustancias iniciales después de la eliminación de las condiciones que causaron el cambio.

Los estudiantes contestaron correctamente al 67-89% de los casos que, de acuerdo al autor, muestra que los estudiantes comprendieron exitosamente las diferencias de las características entre los cambios físico y los químicos

Casi todos los investigadores consideran también que las principales dificultades en entender este concepto radican en que los alumnos y alumnas no son capaces de transferir el sentido de cambio químico de un nivel macroscópico al nanoscópico, y esto ocurre, a su vez, porque tienen problemas en comprender la naturaleza corpuscular de la materia. Y no la comprenden porque no aceptan aquello que no perciben (Pozo *et al.*, 1991; Driver, 1985). Además no captan claramente el concepto de masa. Así concluimos que no es recomendable hacer esta diferencia en niveles básicos de la enseñanza de la química y en niveles superiores ya no es necesaria.

En este capítulo se ha presentado cada una de las CA recabadas con un extracto de su fuente para su contextualización. Se colocaron en el mismo recuadro las CA que se obtuvieron del mismo artículo. Los resultados de presentaron inmersos en las categorías de análisis, y en el siguiente capítulo se presenta una análisis de cada grupo, categoría y subcategoría.

# Análisis de resultados



Salvador (Quino), 1993

## 6. Análisis de resultados

En este apartado se presenta el análisis de las CA enunciadas en el capítulo de resultados. Primero se presenta el número total y se desglosa en el conteo obtenido para los grupos RQ, sustancia y cambio físico y cambio químico, de los cuales también se hace un análisis de la proporción de CA en cada uno.

Se consideró importante incluir algunas precisiones necesarias para las CA, como características generales o clarificación de contextos, que permiten una mejor comprensión de las mismas en este análisis.

El análisis se presenta por grupos, partiendo de lo general (RQ, sustancia y cambio físico y cambio químico), hacia lo particular (categorías y subcategorías). En cada grupo se hace una presentación de este y se describe el contenido de esa sección.

Dentro de cada grupo, en cada categoría se describen también las subcategorías elegidas para su análisis y la proporción encontrada para cada una, haciendo con esto énfasis en el tipo de explicaciones más recurrentes por parte de los estudiantes. Para apoyar la clarificación del análisis, se presentan algunos ejemplos en los que se explicitan los rasgos principales y las características importantes de cada grupo.

Es fundamental explicar que para las subcategorías, dentro de las categorías y dentro de cada grupo, se revisaron cuidadosamente el compendio de CA dentro de cada categoría. Se realizó un análisis cuidadoso de cual podría ser una subcategoría que fuese de ayuda para su consulta y comprensión, esto llevo a consultar las subcategorías que proponen algunos autores como Garnett, Garnett y Hackling (1995), Kind (2004) y Balocchi *et al.* (2005) y se resolvió crear una propia centrada en estas propuestas. Básicamente expresan, dentro de cada

categoría, los siguientes puntos: ¿qué son?, ¿para que sirven?, ¿cómo funcionan?, algunas características específicas, y en un grupo adicional llamado 'otros', el resto de ellas. Cabe mencionar que la subcategoría recibe su nombre del contexto específico, así por ejemplo en la categoría "conservación de la masa" para explicar cómo funcionan se encontraron dos importantes "explican que sucede con la masa en relación con el peso de los sólidos, líquidos y gases" y "explican porqué cambia o no el peso del sistema". También se ha de destacar que para cada categoría se elaboraron cuantas subcategorías fueron necesarias para clarificar y puntualizar el problema conceptual, de tal forma que hay un número diferente de subcategorías para cada caso.

Posteriormente se presenta una breve descripción de algunas de la categorías presentadas por diversos autores, y se muestra el análisis que se obtiene con una selección de dos de ellas.

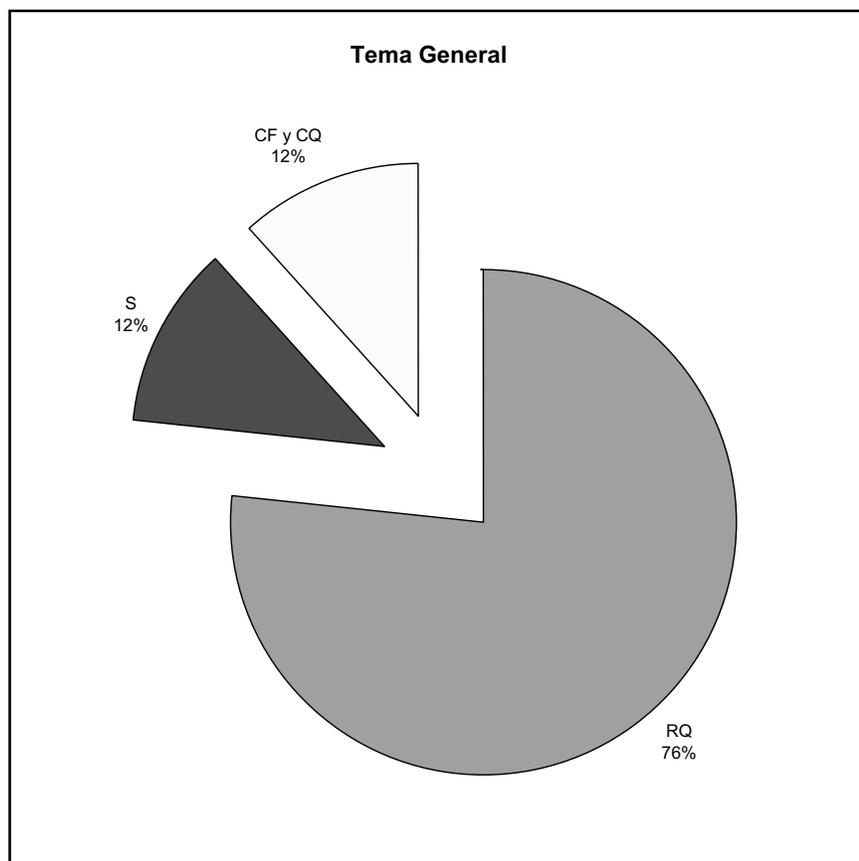
Finalmente, el cierre del capítulo, se realiza con una integración de la información más relevante generada en este análisis y se resaltan la importancia y beneficios de esta clasificación.

### **6.1 Análisis por categorías**

Se encontraron 221 concepciones alternativas (CA) en torno a la reacción química (RQ), 169 de ellas relacionadas directamente a ella, 26 de sustancia y 26 de cambio físico y cambio químico, representadas en porcentajes en la Gráfica 1.

Las CA reportadas, en general, fueron obtenidas mediante el cuestionamiento de un problema específico, por ejemplo Yarroch (1985) les pide dibujar una representación de la ecuación  $N_2 + 3 H_2 \Rightarrow 2 NH_3$ , por lo tanto las explicaciones presentadas están referidas al problema planteado. Aún así se pueden observar ciertos patrones: Yarroch encuentra que los estudiantes representan al  $3H_2$  como

seis círculos unidos por los lados ( OOOOOO ) y Ben-Zvi, Nylon y Silberstein (1987) encuentran que sus estudiantes *RQ 94* *Representan al Cl<sub>2</sub>O con dos fragmentos: uno 'Cl<sub>2</sub>' y el otro 'O'*. Esto parece indicar que los estudiantes no comprenden la representación una molécula o de un átomo.



**Gráfica 1. Concepciones alternativas por temas generales**

Se pudo apreciar que en las CA encontradas, rara vez se presentan explicaciones de los alumnos de conceptos relacionados a la RQ (sustancia, partículas, átomo, elemento, entre otros), aunque los utilizan para la construcción de otros conceptos, por ejemplo en las siguientes CA:

*RQ 14 Las reacciones químicas ocurren para que los átomos puedan obtener la última capa del octeto/ un octeto de electrones*

*RQ 34 Cuando dos diferentes sustancias interactúan para formar una tercera sustancia, lo representamos como la unión de diferentes clases de partículas.*

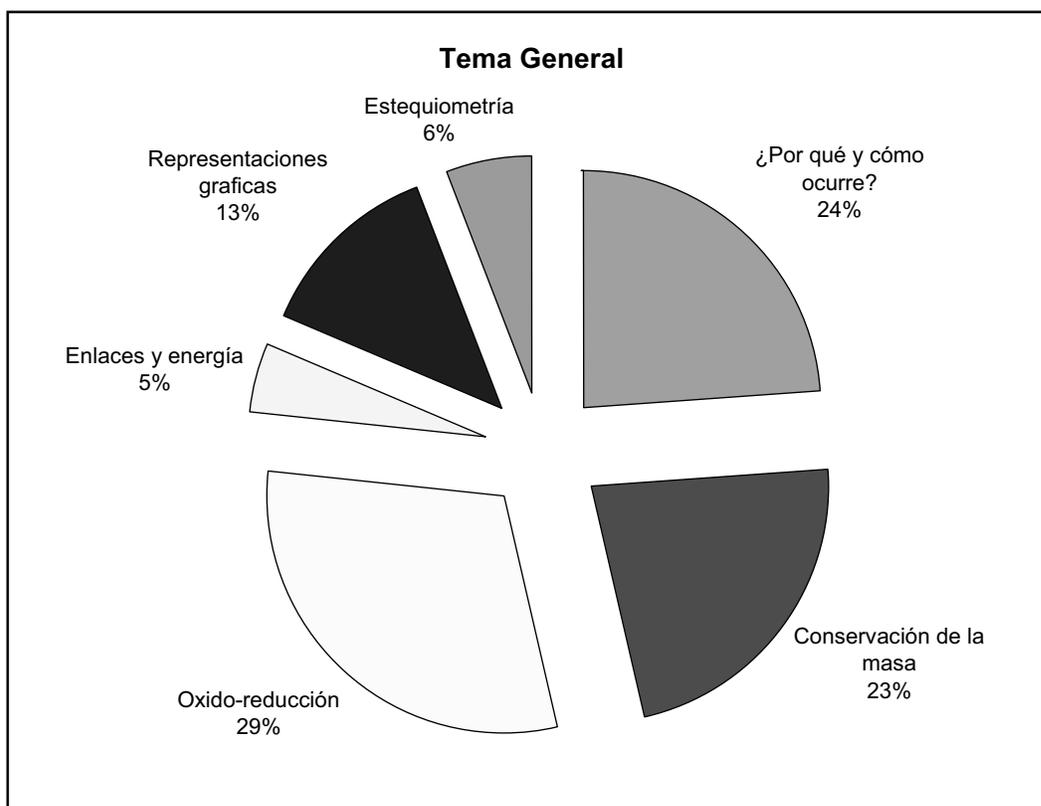
En el conjunto de CA se presentan algunas que en principio parecieran decir lo mismo, pero realmente no podemos asegurarlo ni inferirlo, por ejemplo, en conservación de la masa en la *RQ 59 La masa cambia porque los gases pesan menos que el sólido*, detectada por Barker (1999); y en la *RQ 68 Un precipitado es más pesado que un gas*, reportada por Özmen y Ayas (2003). En este caso no podemos asegurar que el estudiante al hablar de un 'precipitado' necesariamente se refiere a un 'sólido', por esto se presentan todas las CA.

Como ya se mencionó se presentan dos grupos de información, el primero contiene las CA que surgen directamente de investigaciones y compendios que tienen como uno de sus objetivos principales el concepto RQ y el segundo son conceptos relacionados con la RQ, que son sustancia, cambio físico y cambio químico.

### 6.1.1 La Reacción química

Dentro de 'RQ' se presentan seis temas en los que se agrupan los resultados: Por qué y cómo ocurre, reconocimiento de una RQ, conservación de la masa, oxidación – reducción, enlaces y energía; estequiometría y las representaciones de RQ's. En la Gráfica 2 se presenta la incidencia de cada una de ellos.

Lo primero que se puede observar es que los grupos más grandes son: oxidación-reducción (26%), seguido por ¿por qué y cómo ocurren? (25%) y conservación de la masa (25%). Después en porcentajes más bajos siguen: las representaciones gráficas de RQ's (13%), estequiometría (6%) y después el grupo de enlaces y energía (5%).



Gráfica 2. Concepciones alternativas de RQ catalogadas por temas de análisis

#### 6.1.1.1 ¿Por qué y cómo ocurre?

En este grupo se observa que dieciséis de las cuarenta y una CA explican qué es una RQ, por ejemplo: RQ 1 *Una reacción química es una simple mezcla de materiales* o RQ 27 *Un fenómeno es una reacción química cuando hay dos productos en el estado inicial. (Una reacción siempre empieza con dos sustancias).*

El 29% de las CA se refieren al porqué ocurre: RQ 16 *Debe ser aquella historia de 'semejante atrae a semejante'. Cuando alguna cosa es igual*

*ellas tienden a reaccionar o RQ 19*                      *Una RQ ocurre debido a un agente causal —e. g. calor administrado, reactividad de una sustancia, diferente reactividad entre dos o más sustancias, o disolvente. El 10% expresa cuál es la evidencia de que ha ocurrido una RQ: RQ 36*                      *El vapor es resultado de una RQ y otro 10% explica cuál es la influencia de un agente externo: RQ 22*

*Las RQ's son propiciadas por agentes externos [e. g. calor]. El 14% de las CA están agrupadas en 'otros'.*

#### 6.1.1.2 Conservación de la masa

Esta categoría agrupa al 25% de las concepciones con respecto a la RQ. Se encontraron una gran cantidad de estudios en este subtema. Dieciséis de las CA explican que sucede con la masa en relación con el peso de los sólidos, líquidos y gases. En general se tiene la creencia de que los sólidos son más pesados que los líquidos y estos a su vez más pesados que los gases: *RQ 44*                      *Un precipitado se ha formado, éste pesa más que los líquidos, los que disminuyen el peso. Siete de las CA aluden a la formación o disminución de sustancias en el sistema reaccionante: RQ 71*                      *En un sistema cerrado, después de la reacción se producen nuevas sustancias por lo que el peso del sistema aumenta. La disolución de sustancias al ocurrir una RQ parece ser una explicación (siete CA) del porqué cambia o no el peso del sistema: RQ 58*                      *La masa cambia porque el fósforo se disuelve. Tres de las CA explican con 'decretos' con un 22% son una forma recurrente de explicación: RQ 66*                      *Cuando ocurre una reacción de combustión en un sistema cerrado la masa total decrece. Finalmente, del grupo 'otros' que contiene a siete CA hay tres explicaciones que merecen la pena enunciarse: RQ 54*                      *La masa cambia porque se han formado nuevos enlaces y RQ 57*                      *La energía se pierde o absorbe, por lo que la masa cambia, ya que estas últimas involucran a la energía y los enlaces como causantes del cambio de masa.*

### 6.1.1.3 Enlaces y energía

El 33% de las CA en este grupo están relacionadas a los enlaces que son entendidos por algunos estudiantes como son almacenes de energía (RQ 86) y que su rompimiento es exotérmico (RQ 81) y lo opuesto con la formación del enlace.

El 67% restante corresponde a la energía que puede estar almacenada RQ 87 *La energía que forma la gasolina no es realmente energía sino hasta que ésta se libera, creada (RQ 84) o utilizada (RQ 85) en las RQ's. Y algunos alumnos expresan que RQ 88 La energía es un reactivo que hay que añadir a la reacción.*

### 6.1.1.4 Estequiometría

Hay sólo diez CA agrupadas aquí en las que los estudiantes explican lo que puede y no formarse a partir de los reactivos (4 CA), con base, en general, a que si no está en los reactivos como se presenta en los productos no es posible llevar a cabo la reacción (RQ 97 *En una reacción entre  $N_2$  y  $O_2$  no puede formarse  $N_2O_5$  porque sólo hay  $N_2$  y  $O_2$  ¿De dónde sale el oxígeno adicional?*) o donde se puede ver que no comprenden los coeficientes y los subíndices: (RQ 91 *Los coeficientes en las ecuaciones son números utilizados para balancear mecánicamente las ecuaciones y no representan el número relativo de especies que reaccionan o son producidas en las reacciones químicas*).

### 6.1.1.5 Representaciones gráficas

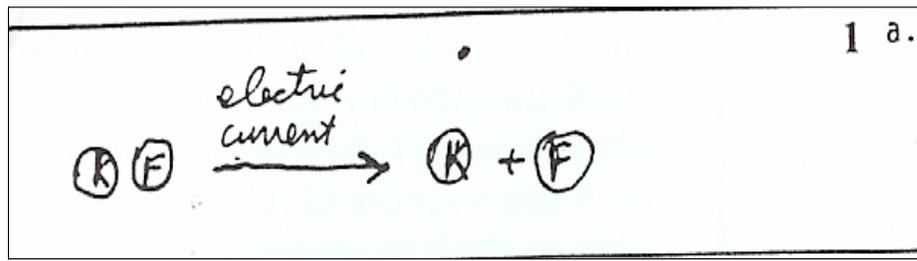
En cuanto a las veinte representaciones gráficas encontramos ocho de ellas se refieren a las representaciones de las sustancias. En general ocurre que no representan adecuadamente ni a los átomos ni a las moléculas por ejemplo en la:

RQ 94 Representan al  $\text{Cl}_2\text{O}$  con dos fragmentos: uno ' $\text{Cl}_2$ ' y el otro ' $\text{O}$ ' y también se puede apreciar en el siguiente dibujo:



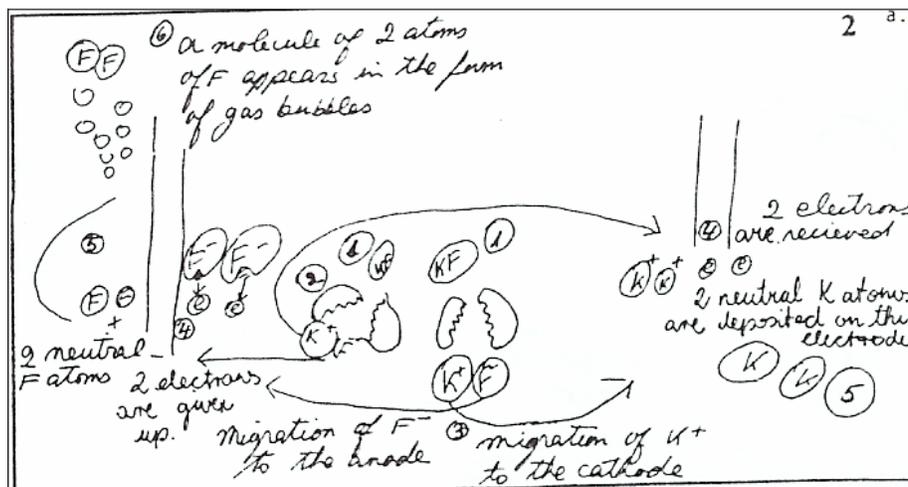
RQ 114

Seis CA están relacionadas con representaciones estáticas de la RQ, a manera de ejemplo se presenta la siguiente

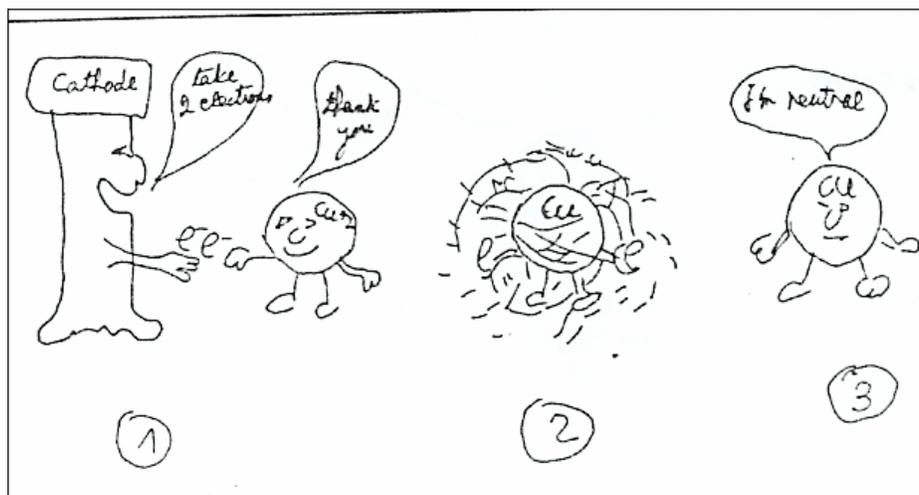


RQ 101

Y por último el grupo que reúne a las representaciones dinámicas de la RQ con cuatro representaciones, en las que los alumnos explican el proceso que se lleva a cabo durante una RQ, por ejemplo en la RQ 106



o en la RQ 107



De acuerdo con Galagovsky (2003), numerosos estudios (Ben Zvi, Nylon y Silberteín, 1982; Yaroch, 1985; entre otros) indican que los estudiantes de química de nivel secundario no asocian las formulas químicas con una apropiada representación de nivel particulado, muestran dificultad en relacionar el subíndice de las formulas químicas con el número apropiado de átomos en dibujos que representaban las partículas o cuando se les pedía que las dibujaran.

#### 6.1.1.6 Óxido-reducción

Este subtema también tiene un porcentaje del 29% en las CA y se acentúan de manera considerable las explicaciones que involucran menciones de un experimento o sistema reaccionante en particular, por ejemplo en la siguiente concepción alternativa explica la oxidación del cobre: RQ 125 *Calentar el cobre con el mechero logra que se queme la capa exterior del cobre, la cual se pone negra. El cobre pesa menos después de eliminar la cubierta, porque parte del cobre se ha ido con el óxido*

Primeramente se presentan las generalidades de las reacciones de oxido reducción (31%), después se presentan las documentadas para el caso de la

combustión (31%) y por último se presenta el caso de la combustión de una vela (38%).

De las dieciséis CA de las generalidades de óxido-reducción el 62% se refieren a ¿qué ocurre? Algunas de las concepciones agrupadas en éste porcentaje son: RQ 120 *La capa sólo se materializa, ya sea del aire en el caso del clavo o del agua en el caso de cobre y la RQ 133 El óxido es formado cuando al hierro esta en contacto con gotas de agua.* El 12% habla del papel de oxígeno: RQ 118 *El oxígeno no se considera como un reactante importante en la reacción de oxidación de la lana de hierro que se calienta, debido a su naturaleza «invisible»* y el 25% agrupa al resto de las concepciones en ‘otros’.

En cuanto a las dieciséis CA de la combustión algunas (4) explican ¿qué le ocurre a las sustancias? Por ejemplo, en las concepciones referidas por Andersson (1990), que explican que RQ 136 *La gasolina que se quema en un motor desaparece, convirtiéndose sólo una pequeña porción en los gases del escape,* o también que RQ 137 *La madera quemada se transmuta en carbón, ceniza y energía.* Siete explican que los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí (RQ 139 *La cera, el alcohol y el oxígeno no están activamente involucrados en la combustión,* RQ 162 *Los colores de la llama durante la combustión estaban presentes en la madera*). Dos de las concepciones explican qué es la combustión (RQ 165 *La combustión es un cambio de estado (de sólido o líquido a gas)*) y las tres restantes están agrupadas en ‘otros (combustión)’.

La combustión de una vela es un tema ampliamente estudiado y además es un tema altamente complejo para la comprensión de los estudiantes que apenas se inician en la química, ya que ocurren dos cambios de estado en la cera para que ocurra la RQ, por esto es de esperarse la gran cantidad (veinte) de CA encontradas. La procedencia del agua la explican cinco CA, una de ellas que además transforma la energía en materia es la siguiente: RQ 167 *Puedes ver pequeñas gotas de agua porque la llama se calienta y el calor se va como vapor y*

*después se convierte en agua.* En cuanto a la cera explican que ésta o permanece en la misma cantidad o decrece la masa por efecto de evaporación de la misma, y particularmente le atribuyen la función de soporte: *RQ 149 La cera funciona como el soporte del pabilo que, al derretirse lentamente, tiene como función el control de la velocidad de quemado del pabilo.* Dos explican qué es la combustión de una vela (*RQ 153 La combustión de una vela es un proceso de evaporación*) y dos más especificaban que ciertos reactivos no participan en la reacción (*RQ 155 El oxígeno no participa en el proceso de producción del agua en la combustión de una vela*). Y por último siete CA se agruparon en ‘otros’.

En general podemos afirmar que una vez más las respuestas tienden a especificar que las sustancias iniciales no intervienen en la RQ y que los productos generados ya se encontraban de alguna forma (atrapados en la creca, en el aire, etc.) antes de la reacción.

### 6.1.2 Conceptos químicos relacionados

Dentro de este grupo se presentan dos temas en los que se agrupan los resultados: sustancias y cambio físico y cambio químico.

#### 6.1.2.1 Sustancia

Hay veintiséis concepciones agrupadas en este tema, tres de ellas explican qué es una sustancia (*S 1 Una sustancia es toda materia, todo lo que es material, y esta compuesto por átomos*), dos se refieren a mezclas (*S 4 [Una mezcla] son sustancias, el aire, el agua, el azufre, la sal fumante, el cobre, la leche, el bicarbonato sódico y el zumo de naranja. Todas menos la luz, las ondas porque no son materia*), diez de ellas hablan de la sustancialización (*S 19 En los líquidos las moléculas son pequeñas en forma de pequeñas gotas*), y las once restantes son CA que se encontraron en investigaciones en torno al tema sustancia o RQ, pero que realmente hablan de átomos y moléculas (*S 8 Las moléculas de una*

*misma sustancia pueden cambiar de forma en los diferentes estados de agregación)*

#### 6.1.2.2 Cambio físico y cambio químico

Catorce de las concepciones expresan alguna concepción alternativa en cuanto a que es un cambio químico (*CF y CQ 3 La sustancia cambia de color, masa y estado, por lo tanto, parece ser obvio que ha tenido lugar un cambio químico*), ocho lo que es un cambio físico (*CF y CQ 16 Físico. Porque la puedes ver físicamente*) y tres expresan la confusión entre los cambios (*CF y CQ 10 Frases como cambio físico o cambio químico pueden usarse alternativamente cuando se describe la combustión de cosas*).

En cuanto a las diferentes posturas de la hacer la distinción entre cambios químicos y cambios físicos, a favor se encuentran dos autores (Strong ,1970 y Koroloja *et al.*, 2005) y en contra seis (Gensler ,1970; Garritz, 1997; Athee y Varjola, 1998; Borsese y Esteban, 1998 y Brosnan, 1999). Mientras que tres autores no expresan su postura abiertamente (Lopes, 1995; Palmer y Treagust, 1996 y Taber 2002a).

En general se puede apreciar que los autores mencionan que la comprensión de esta diferencia requiere elementos y conceptos que no se ven en los primeros cursos, que es cuando algunos autores argumentan que la distinción es favorable para los alumnos, por lo que parece confundir más a los alumnos al no estar clara la frontera entre los cambios sólo con los elementos macroscópicos. E incluso con elementos más avanzados como son el nivel nanoscópico y la energía involucrada se siguen encontrando ejemplos (Gensler, 1970; Lopes, 1995; Garritz, 1997; Athee y Varjola, 1998) que pueden caracterizarse erróneamente.

Vale la pena mencionar a que los autores que están a favor de la distinción, en general, están de acuerdo en que hay casos que nos serán fácilmente clasificados, pero argumentan que es una herramienta de gran utilidad, con casos controlados y escogidos previamente, para que los estudiantes primerizos comprendan que es una RQ.

Casi todos los investigadores consideran también que las principales dificultades en entender este concepto radica en que los alumnos y alumnas no son capaces de transferir el sentido de cambio químico de un nivel macroscópico al nanoscópico, y esto ocurre, a su vez, porque tienen problemas en comprender la naturaleza corpuscular de la materia. Y no la comprenden porque no aceptan aquello que no perciben (Pozo *et al.*, 1991; Driver, 1985). Además no captan claramente el concepto de masa. Así concluimos que no es recomendable hacer esta diferencia en niveles básicos de la enseñanza de la química y en niveles superiores ya no es necesaria.

## 6.2 Otros análisis

Se revisaron varias propuestas de categorización, entre ellas se resaltan las siguientes: Andersson (1990), quien presenta su estudio con CA de la materia y sus transformaciones y presenta cinco categorías (desaparición, desplazamiento, modificación, transmutación e interacción química) que se basan en las interacciones, que los alumnos explican que tienen las sustancias en una RQ; Johnstone (1990; 1997), concibe diferentes categorías (macroscópico, nanoscópico y simbólico) basadas en la terna de formas de representarla los conceptos científicos; Nakhleh (1992), realiza su presentación de CA por conceptos fundamentales: naturaleza corpuscular de la materia y aspectos cinéticos de los modelos corpusculares de la materia; Garnett, Garnett y Hackling (1995) elabora su presentación de CA por temas: la naturaleza corpuscular de la materia, enlace covalente, fuerzas moleculares e intermoleculares, ecuaciones

químicas, equilibrio químico, ácidos y bases, oxidación y reducción y por último electroquímica; Solsona, Izquierdo y De Jong (2003), que presentan cuatro perfiles conceptuales basados en los diferentes niveles de comprensión de los estudiantes y los denomina: interactivo, mecano, cocina e incoherente; Kind (2004) presenta una recopilación de CA y lo hace en base a temas: estados de la materia, naturaleza corpuscular de la materia, cambio de estado, diferencia entre elementos, compuestos y mezclas, procesos químicos (RQ), y procesos químicos específicos (RQ en sistemas abiertos, RQ en sistemas cerrados), ácidos, bases y neutralización, estequiometría, enlace químico, termodinámica y equilibrio químico; y por último Balocchi *et al.* (2005) incluyen una revisión de varios artículos y libros que reúnen las CA de los alumnos alrededor de varios temas de química y organizan las CA en los siguientes grupos: general, estequiometría, materia como continua, materia como corpuscular, sustancia, mezcla, cambios de estado, conservación de la masa y cambios físicos y químicos.

Cada una de estas formas de agrupar las concepciones alternativas proponen hacerlo con base en diferentes aspectos: Solsona, Izquierdo y De Jong (2003) en los diferentes niveles de comprensión de los estudiantes, Johnstone (1990; 1997) en la terna de formas de representar los conceptos científicos. Por su parte los siguientes autores lo hacen en base a conceptos químicos, temas y subtemas de éstos: Balocchi *et al.* (2005), Kind (2004), Garnett, Garnett y Hackling (1995), y Nakhleh (1992), quien lo hace por conceptos fundamentales de la naturaleza corpuscular de la materia; y por último Andersson (1990) se basa en las interacciones que tienen las sustancias en una RQ.

Este meta-análisis se realiza con respecto a temas y subtemas químicos derivados del concepto RQ, presentando un aporte importante e inspirado en cuatro de las investigaciones mencionadas.

Por su parte las categorías que proponen Solsona, Izquierdo y De Jong (2003) y Johnstone (1990; 1997) proponen una base diferente para su análisis, por lo que

se consideró adecuado presentar las CA recabadas en este documento con estas categorías, para presentar un enfoque diferente y así aportar resultados que puedan ser útiles en la elaboración de una estrategia didáctica.

A continuación presentamos resultados cuantitativos del análisis con estas dos categorizaciones, acompañadas de ejemplos de CA para cada categoría.

### **6.2.1 Análisis con representaciones (Johnstone)**

Johnstone (1990; 1997) plantea un análisis en base a que la dificultad del aprendizaje de las ciencias puede deberse a la naturaleza de los conceptos científicos y la terna de formas de representarla: macroscópico, nanoscópico y simbólico. En este sentido, Gabel, Samuel y Hunn (1987: 695) mencionan que son comunes las CA en cambios físicos y cambios químicos en los tres niveles que los químicos utilizan para describir el fenómeno.

Para ésta, la designación de cada CA en categorías se verificó a que grupo corresponde y en los casos en que se encontraron concepciones que combinaban explicaciones macroscópicas con las nanoscópicas (5% de las concepciones totales) se catalogaron conforme al tipo de explicación que dominaba, esto se hizo contabilizando los elementos de cada uno de los grupos y el que presentaba el mayor porcentaje designó el grupo. Este marco nos permite una clasificación de las concepciones que se presentan con respecto al tipo de representación que corresponde.

Se analizaron las concepciones recabadas (Anexo 1) con el modelo de representaciones que plantea Johnstone (1990; 1997) y se encontró que el 68% de las concepciones reportadas se encuentran dentro de las representaciones macroscópicas, mientras que las concepciones nanoscópicas representan un 22%, y por último la parte simbólica tan sólo incluye al 9%.

Algunos ejemplos de explicaciones con representaciones macroscópicas se presentan a continuación:

*RQ 37 La formación de gas y el burbujeo son indicadores de una RQ*

*RQ 46 Los gases estaban atrapados en el compuesto agua (se refieren al oxígeno) y éstos se liberan cuando reacciona con la tableta*

*RQ 124 La oxidación implica la ‘desaparición’ del hierro. La herrumbre ‘se come’ al metal de la misma forma que cuando lo ataca un ácido fuerte o como un hongo microscópico se come a la comida. Entonces, si eliminas la herrumbre, lo que queda del clavo pesa menos que el clavo original limpio*

Como se puede observar los estudiantes elaboran estas explicaciones con términos macroscópicos y fenómenos que se pueden observar a simple vista.

La mayoría de las concepciones nanoscópicas menciona a las partículas, los átomos e incluso a los elementos y compuestos, pero no hacen un uso adecuado de éstos conceptos. Algunos ejemplos son:

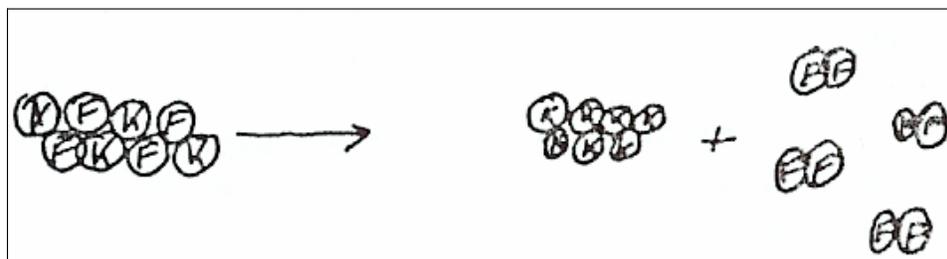
*RQ 9 La última capa... para el hidrógeno quiere ser de dos, pero para... todos los demás, ellos quieren llegar a ocho en su última capa... para que le guste completar la capa*

*S 18 Un metal es un buen conductor porque cada átomo es un buen conductor*

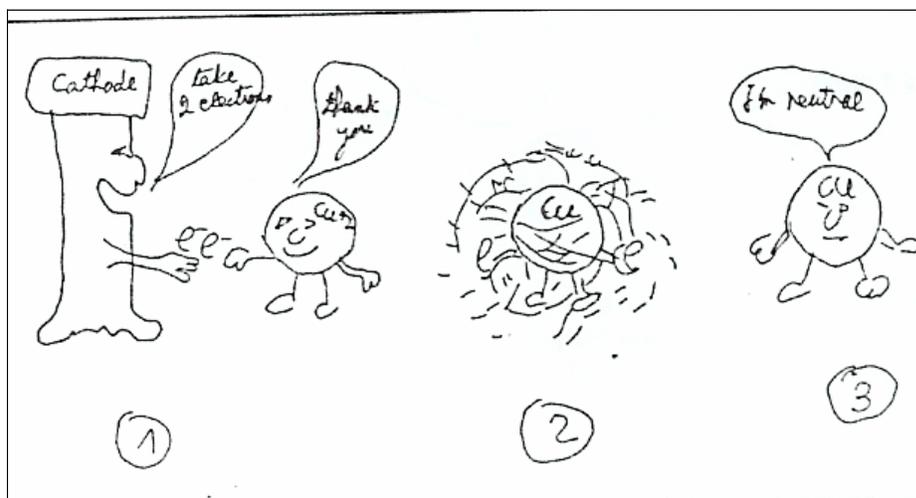
En estos dos casos además de utilizar los términos nanoscópicos se puede observar como los estudiantes les confieren propiedades macroscópicas a los átomos. Este último suceso se le llama sustancialización.

Por último, la parte simbólica en general presenta imágenes y dibujos, como se puede apreciar en las siguientes CA:

RQ 105



RQ 107



Estas dos CA representan las categorías de representaciones estáticas (RQ 105) y representaciones dinámicas (RQ 107), que se manejan en esta tesis.

Es de notar que las concepciones clasificadas como nanoscópicas se refieren en su mayoría al enlace químico y no tanto a las partículas de las sustancias. Y las simbólicas son básicamente ecuaciones químicas, o representaciones gráficas solicitadas expresamente para el estudio relacionado.

En este estudio el 68% de las concepciones reportadas se encuentran dentro de las representaciones macroscópicas, mientras que las concepciones nanoscópicas representan un 22%, y por último la parte simbólica tan sólo incluye al 9%. Los resultados de este meta-análisis coinciden con los resultados encontrados por Eskilsson y Helldén (2003) en su estudio, aunque hay que mencionar que ellos sólo hacen dos categorías que son nanoscópico y simbólico, ellos encuentran que un 70% de los estudiantes presentan explicaciones con

interacciones entre sustancias, mientras que el 30% restante lo hace ya sea a nivel nanoscópico, o con una descripción muy básica. Ellos recomiendan que la enseñanza de la RQ deba enfocarse en describir qué sucede cuando nuevas sustancias son formadas con respecto a las interacciones entre las sustancias.

Hesse y Andersson (1992), por su parte, concluyen que la mayoría de los estudiantes es su estudio emplean materiales y energías comunes en su vida para explicar estas reacciones. Menos del 1% de los estudiantes entrevistados explica el fenómeno en el nivel nanoscópico.

Como se puede observar los CA en su mayoría se refieren al nivel macroscópico, esta información es útil, ya que concluye que de que tipo de aproximación tienen los alumnos a la química, por lo que al tomar en cuenta estos resultados se puede elaborar una estrategia de enseñanza que se basar en este nivel como inicio, para luego abordar los demás niveles de representación.

### **6.2.2 Análisis con perfiles conceptuales (Solsona, Izquierdo y De Jong)**

Mortimer (1995) utiliza perfiles conceptuales para analizar el desarrollo conceptual de los estudiantes para la estructura atómica de la materia, basado en el perfil epistemológico del concepto de masa propuesto por Bachelard (1940). Cada perfil conceptual se caracteriza por diferentes niveles de comprensión: el primer nivel se relaciona con el perfil atómico, caracterizado por la ausencia de la noción discontinua de la materia. El segundo nivel es el atómico sustancialista, en el que los átomos son tratados como sustancias. El tercer nivel corresponde a la noción tradicional de átomo como unidad base de la materia. Y el último nivel refleja el tratamiento del sistema desde la mecánica cuántica.

A partir de la propuesta de Mortimer, en su investigación Solsona, Izquierdo y De Jong (2003) desarrollan cuatro zonas del perfil conceptual de la RQ, obtenidas con un conjunto de 51 estudiantes entre 17 y 18 años, las cuales denominan:

- 'Interactivo' (con un balance adecuado entre los niveles macroscópico y nanoscópico de explicación);
- 'Mecano' (explicaciones sesgadas hacia el enfoque nanoscópico);
- 'Cocina' (discurso centrado alrededor del fenómeno macroscópico) e
- 'Incoherente' (el cambio químico no se explica y los ejemplos de cambio que se dan no están explicados).

Solsona, Izquierdo y De Jong analizan dos ensayos que piden a alumnos de los dos últimos años de secundaria, el primero es antes de la instrucción del curso de química y el segundo cuando que ya lo han cursado. En éste se ha enseñado el concepto de cambio químico como un proceso de formación de nuevas sustancias así como un proceso de reacomodo de átomos y además han visto varios otros conceptos químicos, como son: sustancia, elemento, átomo y conservación de la materia.

En este meta-análisis consideramos que en ocasiones se emplea una mezcla entre términos macroscópicos y nanoscópicos para definir una RQ, por ejemplo Kind (2004) encuentra que algunos alumnos explican que *“un cambio químico ocurre cuando los átomos (o iones) de los reactantes se re-arreglan para formar nuevas sustancias. A menudo los cambios químicos están acompañados por alteraciones en la apariencia física y/o el color, la producción de un gas, de luz de calor o de un efecto enfriante.”* En estos casos la clasificación de Johnstone no es suficiente, por lo que se plantea este análisis, que toma como referente las zonas del perfil de Solsona, Izquierdo y De Jong las que pueden ser aplicadas al análisis puntual de una CA.

En este meta-análisis se encontró que tan sólo el 4% de las CA pueden clasificarse en la zona del perfil 'Interactivo' (S 25), se considera que el aprendiz ha asimilado el concepto científico. Un 33% de las CA pueden clasificarse en la

zona del perfil 'Mecano' (RQ 93), el 69% en la zona del perfil 'Cocina' (RQ 124) y un 4% de las explicaciones se catalogaron como 'incoherentes' (RQ 56).

*RQ 93 Las ecuaciones químicas no representan procesos dinámicos en los que las partículas/ moléculas reaccionan con otra para producir nuevas partículas /moléculas mediante el re-arreglo de átomos.*

*RQ 124 La oxidación implica la 'desaparición' del hierro. La herrumbre 'se come' al metal de la misma forma que cuando lo ataca un ácido fuerte o como un hongo microscópico se come a la comida. Entonces, si eliminas la herrumbre, lo que queda del clavo pesa menos que el clavo original limpio.*

*S 25 Se puede otorgar propiedades macroscópicas a las partículas de nivel atómico o molecular;*

*RQ 56 Nada cambia porque no ocurre ninguna reacción.*

La muestra de este meta-análisis tiene como sujetos a estudiantes desde los ocho años hasta que los que se encuentran en la universidad lo que nos habla de una diversidad importante.

### 6.3 Integrando el análisis

Se resaltan a continuación las categorías y subcategorías propuestas, junto con el porcentaje de CA que se encuentran en cada uno. Con esto se obtiene un pequeño texto en donde se representan, mediante las subcategorías, las principales CA que tienen los alumnos en cada categoría. Además, al estar acompañadas de su proporción se pueden apreciar los grupos que requieren mayor atención.

Se encontraron 224 CA en torno a la RQ, 77% de ellas relacionadas directamente con este concepto, 12% con el de 'sustancia' y 12% con 'cambios físicos y cambios químicos'.

En la gran variedad de artículos revisados y analizados se pudo apreciar que los resultados rara vez presentan explicaciones de los alumnos de conceptos relacionados con RQ (sustancia, átomo, elemento, entre otros), aunque para la construcción de la misma, utilizan a estos conceptos en todos los casos.

Las CA reportadas fueron obtenidas mediante el cuestionamiento de un problema específico, por lo tanto las explicaciones presentadas están referidas al problema planteado, pero aún así se pueden observar ciertos patrones que se discutieron en el análisis de resultados y se presentan en este capítulo de forma más concisa.

En el conjunto de CA se presentan algunas que en principio parecieran decir lo mismo, pero realmente no podemos asegurarlo ni inferirlo, por lo que se enuncian todas ellas.

Primeramente en el análisis por temas, en el grupo RQ se presentan seis temas en los que se agrupan los resultados: oxido– reducción (29%), ¿cómo y por qué ocurre? (24%), conservación de la masa (23%), representaciones gráficas (13%), estequiometría (6%) y enlaces y energía (5%).

En la categoría de ¿por qué y cómo ocurre?, las CA expresan lo siguiente: el 39% explica qué es una RQ, el 24% de las explicaciones se refieren al por qué ocurre; otras (10%) expresan cuál es la evidencia de que ha ocurrido una RQ y por último encontramos a una serie de CA (14%) que se agruparon bajo el nombre de 'otros'.

En cuanto a la conservación de la masa, el 41% de las concepciones en esta categoría se refieren al peso/ masa de los sólidos, líquidos y gases, el 18% en relación con la formación o disminución de sustancias en el sistema reaccionante; el 18% explica que en la disolución de sustancias al ocurrir una RQ cambia o no el peso del sistema, un 8% son 'decretos' y por último hay un 18% de concepciones

en 'otros' en las que destacan las que involucran a la energía y los enlaces como causantes del cambio de masa.

Los enlaces son entendidos por algunos estudiantes como almacenes de energía, y que su rompimiento es exotérmico y lo opuesto con la formación del enlace. Algo parecido ocurre con la energía ya que puede estar almacenada. La energía es creada o utilizada en las RQ. Y algunos alumnos expresan que la energía es un reactivo que hay que añadir a la reacción.

Para la categoría 'estequiometría', en general, los estudiantes explican lo que puede o no formarse a partir de los reactivos en base, en general, a que si no está en los reactivos escritos exactamente como se presenta en los productos no es posible llevar a cabo la reacción. Por ejemplo, en la reacción  $N_2 + O_2 \rightarrow N_2O_5$ , no será posible obtener el O5, pues este no está escrito así en los reactivos. También se observa que los estudiantes no comprenden los coeficientes y los subíndices.

En cuanto a las representaciones declaran que existen átomos de diferentes formas y al pedir que hagan imágenes para explicar una RQ no representan correctamente ni las moléculas ni los átomos. Se agruparon en tres tipos de representación: las representaciones de las sustancias y las representaciones de las reacciones químicas estáticas y dinámicas.

Para óxido-reducción se documentaron 31% de CA en generalidades, 31% de combustión y 38% para el caso particular de la combustión de una vela. De las dieciséis CA de las generalidades de óxido-reducción el 62% se refieren a ¿qué ocurre?, el 12% habla del papel de oxígeno y el 25% agrupa al resto de las concepciones en 'otros'. Las dieciséis CA de la combustión los reactivos involucrados y los productos generados en la reacción no son reconocidos o simplemente mencionan que ya estaban ahí previamente a la RQ: algunas (4) explican ¿qué le ocurre a las sustancias?, siete explican que los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí, dos de las concepciones explican qué

es la combustión y las tres restantes están agrupadas en 'otros (combustión)'. Y para el caso particular de la combustión de una vela los estudiantes explican que la cera o permanece en la misma cantidad o decrece la masa pero por efecto de evaporación de la misma, más bien, los estudiantes explican que la cera funciona como el soporte del pabilo y que la mecha es la que se quema, no la cera.

Continuando en el análisis por temas, en el grupo 'conceptos relacionados', los estudiantes parecen tener dificultades para apropiarse del modelo corpuscular de la materia y del concepto de átomo. A menudo asumen que las moléculas tienen las mismas propiedades macroscópicas (olor, color y forma) que las partículas. Esto se conoce como 'sustancialización', que es "el planteamiento del cambio químico como la transformación de las propiedades de las que son portadoras las sustancias, sin admitir un cambio en su identidad". Los alumnos parecen confundir el término 'sustancia' con el término 'molécula'. y lo mismo ocurre con los elementos, compuestos y mezclas

Para la distinción de cambio físico y cambio químico, en general los alumnos consideran como condiciones visibles para discernir si ha ocurrido un cambio químico o un cambio físico. El problema es que la condición que establecen puede clasificar erróneamente tanto a los cambios químicos como a los cambios físicos. Parece haber confusión en particular en los cambios de estado de agregación y las disoluciones que los alumnos, en general, catalogan como cambios químicos.

La mayoría (75%) de los autores revisados que establecieron una postura clara a favor o en contra de la distinción, se encuentran a favor de ella. En general se puede apreciar que los autores mencionan que la comprensión de esta diferencia requiere elementos y conceptos que los estudiantes primerizos no conocen y por lo tanto esta diferencia parece no ayudarlos a ellos en este nivel y en los niveles superiores ya no se requiere esta diferencia. En este estudio nos inclinamos a recomendar que hacer esta diferencia, en niveles básicos de la enseñanza de la química y en niveles superiores, no es necesaria.

En el análisis complementario se eligió la categorización de Jonhstone (1990, 1997) del cual se obtuvo la siguiente información: de las concepciones reportadas, el 68% se encuentran dentro de las representaciones macroscópicas, el 22% en nanoscópicas y el 10% en simbólicas. Es de notar que las concepciones clasificadas como nanoscópicas se refieren en su mayoría al enlace químico y no tanto a las partículas de las sustancias. Y las simbólicas son básicamente ecuaciones químicas y diagramas pedidos explícitamente para la investigación relacionada. La segunda opción de análisis complementario se realizó con base en el trabajo de Solsona, Izquierdo y de Jong. Se encontró que de las concepciones reportadas, 67% corresponden a la zona del perfil cocina, 24% a mecano, 4% a interactivo y por último 4% a incoherente.

Cabe recordar aquí que las CA han demostrado que no son dependientes de los años escolares cursados, sin embargo, pareciera observarse que conforme avanzan en su instrucción escolar van adquiriendo conceptos (correcta o incorrectamente) que pueden ir utilizando para elaborar sus explicaciones. Por lo que podría suponerse que el perfil mecano (nanoscópico en Johnstone) y el interactivo aumentarían su proporción con un mayor nivel de instrucción.

Como se puede apreciar la categorización utilizada en este meta-análisis proporciona un arreglo de fácil comprensión organizado primeramente en grupos y estos a su vez en categorías. Para la RQ se elaboraron categorías que comienzan con CA que se refieren a la comprensión de una RQ y de ahí se continua con categorías de análisis que se enfocan a un aspecto de la RQ que puede ser utilizado en la enseñanza y finalmente se hace una categoría de un ejemplo práctico muy utilizado en la enseñanza de las RQ y que al mismo tiempo presenta un número importante de CA que se deben considerar para replantear las estrategias de enseñanza. Adicionalmente el presentar todas las CA de una categoría en el mismo sitio, permite a profesores e investigadores tener una visión completa de la gama de explicaciones que pueden surgir en sus estudiantes.

Las subcategorías permiten reconocer que proporción de CA se encuentran en este grupo, con esta información se puede jerarquizar el abordaje de los problemas conceptuales. Así cada CA relacionada con el tema RQ y su fuente queda registrada en un contexto de explicaciones que pertenecen al mismo grupo, a la misma categoría y finalmente a una misma subcategoría.

# Consideraciones finales



Salvador (Quino), 1993

## 7. Consideraciones finales

De acuerdo con Garnett, Garnett y Hackling (1995), el conocimiento de las concepciones alternativas (CA) debe ayudar a informar a los profesores en el proceso de selección y secuenciación de currículo en su tarea de guiar a los estudiantes en la construcción de concepciones que sean más acordes con las que tiene la comunidad científica.

Las concepciones alternativas son ideas lógicas, y valiosas desde el punto de vista del alumno, además de ser fuertemente conservadas por el alumno, pero pueden no estar en concordancia con la con las explicaciones científicas e inclusive pueden ser diferentes de los puntos de vista científicamente aceptados.

Vázquez (1990: 251) menciona que las características principales de las CA se resumen en que son resistentes, tienen coherencia interna con el sistema mental de cada individuo, presentan una amplia extensión de muestras en todas las edades y niveles culturales. Varios autores coinciden con Vazquez y podemos señalar que se ha encontrado que estas creencias son ampliamente sostenidas por estudiantes en varios grados, son bastante penetrantes, estables y resistentes al cambio mediante las estrategias tradicionales de enseñanza y a menudo se mantienen intactas tanto por adultos, como por niños aún después de completar la educación formal de ciencia (Osborne y Cosgrove, 1983; Hewson y Hewson, 1984; Stavy, 1991; Wandersee *et al.*, 1994).

Las dificultades que tienen los niños al aprender ciencia pueden deberse a que los profesores no toman en cuenta las CA que los estudiantes tienen, a este respecto Özmen (2004:147) opina que *“las concepciones alternativas antes y después de la instrucción formal se ha convertido en la principal preocupación entre los investigadores en educación de las ciencias porque éstas influyen cómo los estudiantes aprenden el conocimiento científico, juegan un rol esencial*

*en el aprendizaje subsecuente y se convierten en un obstáculo en la adquisición del conocimiento correcto.”*

De Vos y Verdonk (1986) mencionan que si queremos que nuestros estudiantes comprendan nuestro concepto de RQ, puede ser útil que tratemos de comprender su concepto, por lo que vale la pena considerar sus CA en cualquier etapa del curso para elaborar una estrategia didáctica.

Esta tesis intenta proveer una clara revisión de la literatura de las CA de estudiantes sobre el concepto RQ, cuyos resultados y su análisis se encuentra en los capítulos anteriores, y presentar una categorización eficiente y actualizada. Cada grupo, categoría y subcategoría enuncia las CA inmersas, de esta forma, cada una de las explicaciones de los estudiantes se localiza en un grupo de otras similares que integran una muestra más heterogénea y por lo tanto permite, además de la comparación entre las CA enunciadas, resultados más concluyentes de los aspectos que se abordan.

Las CA enunciadas y clasificadas en este meta-análisis, se espera que sirvan de apoyo a alumnos, profesores, investigadores, e interesados en el área en la elaboración de materiales de trabajo y estudio. Además se espera que apunten a una comprensión más clara de las explicaciones de los estudiantes y del problema conceptual que presenta cada una de ellas partiendo de las subcategorías.

De acuerdo con Chastrette y Franco (1991:243) las representaciones que construyen los jóvenes alumnos se convierten en obstáculos difíciles de sortear a través de una enseñanza tradicional. Preocupados por incorporar el conocimiento de la CA en las estrategias de enseñanza de la RQ, es importante presentar algunas de las opciones generadas por diversos autores que tienen como uno de sus elementos base a las CA.

En este sentido, a continuación se esbozan algunas sugerencias, estrategias didácticas y recomendaciones para mejorar las diferentes formas de enseñanza de los profesores de química para el concepto RQ.

### 7.1 Recomendaciones didácticas

Azcona *et al.* (2004:7) explican que numerosas investigaciones que toman como base orientaciones constructivistas del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, ponen en manifiesto que lo que puede aprender un estudiante viene determinado fundamentalmente por los conocimientos previos que posee y por la ayuda que le puede proporcionar la enseñanza.

Ahtee y Varjola (1998) explican que para ayudar a que los alumnos hagan sentido de los fenómenos del mundo real, los profesores deben proveer un ambiente de aprendizaje que aliente a los estudiantes a formular preguntas y hacer observaciones desde el inicio. Los estudiantes tienen que examinar el material inicial para describir la apariencia, color, olor y que lo compare con otras sustancias: si es que se ven parecidas o diferentes, etc. Ellos deben fomentar la especulación y discusión, y no dar las respuestas correctas o incorrectas. En el aprendizaje de la química los estudiantes deben ser animados a discutir el fenómeno químico. El profesor debe crear situaciones en las cuales los estudiantes descubran las deficiencias en su propio vocabulario cuando traten de comunicar sus observaciones e ideas.

Chastrette y Franco (1991) proponen una estrategia de enseñanza para la apropiación de los conceptos de reacción química y de elemento. Esta debe basarse en situaciones de clase planificadas que incluyan experiencias, discusiones y debates, así como actividades de modelización adecuadas que permitan la construcción de estos conceptos.

Es la opinión de Mortimer y Miranda (1995) que conocer todas estas concepciones alternativas nos conduce a estrategias de enseñanza que son más capaces de contribuir al cambio conceptual de los estudiantes. Los autores nos proponen llevar a cabo algunas reacciones simples en el salón de clases: la combustión de una vela en sistemas abiertos y cerrados, la formación de herrumbre en un metal, la reacción de formación del ioduro de plomo, la reacción entre ácido clorhídrico y la granalla de zinc en sistemas abiertos y cerrados o la disolución de un comprimido efervescente antiácido en agua. A continuación nos sugieren que los alumnos respondan varias preguntas alrededor de cada una de las reacciones, como “¿Qué sustancia o sustancias se transforman?” o “¿Por qué sucede la transformación?”, o bien “La masa de los sistemas antes de la transformación ¿es mayor, igual o menor que al final?”. Como vemos, sugieren una estrategia macroscópica para abordar el problema, con tal de que las representaciones estudiantiles coincidan con los fenómenos y con las explicaciones a nivel atómico y molecular.

Stavridou y Solomonidou (1998), por su parte, entrevistan a jóvenes de 12 a 18 años sobre el concepto de reacción química. Recomiendan trabajar en clase con ejemplos de reacciones que inician con una sola sustancia que se descompone. Indican que los alumnos construyen el concepto de reacción química en tres etapas: relacionada con la fenomenología del cambio, antes de recibir algún curso de química, los alumnos utilizan categorías semánticas de sentido común para la comprensión y organización del campo empírico de referencia; relativa al criterio químico macroscópico de definición, en esta etapa la reacción química se convierte poco a poco en la característica de que la(s) sustancia(s) inicial(es) se transforman en nueva(s) sustancia(s), o sea, la formación de nuevos productos; y relacionada con la estructura microscópica de la materia. Los autores realizan un análisis acerca de la combustión del hidrógeno, según la reacción,  $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ , e indican que la apropiada interpretación de esta ecuación requiere que el aprendiz entienda muchas cosas: la estructura y el estado físico de los

reactantes y los productos, la naturaleza dinámica de las interacciones entre partículas, las relaciones cuantitativas entre las partículas, así como el enorme número de partículas involucradas en una reacción real. Estos puntos deben ser recordados por el profesor que guíe el trabajo de los alumnos.

Barker (2001), para la enseñanza de la reacción química, propone una estrategia en la que la discusión entre los estudiantes tiene el primerísimo lugar, ya que es en donde se expresan las explicaciones que están dando a los fenómenos y es justo donde podemos reconocer las CA. Esta estrategia consiste de cinco etapas: reconocer que una sustancia se ha formado, a partir de yoduro de potasio y nitrato de plomo (II); extienda esta reflexión a otras reacciones, repita el experimento con pequeñas variaciones y pruebe otras combinaciones; muestre reacciones que involucren generación de calor, aliente a los estudiantes a sentir como sube la temperatura cuando un clavo de hierro reacciona con una solución de sulfato de cobre (II); introduzca la idea de que cuando ocurre una reacción las partículas se reacomodan, es importante animar a los estudiantes a que se den cuenta que las moléculas no mantienen sus identidades en una reacción; ilustre los principios al descomponer malaquita, explique que la molécula se rompe [*broken sic*] en otras dos sustancias, al utilizar el ciclo del cobre se introduce la idea que el elemento cobre no puede descomponerse en nada más. Barker menciona que esta estrategia es muy diferente de la enseñanza tradicional que consiste en pasar de los átomos, a las moléculas, los compuestos, las mezclas y elementos y por último la reacción química; mientras que su estrategia comienza con la reacción química, y a partir de esta se desarrollan los demás conceptos.

Un acercamiento similar es el de de Vos y Verdonk (1985a, b, 1986, 1987a, b), que inducen al estudiante a los términos en una base de 'necesidad de saber' como lo haría un químico. Estos autores explican que lo más notable de su programa es que el profesor difícilmente parece enseñar al frente de la clase.

Los grupos de estudiantes ocupan su tiempo llevando a cabo experimentos y tratando de responder a un gran número de preguntas, muchas de ellas abiertas. Lo que se necesita son experimentos que puedan puramente intrigar por el cambio de sustancias en otras sustancias y que no presenten ningún distractor del fenómeno.

Vogelezang (1987) apoya que se emplee la estrategia que plantean de Vos y Verdonk (1985a) para que los estudiantes aprendan acerca de los conceptos básicos de la química. Expresa que nociones como RQ y 'sustancia' deben enseñarse antes de que el alumno aprenda sobre los átomos y las moléculas, porque son conceptos más cercanos a las propias experiencias estudiantiles.

De acuerdo con Carrascosa, Gil y Valdéz (2004), los resultados experimentales sugieren que las estrategias de enseñanza basadas en el modelo del cambio conceptual favorecen la adquisición de conocimientos científicos más eficazmente que la estrategia habitual de transmisión/recepción. De hecho, la atención a las concepciones alternativas de los alumnos y la orientación de la enseñanza tendente a hacer posible el cambio conceptual aparecen hoy como adquisiciones relevantes a la didáctica de las ciencias, a la vez teóricamente fundamentadas y apoyadas por evidencia experimental. Las estrategias de cambio conceptual proponen comenzar el estudio de un tema sacando a la luz las concepciones alternativas de los estudiantes para el tema elegido, a continuación poner en cuestión estas ideas a través del uso de contraejemplos y así provocar conflictos cognitivos para que se preparen para aceptar las ideas científicas correctas.

Como se puede observar, las recomendaciones didácticas aquí presentadas recuperan algunas de las características que proponen Carrascosa, Gil y Valdés (2004). Los resultados de nuestra investigación nos conducen a revisar la serie

de experiencias para enseñar las RQ, antes mencionadas, con la finalidad de proveer algunos ejemplos que permitan al lector comprender como se pueden utilizar las CA registradas en esta tesis, y en un siguiente grado de avance, utilizar estas estrategias como modelo para elaborar sus propias propuestas educativas.

El análisis de las situaciones experimentales elegidas nos llevó a enunciar un conjunto de elementos importantes en el planteamiento de una propuesta didáctica:

1. El profesor debe realizar una documentación de las CA respecto a la RQ y verificar que aspecto de las mismas quiere abordar, para centrar su estrategia didáctica en la categoría y subcategoría seleccionada.
2. Conviene partir de un problema de una RQ que requiera la explicación de la misma por parte de los estudiantes. Esta reacción debe ser un ejemplo claro y con una transformación observable, para facilitar su comprensión al estudiante.
3. Es importante dar espacios de discusión y explicitación de las explicaciones de cada uno de los estudiantes para comprobar con cuales CA se debe trabajar primeramente.
4. Se debe promover que los estudiantes busquen un vocabulario adecuado para explicar el fenómeno.
5. Se debe tener un abanico de estrategias que puedan confrontar las CA de los estudiantes.

Como se puede observar lo que conviene aquí es tener documentados estos cinco puntos para que se puedan reproducir y mejorar las estrategias de enseñanza.

Shulman en 1986 acuña el concepto de “conocimiento Pedagógico del Contenido” (CPC), en este, se describen las formas más útiles de representación de las ideas; las analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y

demostraciones más poderosos; que en pocas palabras se refiere a las formas de representación y formulación del tema que lo hace comprensible a otros.

Un instrumento que documente de forma metódica y clara al CPC parece ser de utilidad. Una opción es la que presentan Reyes y Garritz (2006), quienes realizan una investigación sobre el conocimiento pedagógico del concepto 'reacción química' en profesores universitarios mexicanos. Ellos concluyen que la metodología utilizada (Loughran, Mullhal y Berry, 2004) permitió una eficaz documentación del CPC de los profesores ya que la disposición y arreglo de los datos facilita el análisis de los mismos. En las representaciones del contenido recabadas, los profesores identifican claramente las ideas centrales asociadas con la RQ y los objetivos de su enseñanza, reconocen las probables dificultades conceptuales de sus estudiantes y plasman las estrategias más empleadas para abordar satisfactoriamente la clase y su evaluación.

Los autores mencionan que quizás el mayor problema que presenta la enseñanza de este tema es que en ocasiones, para muchos alumnos, la aparición de nuevas sustancias no es visible; se les dificulta comprender que a pesar de que se conserve la masa en una reacción aparezcan nuevas sustancias, ya que esto actúa en contra del "principio de conservación". Se recomienda que el estudiante observe y analice varias RQ hasta que saque sus propias conclusiones acerca de lo que una RQ representa y que en ella se conservan los átomos de los elementos químicos.

En cuanto a las concepciones alternativas de los alumnos, el CPC de los profesores entrevistados contiene gran cantidad de información, particularmente en cuanto a los conceptos centrales 'sustancia' y RQ. De donde se puede entender que los profesores de esta muestra tienen concientes las explicaciones de sus estudiantes al planear su estrategia de enseñanza. Los documentos elaborados para cada CPC de cada profesor, en esta investigación, se

caracterizan porque reúnen preguntas o actividades que apoyan a los estudiantes a reconocer sus concepciones alternativas y seleccionan cuestionamientos teóricos o experimentales que permiten que los estudiantes exploren conceptos centrales.

Finalmente parece ser importante contemplar la enseñanza de las reacciones químicas que hay una serie de elementos que deben ser contemplados en la proyección de una sugerencia didáctica. El obtener, reconocer y aceptar las CA del concepto RQ parece ser un primer paso, pero no es el único que se requiere para lograr el cambio conceptual. Las sugerencias didácticas aquí presentadas pretenden ser una guía para el profesor, y en un futuro una información base y de referencia que debe considerarse al elaborar una estrategia didáctica.

# Bibliografía



Salvador (Quino), 1993

## 8. Bibliografía

- Abraham, M. R., Williamson, V. M. y Westbrook, S. L. (1994), A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts, *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), pp. 147-165.
- Ahtee, M. y Varjola, I. (1998). Students' understanding of chemical reaction, *International Journal of Science Education*, **20**(3), pp. 305-316.
- American Psychological Association (1994). *Publication Manual of the American Psychological Association*. Washington, DC: Autor.
- Andersson, B. (1990), Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16), *Studies in Science Education*, **18**, pp. 53-85.
- Andersson , B. y Renström, L. (1983). *How Swedish Pupils, Age 12-15, Explain the 'Exhaust' Problem*. (disponible en el grupo EKNA, Universidad de Göteborg, Departamento de educación, 1010, S-431, 26 Möndal, Suecia)
- Arizona State University (2001). *Student Preconceptions and Misconceptions in Chemistry*, Ver. 1.35, Arizona: Integrated Physics and Chemistry Modeling Workshop. El documento puede encontrarse en Internet en la siguiente URL:  
<http://www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf>.  
Último acceso el 15 de diciembre de 2005.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S. y Álvarez, A. (2004). ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos, *Alambique*, **40**, pp. 7-17.
- Bachelard, G. (1940). *La philosophie du non*. Paris: Quadridge/PUF. Translated as *The philosophy of No. A philosophy of the new scientific mind*, New York: The Orion Press, in 1968, by G. C. Waterston.
- Balocchi, E., Modak, B., Martínez-M., M., Padilla, K., Reyes, F. y Garritz, A. (2005). Aprendizaje cooperativo del concepto 'cantidad de sustancia'

- con base en la teoría atómica de Dalton y la reacción química. PARTE II. Ideas previas sobre el concepto de reacción química. Anexo: cuadernillo 'Masa atómica relativa', *Educación Química*, **16**(4), 550-567, 2005.
- Barker, V. (1999). Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course?, *International Journal of Science Education*, **21**(6), pp. 645-665.
- Barker, V. (2001), Chemical Concepts, *Education in Chemistry*, Noviembre, p. 147.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.S. y Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction, *Education in Chemistry*, **24**(4), pp. 117-120.
- Boo H.K. y Watson, J.R. (2001). Progression in high school students' (aged 16-18) conceptualizations about chemical reactions in solution, *Science Education*, **85**, pp. 568-585.
- Borsese, A. y Esteban, S. (1998). Los cambios de la materia, ¿Deben presentarse diferenciados en químicos y físicos?, *Alambique*, **17**, pp. 85-92.
- Botella, J. y Gambara, H. (2002). *Qué es el Meta-análisis*, España: Biblioteca Nueva.
- BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(8), pp. 689-704.
- Bowen, C. (1994). Think-aloud methods in chemistry education-understanding students thinking, *Journal of Chemical Education*, **71**(3), pp. 184-190.
- Briggs H. y Holding, B. (1986). *Aspects on Secondary Students Understanding of Elementary Ideas in Chemistry. Full Report. Children Learning in Science Project*. Leeds: University of Leeds.

- Brosnan, T. (1999). When is a chemical change not a chemical change?, *Education in Chemistry*. **36**(2), p. 56.
- Caamaño, A. (1998), El cambio químico: un tema central de la investigación en didáctica de la química. *Alambique*. **1**(17), pp. 61-64.
- Caamaño, A. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la química, pp. 203-228, en Jiménez, P. (coord.) *Enseñar Ciencias*, Barcelona: Grao.
- Carrascosa, J., Gil, D. y Valdés, P. (2004). El problema de las concepciones alternativas, hoy, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, **18**, pp. 41-63.
- Chastrette, M. y Franco, M. (1991). La reacción química: descripciones e interpretaciones de los alumnos de liceo. *Enseñanza de las Ciencias*, **9**(3), pp. 243-247.
- Chi, M. y Roscoe, R. (2002). The processes and challenges of conceptual change, pp. 5-27, en Limon, M. y Manson, L. (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice*, Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Chi, M., Slotta, D. y Leeuw, N. (1994) From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts, *Learning and Instruction*, **4**, pp 27-43.
- Clinton, G. (1931), The energy factor in chemical changes, *Journal of Chemical Education*, **8**(4), pp. 683-687.
- de Jong, O., Athee, M., Goodwin, A., Hatzinkita, V. y Koulaidis, V. (1999), An international study of prospective teachers' initial teaching conceptions and concerns: the case of teaching 'combustion', *European Journal of Teacher Education*, **22**(1), pp. 45-59.
- de Vos, W. y Verdonk, A. H. (1985a). A new road to reactions. Part 1, *Journal of Chemical Education*, **62**(3), pp. 238-240.

- de Vos, W. y Verdonk, A. H. (1985b). A new road to reactions. Part 2, *Journal of Chemical Education*, **62**(8), pp. 648-649.
- de Vos, W. y Verdonk, A. H. (1986). A new road to reactions. Part 3, Teaching the heat effect of reactions, *Journal of Chemical Education*, **63**(11), pp. 972-974.
- de Vos, W. y Verdonk, A. H. (1987a). A new road to reactions. Part 4, The substance and its molecules, *Journal of Chemical Education*, **64**(8), pp. 692-694.
- de Vos, W. y Verdonk, A. H. (1987b). A new road to reactions. Part 5, The elements and its atoms. *Journal of Chemical Education*, **64**(12), pp. 1010-1013.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics, *Cognition and Instruction*, **10**(2-3), pp. 105-225.
- Driver, R. (1985). Beyond appearances: the conservation of matter under physical and chemical transformations, en Driver R., Guesne, E., Tiberghien, A. (Eds), *Children's Ideas in Science*, Filadelfia: Open University Press, Milton Keynes.
- Driver, D. (1986). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, **6**(2), pp. 109-120.
- Duit, R. (1995), The constructivist view: a fashionable and fruitful paradigm for science education research and practice, pp. 271-285. en Steffe, L. P. y Gale, J. (Eds.), *Constructivism in Education*, Hove, UK and Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Publishers.
- Ernest, P. (1995), The one and the many, pp. 459-485, en Steffe, L. P. y Gale, J. (Eds.), *Constructivism in Education*, Hove, UK and Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Publishers.
- Eskilsson, O. y Hellden, G. (2003). A longitudinal study on 10-12-year-olds' conceptions of the transformation of matter, *Chemistry Education: Research and Practice*. **4**(3), pp. 291-304.

- Flores, F. (2000). La enseñanza de las ciencias. Su investigación y sus enfoques, *Ethos Educativo*, Diciembre, pp. 26-35.
- Flores, F. (2004). El cambio conceptual: Interpretaciones, transformaciones y perspectivas, *Educación Química*, **15**(3), pp. 60-73.
- Flores, F. *et al.* (2004). *Concepciones alternativas*, [versión electrónica] página URL: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/> consultada por última vez el 01 de febrero de 2006.
- Furio, C. y Furio, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*. **11**(3), pp. 300-308.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future, *Journal of Chemical Education*, **76**(4), pp. 548-554.
- Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamati, N. y Morales, L. F. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. Un ejemplo para el aprendizaje del concepto de 'Reacción Química' a partir del concepto de 'Mezcla', *Enseñanza de las Ciencias*, **21**(1), pp. 107-121.
- Garnett, J. P., Garnett, J. P. y Hackling, M. W. (1995), Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, **25**, pp. 69-95.
- Garritz, A. (1997). La química y los contenidos escolares, pp. 19-38 en González, J., León, A. I. y Venegas, N. (Eds.) *Contenidos Relevantes en Ciencias Naturales para la Educación Básica*, México: Fundación SNTE para la Cultura del Maestro Mexicano (ISBN 970080074-1).
- Garritz, A. (1998). Una propuesta de estándares nacionales para la educación científica en el bachillerato. La corriente educativa Ciencia-Tecnología-Sociedad, *Ciencia* (Academia Mexicana de Ciencias), **49**(1), pp. 27-34.

- Garritz, A. (2000a), Concepciones alternativas y enseñanza de la química, *Educación Química*, **11**(2), pp. 211-213.
- Garritz, A. (2000 b), Más sobre concepciones alternativas y enseñanza de la química, *Educación Química*, **11**(3), pp. 291-292.
- Garritz, A. (2001). Veinte años de la teoría del cambio conceptual, *Educación Química*, **12**(3), pp. 123-126.
- Gensler, W. J. (1970). Terminology reexamined. Physical versus chemical change, *Journal of Chemical Education*, **47**(2), pp. 154-155.
- Gillespie, R. J. (1997). The Great ideas of chemistry, *Journal of Chemical Education*, **74**(7), pp. 862-864.
- Glass, G. (1982). *Meta-analysis in Social Research*, Beverly Hills: Sage.
- Glasstone, S. (1946). *Textbook of Physical Chemistry*, Nueva York: Macmillan, 2ª edición.
- Gómez Crespo, J. A., Pozo, J. I., Sanz, A. y Limón, M. (1992), La estructura de los conocimientos previos en química: una propuesta de núcleos conceptuales, *Investigación en la Escuela*, **18**, pp. 23-40.
- Good, R. (1991). Editorial, *Journal of Research in Science Teaching*, **28**(5), p 387.
- Gowin, D. B. (1983). Misconceptions, metaphors, and conceptual change: Once more with feeling, en Helm, H. y Novak, J, (Eds.), *Proceeding of the International Seminar on Misconceptions in Science Mathematics*. Nueva York: Departamento de educación, Universidad de Cornel.
- Goodwin, A. (2003). Questions that science teachers find difficult (II), *Journal of Science Education*, **4**(1), pp. 40-41.
- Griffiths A. K. y Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, **29**(6), pp. 611-628.

- Gussarsky, E. y Gorodetsky, M. (1990). On the concept "Chemical equilibrium": the associative framework, *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), pp. 197-204.
- Hackling, M. W. y Garnnet, P. J. (1985). *European Journal of Science Education*, 7, pp. 205-214.
- Hedges, L. (1985). *Statistical Methods for Meta-analysis*, Orlando: Academic.
- Hesse III, J. J. y Anderson, C. W. (1992). Students' conception of chemical change, *Journal of Research of Science Teaching*, 29(3), pp. 277-299.
- Hinton, M. E. y Nakhleh, M. B. (1999), Students' microscopic, macroscopic and symbolic representations of chemical reactions, *The Chemical Educator*, 4, pp. 158-167.
- Hodson, D. (1998), *Teaching and Learning Science. Towards a Personalized Approach*, Buckingham: Open University Press, cap. 4-7.
- Holman, J. (2001). All you need to know about chemistry..., *Education in Chemistry*, enero, pp. 10-11.
- Inhelder, B. y Piaget, J. (1955). *De la Logique de l'Enfant à la Logique de l'Adolescent*, Paris: Presses Universitaires de France. Versión consultada : Inhelder, B. y Piaget, J. (1972). *De la Lógica del Niño a la Lógica del Adolescente*, Buenos Aires: Editorial Paidós.
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change, *International Journal of Science Education*, 22(7), pp. 719-737.
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, part 2: explaining chemical change, *International Journal of Science Education*, 24(10), pp. 1037-1054.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64 (227), pp. 377-379.
- Johnstone, A. (1990). ACS meeting, Washington DC: unpublished results.

- Johnstone, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Instruction*, 7, 75–83.
- Johnstone, A. H. (1997). Chemistry teaching- science or alchemy?, *Journal of Chemical Education*, 74(3), pp. 262-268.
- Johnstone, A. H. (1999). The nature of chemistry, *Education in Chemistry*, Marzo, pp. 45-47.
- Justi, R. S. (1998). A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas?, *Química Nova na Escola*, 7, pp. 26-29.
- Kind, V. (2004). *Más Allá de las Apariencias. Concepciones alternativas de los Estudiantes sobre Conceptos Básicos de Química*, México: Aula XXI Santillana-Facultad de Química, UNAM.
- Korolija, J. Jivic, G. Steljic, B. y Mandic, L. (2005) Presentation and consolidation of physical and chemical changes of substances through pupils' active work, *Revista de Educación en Ciencias*, 6(2), pp. 76-79.
- Krajcik, J.S. (1989), *Paper presented at the American Anthropological Association*, Washington, DC.
- Krnel, D., Watson, R. y Glazar, S. A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter', *International Journal of Science Education*, 20(3), pp. 257-289.
- Kuhn, T. S. (1971). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, México: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1970). *The Methodology of Scientific Research programs: Philosophical Papers, Vol. 1*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Landau, L. y Lastres, L (1996). Cambios químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro?, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 171-174.
- Lankshear, C. y Knobel, M. (2004). *Maneras de Descubrir. La Recopilación de Datos en Investigación Cualitativa*, Morelia: IMCED

- Lopes, A. R. (1995).  $R(\varepsilon\alpha\zeta\delta)\Sigma_S \Leftrightarrow Q_{\mu i}[M_{icas}]$ . fenomeno, transformacao e representacao, *Química Nova na Escola*, Noviembre (2), pp. 7-9.
- Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice, *Journal of Research in Science Teaching*, **41**(4), pp. 370–391.
- Martín del Pozo, R. (1998). La construcción didáctica del concepto de cambio químico, *Alambique*, **17**, pp. 65-75.
- Martín del Pozo, R. (2001). Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, **19**(2), pp. 199-215.
- Meheut, M., Saltiel, E. y Tiberghien, A. (1985). Pupils' (11-12 year olds) conceptions of combustion, *European Journal of Science Education*, **7**, pp. 83-93.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual change of conceptual profile change? *Science and Education*, **4**, pp. 267-285.
- Mortimer, E. F. y Miranda, L. C. (1995). Transformações: concepções dos estudantes sobre reações químicas, *Química Nova na Escola*, **2**, pp. 23-26.
- Nakhleh, M. B. (1991). *Paper Presented at the Annual Meeting of the American Chemical Society*, Atlanta.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions, *Journal of Chemical Education*, **69**(3), pp. 191–196.
- Nelson, P.G. (2003). Basic chemical concepts, *Chemistry Education: Research and Practice*, **4**(1), pp. 19-24.
- Novick, S. y Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science Education*, **62**(3), pp. 273-281.

- Novick, S. y Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulates nature of matter: a cross age study, *Journal of Science Education*, 65(2), pp.187-196.
- Osborne, R. J. y Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the Changes of the State of Water, *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), pp. 825-838.
- Özmen, H. y Ayas A. (2003). Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions, *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(3), pp. 279-290.
- Palmer, W. P. y Treagust, D. F. (1996). Physical and chemical change in textbooks: An initial view, *Research in Science Education*, 26(1), pp. 129-140.
- Pauling, L. (1947). *General Chemistry*, San Francisco: W.H. Freeman.
- Pfundt, H. y Duit. R. (1998), *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*, Kiel, Alemania: Institute for Science Education at the University of Kiel (version de agosto de 1998, distribuida electrónicamente).
- Piaget, J. (1974) . *Le Prise de Conscience*. París: Presses Universitaires de France. Versión consultada: Piaget, J. (1976). *La Toma de Conciencia*, Madrid: Ediciones Morata.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change, *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- Pozo, J. I., Gómez, M. A., Limón, M. y Sanz, A. (1991). *Procesos Cognitivos en la Comprensión de la Ciencia: Las Ideas de los Adolescentes sobre la Química*, Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- Ramsden, J. M. (1997). How does a context-based approach influence understanding of key chemical ideas at 16+?, *International Journal Science Education*, 19(6), pp. 697-710.

- Reyes- C, F y Garritz, A. (2006). Conocimiento pedagógico del concepto de reacción química en profesores universitarios mexicanos, *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(3), pp. 723-753. Publicación en prensa.
- Rosa M.I.F.P.S. e Schetzer, R.P. (1998). Sobre a importancia do conceito transformacao química no processo de aquisicao do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*. (8), pp. 31-35.
- Rosenthal, R. (1991). *Meta-analytic Procedures for Social Research*, California: Sage.
- Salvador, J (Quino) (1993), *Todo Mafalda*, Argentina: Ediciones de la Flor.
- Schummer, J. (2004?). Editorial: substances versus reactions, *International Journal for Philosophy of Chemistry*, **10** (1), pp. 3-4.
- Schmidt, H.J. (1992) Conceptual difficulties with isomerism, *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, pp 995-1003.
- Schmidt, H.J. (1997) Students' misconceptions –looking for a pattern, *Science Education*, 81, pp 123-135.
- Schollum, B. (1981a) *Chemical change: A working paper of the Learning in Science. Project (no. 27)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Schollum, B. (1981b) *Burning: A working paper of the Learning in Science Project (no. 36)*. University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, **15**, pp.4–14.
- Selley, N.J. (1978). The confusion of molecular particles with substances, *Education in Chemistry*, **15**, pp. 144-145.
- Solé, I. (1996). *La Participación del Alumno en el Proceso de Enseñanza y Aprendizaje*, Buenos Aires: Editorial Magisterio del Río de la Plata.

- Solsona, N. e Izquierdo, M. (1997). La construcción del concepto de cambio químico, *Enseñanza de las Ciencias*, Numero extra. V Congreso, pp. 221-222.
- Solsona, N. e Izquierdo, M. (1998). La conservación del elemento, una idea inexistente en el alumnado de secundaria, *Alambique*, **17**, pp. 76-84.
- Solsona, N., e Izquierdo, M. y de Jong, O. (2003). Exploring the development of students' conceptual profiles of chemical change, *International Journal of Science Education*, **25**(1), pp. 3-12.
- Spencer, J. N. (1992). General chemistry course content, *Journal of Chemical Education*, **69**(3), pp. 182-186.
- Staver, J.R. (1998). Constructivism: sound theory for explicating the practice of science and science teaching, *Journal of Research in Science Teaching*, **35**(5), pp. 501-520.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. (1998). Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education, *International Journal of Science Education*, **20**(2), pp. 205-221.
- Strike, K. A. y Posner, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding, pp. 211-231, en *Cognitive Structure and Conceptual Change*, L.H.T., Orlando: Academic Press.
- Strong, L. E. (1970). Differentiating physical and chemical changes, *Journal of Chemical Education*, **47**(10), pp. 689-690.
- Taber, K. S. (1994). Misunderstanding the ionic bond, *Education in Chemistry*, **31** pp. 100-103.
- Taber, K. S. (1997). Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic thinking?, *School Science Review*, **78** pp. 85-95.
- Taber, K. S. (2000a). Chemistry lessons for universities? a review of constructivist ideas, *University Chemistry Education*, **4**(2), pp. 63-72.

- Taber, K. S. (2000b). *What should we tell the pupils about why reactions happen?*, Artículo electrónico que puede localizarse en la siguiente URL, <http://www.leeds.ac.uk/educol/documents/00001652.doc>, octubre. Consultada por última vez el 1 de febrero de 2006
- Taber, K. S. (2001a). Constructing chemical concepts in the classroom? : using research to inform practice, *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **2**(1), pp. 43-51.
- Taber, K. S. (2001b). The campaign to stop molecules reacting, *Education in Chemistry*, **36**(1), pp. 28.
- Taber, K. S. (2002a). *Chemical Misconceptions —Prevention, Diagnosis and Cure, Volume I: Theoretical Background*, London: Royal Society of Chemistry.
- Treagust, D., Duit, R. y Nieswandt, M. (2000). Sources on students' difficulties in learning chemistry, *Educación Química*, **11**(2), pp. 228-235.
- Tsarpalis, G. (2003). Chemical phenomena versus chemical reactions: do students make the connection?, *Chemistry Education: Research and Practice*, **4**(1), pp. 31-43.
- Vázquez, A. A. (1990). Concepciones alternativas en física y química de bachillerato: una metodología diagnóstica. *Enseñanza de las Ciencias*, **8**(3), pp. 251-258.
- Viennot, L. (1979). *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire*, Paris: Herman.
- Vogelezang, M. J. (1987). Development of the concept 'chemical substance'. Some thoughts and arguments, *International Journal of Science Education*, **7**(5), pp. 519-528.
- Von Glasersfeld, E. (1995). Sensory Experience, Abstraction and teaching, pp. 369-383, en Steffe, L. P. y Gale, J. (Eds.). *Constructivism in Education*, Hove, UK y Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, Publishers.

- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, **4**, pp. 45-69.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science, pp. 177-210, en Gabel, D. (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, New York: Macmillan.
- Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, **22**(5), pp. 449-459.



## 9. Anexo 1

### CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE ESTUDIANTES SOBRE EL CONCEPTO DE REACCIÓN QUÍMICA

En este anexo se presentan todas las CA reportadas en esta investigación, con el identificador alfanumérico designado, clasificadas en los temas de análisis.

Las categorías se encuentran en la segunda columna, en el grupo de RQ tenemos a '¿por qué y cómo ocurre?', 'conservación de la masa', 'enlaces y energía', 'estequiometría', 'representaciones gráficas', 'óxido-reducción'. El detalle del subgrupo se encuentra en la tercera columna.

En la cuarta columna se encuentra un indicador que corresponde a la categoría que corresponde de acuerdo a la categorización de Andersson:

- I: macroscópico
- II: microscópico
- III: simbólico

Y por último en la quinta columna se muestra la que categoría corresponde la CA de acuerdo con Izquierdo, Solsona y de Jong, identificada por las siguientes siglas:

- A: interactivo
- B: mecano
- C: cocina
- D: incoherente.

CA		Categoría	Subcategoría		
Concepciones alternativas		Categoría	Subcategoría		
RQ 1	Una reacción química es una simple mezcla de materiales	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 2	Las transformaciones químicas son procesos donde ocurren cambios de estado físico o de color	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 3	Dos sustancias se combinan y forman una tercera sustancia	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 4	Cuando dos sustancias se mezclan, se produce una reacción química	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 5	Las sustancias reaccionan unas con otras, éstas se descomponen, se combinan, dan o reciben electrones. Ácido + metal → hidrógeno + sal	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	II	A
RQ 6	Dos diferentes sustancias (se combinan) para formar algo más...se puede ver algún tipo de reacción	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 7	Calor (absorbido o liberado) y cualquier formación cristalina es evidencia de una reacción	¿Por qué y cómo ocurre?	Evidencia de que ha ocurrido una RQ	I	C
RQ 8	En una reacción de precipitación de CaF <sub>2</sub> , un cambio visible de color de un indicador ácido-base es una evidencia macroscópica de la reacción química	¿Por qué y cómo ocurre?	Evidencia de que ha ocurrido una RQ	I	C
RQ 9	La última capa... para el hidrógeno quiere ser de dos, pero para... todos los demás, ellos quieren llegar a ocho en su última capa... para que le guste completar la capa	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	II	B
RQ 10	Esto es justo una molécula de oxígeno, pero el oxígeno se separará porque esta más atraído a la molécula de hidrógeno porque pueden satisfacer sus electrones de valencia juntos. Entonces yo veo uno, la molécula de oxígeno partiéndose y moviéndose hacia los hidrógenos	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	II	B
RQ 11	Los iones de calcio y los ... iones de fluor. Ah, cuando ellos se ponen en contacto uno con otro y forman una molécula por un periodo de tiempo corto, se vuelve insoluble en agua. Se separa de la solución en forma de precipitado: sin embargo, el nitrato de sodio, cada vez un sodio y -iones de sodio y iones de calcio- se juntan, ellos son solubles y así se separan en sus iones otra vez y no forman precipitado	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	II	B
RQ 12	En un enlace iónico los iones pueden enlazarse sólo con contra-iones con los que han intercambiado electrones, en lugar de con cualquier ion adyacente cargado opuestamente	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	II	B
RQ 13	Una reacción entre un ácido y una base siempre produce una solución neutra	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	I	C

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 14 Las reacciones químicas ocurren para que los átomos puedan obtener la última capa del octeto/ un octeto de electrones	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	II	B
RQ 15 Las sustancias sólo reaccionan si gustan una de la otra	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	I	C
RQ 16 Debe ser aquella historia de 'semejante atrae a semejante'. Cuando alguna cosa es igual ellas tienden a reaccionar	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	I	C
RQ 17 Existe afinidad entre dos sustancias cuando sus moléculas encajan, como en un rompecabezas	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	II	B
RQ 18 La gente puede decir que una sustancia es afín a otra cuando existe una fuerza de atracción como en un imán. Sólo acontece la reacción cuando existe esa afinidad, esa fuerza	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	I	C
RQ 19 Una RQ ocurre debido a un agente causal —e. g. calor administrado, reactividad de una sustancia, diferente reactividad entre dos o más sustancias, o disolvente	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	I	C
RQ 20 El disolvente no participa para nada en la reacción	¿Por qué y cómo ocurre?	Influencia de un agente externo	I	C
RQ 21 Una RQ continúa ocurriendo hasta que todos los reactivos se han agotado	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Por qué ocurre?	I	C
RQ 22 Las RQ's son propiciadas por agentes externos [e. g. calor]	¿Por qué y cómo ocurre?	Influencia de un agente externo	I	C
RQ 23 La reacción química es... lo que pasa cuando mezclamos diferentes productos. Una explosión ocurre... algo pasa... su color cambia	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 24 Una reacción es un encuentro entre dos productos que causa un cambio... ellos se combinan, deben provocar algo... una liberación de gas... o un cambio de color	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 25 Dos productos son mezclados y algo más es producido, un nuevo producto	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 26 Para mí una reacción química es... el resultado de la unión de dos diferente productos químicos... así dos productos químicos mezclados dan un producto diferente... Hay una adición de los dos productos y el resultado de esta adición es un producto diferente	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 27 Un fenómeno es una reacción química cuando hay dos productos en el estado inicial. (Una reacción siempre empieza con dos sustancias)	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 28 La disolución de sal o azúcar en agua, el vapor de un perfume, hielo y hasta el fuego son considerados como un nuevo producto	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C

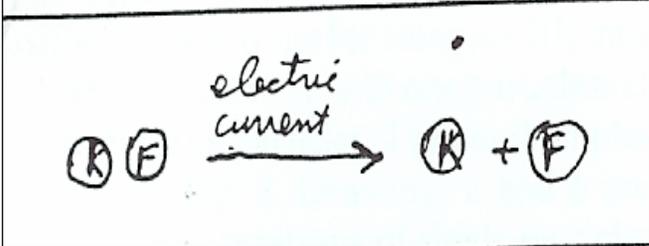
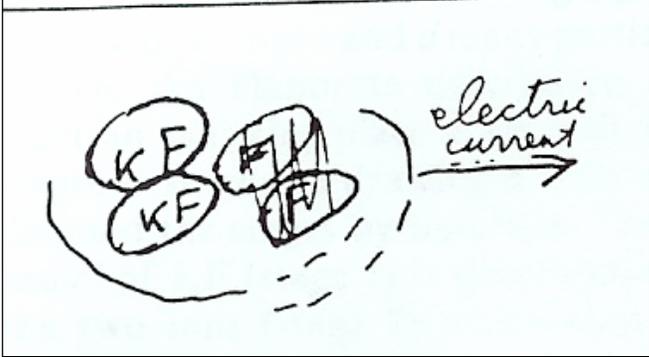
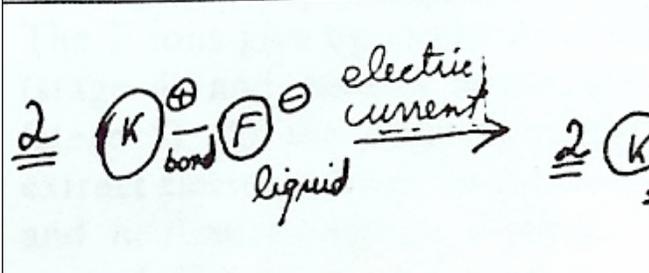
CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 29 Un huevo hervido no es un nuevo producto en comparación con un huevo sin cocer, porque 'era un huevo y todavía lo es'	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 30 Entonces es cuando... cuando la estructura de un cuerpo cambia	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 31 Dos moléculas dan una nueva molécula... que tiene una nueva estructura... eso es un cambio químico	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	II	B
RQ 32 Los catalizadores se emplean para aumentar la velocidad de las reacciones (no para disminuirla)	¿Por qué y cómo ocurre?	Influencia de un agente externo	I	C
RQ 33 Al elevar la temperatura se consigue siempre mayor eficiencia en todas las RQ's	¿Por qué y cómo ocurre?	Influencia de un agente externo	I	C
RQ 34 Cuando dos diferentes sustancias interactúan para formar una tercera sustancia, lo representamos como la unión de diferentes clases de partículas	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	II	B
RQ 35 La disolución y el cambio de estado son RQ's	¿Por qué y cómo ocurre?	¿Qué es?	I	C
RQ 36 El vapor es resultado de una RQ	¿Por qué y cómo ocurre?	Evidencia de que ha ocurrido una RQ	I	C
RQ 37 La formación de gas y el burbujeo son indicadores de una RQ	¿Por qué y cómo ocurre?	Evidencia de que ha ocurrido una RQ	I	C
RQ 38 No es posible porque, al acercar el imán, el hierro vuelve a su estado original. Cada sustancia conserva sus propiedades y se diferencian sus partículas a simple vista	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	I	C
RQ 39 No se puede producir un cambio de sustancia	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros		D
RQ 40 No, porque lo que hicimos fue un cambio físico	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	I	C
RQ 41 Si, porque el azufre es un no-metal y el hierro es un metal. Pueden formar un enlace iónico. En este caso no sería porque no hubo cambio químico	¿Por qué y cómo ocurre?	Otros	I	A
RQ 42 Un sólido se forma y como las partículas en un sólido están más juntas, es más denso y por lo tanto más pesado	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	II	B
RQ 43 Un sólido se forma, el cual tiene una mayor densidad que el líquido, entonces pesará un poco más	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 44 Un precipitado se ha formado, éste pesa más que los líquidos, los que disminuyen el peso	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C

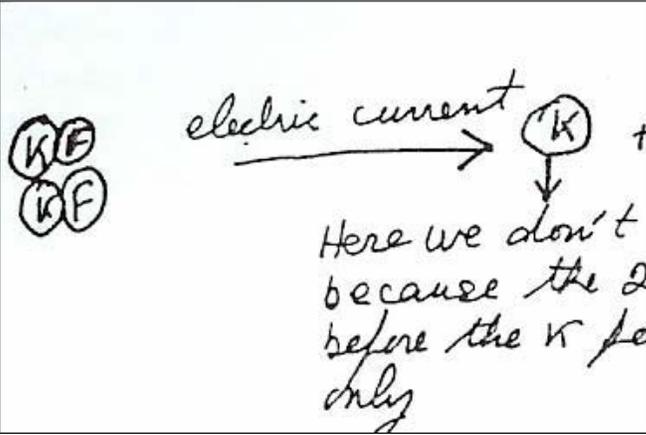
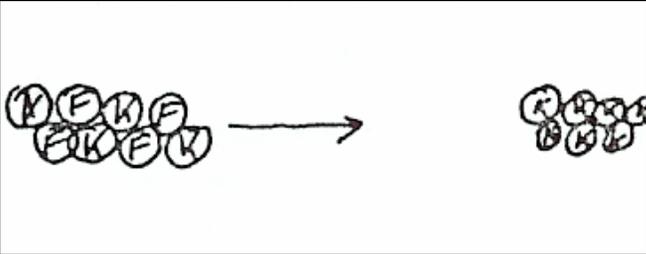
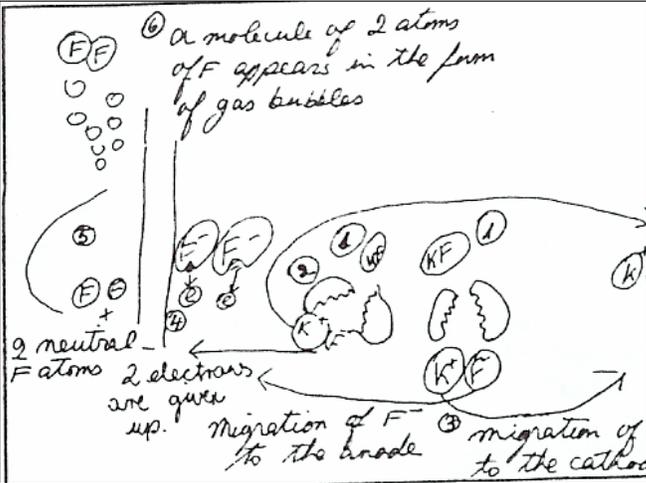
CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 45 Pesa menos porque parte del líquido se evapora	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 46 Los gases estaban atrapados en el compuesto agua (se refieren al oxígeno) y éstos se liberan cuando reacciona con la tableta	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 47 El peso se quema. Como el frasco tiene corcho nada puede desaparecer. Pero el oxígeno se ha usado porque una sustancia se ha quemado en el envase, el peso era menor	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 48 El humo ya estaba presente en la tableta, aunque pesa más en la forma comprimida	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 49 Cuando el fósforo se quema, el fósforo sólo se transforma en otra forma. Pesa lo mismo	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 50 [pesa] menos de 205 [g, el peso antes de la reacción], pero la energía (calor) causada por el fuego desaparece cuando el frasco se enfría	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 51 El humo no pesa nada. Un gas es formado para que el envase sea levantado. El gas es más ligero que un sólido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 52 La masa cambia porque un reactivo se agota	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 53 La masa cambia porque están presentes sustancias extra	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 54 La masa cambia porque se han formado nuevos enlaces	Conservación de la masa	Otros	II	B
RQ 55 La masa disminuye porque se ha formado un gas	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 56 Nada cambia porque no ocurre ninguna reacción	Conservación de la masa	Los 'decretos'		D
RQ 57 La energía se pierde o absorbe, por lo que la masa cambia	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 58 La masa cambia porque el fósforo se disuelve	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 59 La masa cambia porque los gases pesan menos que el sólido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 60 La masa cambia porque los líquidos pesan menos que el sólido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C

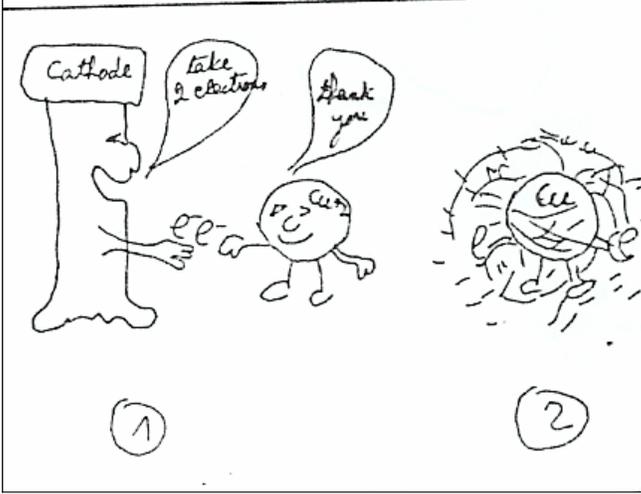
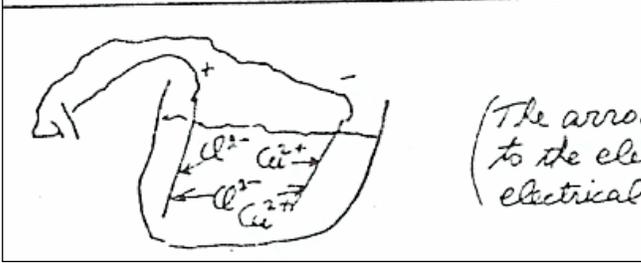
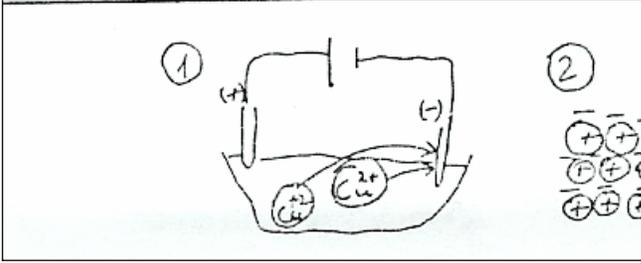
CA		Categoría	Subcategoría		
RQ 61	La masa cambia porque el fósforo se agota	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 62	La masa cambia porque el oxígeno está ahora incluido	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 63	La masa se incrementa porque el gas se disuelve en el agua	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 64	La masa disminuye al disolverse	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 65	La masa total decrece en una reacción de precipitación porque el precipitado es sólido y éste es más pesado que el líquido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 66	Cuando ocurre una reacción de combustión en un sistema cerrado la masa total decrece	Conservación de la masa	Los 'decretos'	I	C
RQ 67	En un sistema cerrado, en una reacción que produce gas hidrógeno el peso decrece ya que el hidrógeno es más ligero que el aire	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 68	Un precipitado es más pesado que un gas	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 69	Cuando un humo (gas) se disuelve en agua, el peso decrece	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 70	El tamaño del fósforo se incrementa cuando se quema	Conservación de la masa	Los 'decretos'	I	C
RQ 71	En un sistema cerrado, después de la reacción se producen nuevas sustancias por lo que el peso del sistema aumenta	Conservación de la masa	Formación o disminución de sustancias	I	C
RQ 72	El gas es más ligero que el sólido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 73	Cuando se disuelve el fósforo en el agua, sólo queda agua	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 74	Cuando dos disoluciones forman un nuevo producto en una sola disolución, el peso decrece	Conservación de la masa	La disolución de sustancias	I	C
RQ 75	La formación de un precipitado hace que se incremente el peso	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 76	Los sólidos son más pesados que los líquidos	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C

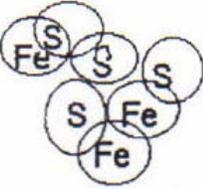
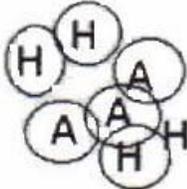
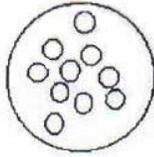
CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 77 Un sólido es más pesado que un gas	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 78 El precipitado producido es más pesado que el líquido	Conservación de la masa	Con relación al peso de los (s), (l) y (g)	I	C
RQ 79 Un clavo oxidado debe de pesar lo mismo que el clavo original	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 80 Un clavo oxidado debe de pesar menos que el clavo original	Conservación de la masa	Otros	I	C
RQ 81 El rompimiento del enlace es exotérmico	Enlaces y energía	Enlaces: rompimiento (exotérmico)/ formación (endotérmica)	II	B
RQ 82 La formación del enlace es endotérmica	Enlaces y energía	Enlaces: rompimiento (exotérmico)/ formación (endotérmica)	II	B
RQ 83 El enlace iónico resulta en un par de iones o algún tipo de enlace covalente	Enlaces y energía	Otros	II	B
RQ 84 La energía es creada en las RQ's	Enlaces y energía	La energía es creada o utilizada	I	C
RQ 85 La energía es utilizada en las RQ's	Enlaces y energía	La energía es creada o utilizada	I	C
RQ 86 Los enlaces químicos son almacenes de energía	Enlaces y energía	Enlaces: almacenes de energía	I	C
RQ 87 La energía que forma la gasolina no es realmente energía sino hasta que ésta se libera	Enlaces y energía	La energía esta almacenada	I	C
RQ 88 La energía es un reactivo que hay que añadir a la reacción	Enlaces y energía	La energía es un reactivo	I	C
RQ 89 Representan 3 H <sub>2</sub> como H <sub>6</sub> y 2 NH <sub>3</sub> como N <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Representaciones gráficas	No se asocian las formulas con una representación particular.	III	D
RQ 90 Los superíndices en las fórmulas son números utilizados en el balanceo y no representan agrupaciones atómicas	Estequiometría	No comprenden los coeficientes y los subíndices	III	B

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 91 Los coeficientes en las ecuaciones son números utilizados para balancear mecánicamente las ecuaciones y no representan el número relativo de especies que reaccionan o son producidas en las reacciones químicas	Estequiometría	No comprenden los coeficientes y los subíndices	III	B
RQ 92 Las ecuaciones químicas no representan las reacciones químicas a nivel corpuscular	Estequiometría	No comprenden los coeficientes y los subíndices	III	B
RQ 93 Las ecuaciones químicas no representan procesos dinámicos en los que las partículas/ moléculas reaccionan con otra para producir nuevas partículas /moléculas mediante el re-arreglo de átomos	Estequiometría	No comprenden los coeficientes y los subíndices	III	B
RQ 94 Representan al $\text{Cl}_2\text{O}$ con dos fragmentos: uno 'Cl <sub>2</sub> ' y el otro 'O'	Representaciones gráficas	Representaciones de sustancias.	II	B
RQ 95 Representan el gas $\text{Cl}_2\text{O}$ con una sola molécula [no hay un claro concepto de que el gas tiene varias moléculas]	Representaciones gráficas	No se relaciona el subíndice con el número de átomos en dibujos	II	B
RQ 96 Los alumnos no son capaces de distinguir entre $\text{N}_2\text{O}_2$ y $\text{N}_2 + \text{O}_2$	Estequiometría	No comprenden los coeficientes y los subíndices	III	D
RQ 97 En una reacción entre $\text{N}_2$ y $\text{O}_2$ no puede formarse $\text{N}_2\text{O}_5$ porque sólo hay $\text{N}_2$ y $\text{O}_2$ ¿De dónde sale el oxígeno adicional?	Estequiometría	A partir de los reactivos se explica lo que puede formarse	II	B
RQ 98 En una reacción entre $\text{N}_2$ y $\text{O}_2$ no puede formarse NO porque de acuerdo a la ley de la conservación de la masa, la masa del producto es menor	Estequiometría	A partir de los reactivos se explica lo que puede formarse	II	B
RQ 99 En una reacción entre $\text{N}_2$ y $\text{O}_2$ no puede formarse NO porque tenemos $\text{O}_2$ que no puede descomponerse ni tampoco el $\text{N}_2$	Estequiometría	A partir de los reactivos se explica lo que puede formarse	II	B
RQ 100 En una reacción entre $\text{N}_2$ y $\text{O}_2$ puede formarse $\text{NO}_2$ porque por alguna razón y debido a la reacción [el N] desaparecerá en el envase	Estequiometría	A partir de los reactivos se explica lo que puede formarse	II	B

CA	Categoría	Subcategoría		
<p>RQ 101</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones estáticas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 102</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones estáticas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 103</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones estáticas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>

CA	Categoría	Subcategoría		
<p>RQ 104</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones estáticas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 105</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones estáticas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 106</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones dinámicas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>

CA	Categoría	Subcategoría		
<p>RQ 107</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones dinámicas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 108</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones dinámicas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>
<p>RQ 109</p> 	<p>Representaciones gráficas</p>	<p>Representaciones dinámicas</p>	<p>II</p>	<p>B</p>

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 110 Existen átomos de diferentes formas y colores (i.e. circulares, triangulares, etc., rojos, azules, y así, un núcleo con una nube electrónica o bolas separadas por resortes)	Representaciones gráficas	Representaciones estáticas	III	B
RQ 111 Se trata de diferentes modelos utilizados con diferentes propósitos	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	A
RQ 112 	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B
RQ 113 	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B
RQ 114 	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B
RQ 115 	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B
RQ 116 	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B

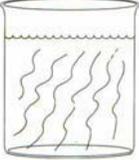
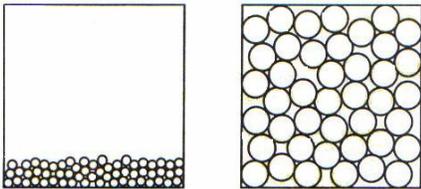
CA	Categoría	Subcategoría		
 <p>RQ 117</p>	Representaciones gráficas	Representaciones gráficas	III	B
RQ 118 El oxígeno no se considera como un reactante importante en la reacción de oxidación de la lana de hierro que se calienta, debido a su naturaleza «invisible»	Óxido-reducción: Generalidades	El papel del oxígeno	I	C
RQ 119 El combustible usado en el carro simplemente desaparece.	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué le ocurre a las sustancias?	I	C
RQ 120 La capa sólo se materializa, ya sea del aire en el caso del clavo o del agua en el caso de cobre	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 121 El cobre se pone oscuro por el calor	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 122 Al oxidarse el hierro se convierte en carbón	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 123 El acero gana peso cuando se quema porque la lana de acero ha cambiado al carbón, que es más pesado	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 124 La oxidación implica la 'desaparición' del hierro. La herrumbre 'se come' al metal de la misma forma que cuando lo ataca un ácido fuerte o como un hongo microscópico se come a la comida. Entonces, si eliminas la herrumbre, lo que queda del clavo pesa menos que el clavo original limpio	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 125 Calentar el cobre con el mechero logra que se queme la capa exterior del cobre, la cual se pone negra. El cobre pesa menos después de eliminar la cubierta, porque parte del cobre se ha ido con el óxido	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 126 Cuando el carbón se quema, se consume... como si creciera y se volviera viejo... se agota y no tiene más las propiedades físicas y químicas que acostumbraba tener, por que fue quemado por la llama	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 127 El estado de oxidación de un elemento es el mismo que la carga del ion monoatómico del elemento	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué le ocurre a las sustancias?	I	C
RQ 128 Una especie poliatómica puede ser asignada a un estado de oxidación y éste es igual a la carga de la especie	Óxido-reducción: Generalidades	Otros	I	C
RQ 129 En todas las ecuaciones químicas el 'adicionar' y el 'remover' el oxígeno e hidrógeno puede ser identificado como óxido-reducción	Óxido-reducción: Generalidades	El papel del oxígeno	III	B
RQ 130 En todas las ecuaciones químicas el cambio en las cargas de las especies poliatómicas puede ser usado para identificar la oxidación y la reducción	Óxido-reducción: Generalidades	Otros	III	B

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 131 La oxidación y la reducción son procesos que pueden ocurrir de manera independiente	Óxido-reducción: Generalidades	Otros		C
RQ 132 [El] quemado[:], dos sustancias forman una tercera sustancia, un compuesto	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 133 El óxido es formado cuando al hierro esta en contacto con gotas de agua	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 134 Corrosión es la forma de reacción química que tiene un clavo de hierro luego que se ha dejado en la lluvia	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 135 ...se provoco una reacción con el agua y una impureza del clavo	Óxido-reducción: Generalidades	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 136 La gasolina que se quema en un motor desaparece, convirtiéndose sólo una pequeña porción en los gases del escape	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué le ocurre a las sustancias?	I	C
RQ 137 La madera quemada se transmuta en carbón, ceniza y energía	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué le ocurre a las sustancias?	I	C
RQ 138 El gas sobre un mechero es el mismo que entró por la parte baja del mismo	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 139 La cera, el alcohol y el oxígeno no están activamente involucrados en la combustión	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 140 Las sustancias no participan en un cambio químico durante la combustión	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 141 Términos tales como evaporación y quemado pueden utilizarse intercambiamente cuando se describe la combustión del alcohol	Óxido-reducción: Combustión	Otros (combustión)	I	C
RQ 142 El oxígeno no posibilita la combustión	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 143 Una temperatura mínima no es necesaria para la combustión	Óxido-reducción: Combustión	Otros (combustión)	I	C
RQ 144 No se forman nuevas sustancias durante la combustión	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 145 Cuando la cinta de magnesio se quema, su masa decrece	Óxido-reducción: Combustión	Otros (combustión)	I	C

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 146 El fuego jala agua del plato sobre el cual está el vaso volteado con la esperanza de encontrar oxígeno, pues dentro del vaso se ha acabado	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 147 La cantidad de cera se conserva aún tiempo después de que la vela ha estado encendida	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué le ocurre a la cera?	I	C
RQ 148 La cantidad de cera decrece tiempo después de que la vela ha estado encendida debido a la evaporación de la misma	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué le ocurre a la cera?	I	C
RQ 149 La cera funciona como el soporte del pabilo que, al derretirse lentamente, tiene como función el control de la velocidad de quemado del pabilo	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué le ocurre a la cera?	I	C
RQ 150 La cera no participa en la reacción de combustión	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 151 El agua generada estaba en la cera	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Procedencia del agua	I	C
RQ 152 El agua generada estaba en el aire	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Procedencia del agua	I	C
RQ 153 La combustión de una vela es un proceso de evaporación	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué es la combustión de una vela?	I	C
RQ 154 La cera no se quema	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué le ocurre a la cera?	I	C
RQ 155 El oxígeno no participa en el proceso de producción del agua en la combustión de una vela	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 156 La combustión de la vela es un proceso físico que la ha llevado a otro estado físico, el líquido, pero manteniendo la cera como sustancia	Óxido-reducción: Combustión de una vela	¿Qué es la combustión de una vela?	I	C
RQ 157 El material oscuro que se forma sobre la varilla proviene de la combustión de la mecha	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 158 La mecha es la que se quema, no la cera	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 159 La película negra proviene de la combustión de la varilla, es decir, de una reacción en el vidrio	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C

CA	Categoría	Subcategoría		
RQ 160 El aire arriba de la llama es el mismo que entra por debajo del mechero	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 161 Sólo hay aire sobre la llama	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 162 Los colores de la llama durante la combustión estaban presentes en la madera	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 163 El humo ya estaba presente en la madera	Óxido-reducción: Combustión	Los reactivos no intervienen y los productos ya estaban ahí	I	C
RQ 164 La combustión de la madera, del alcohol y de una vela son diferentes fenómenos	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 165 La combustión es un cambio de estado (de sólido o líquido a gas)	Óxido-reducción: Combustión	¿Qué ocurre?	I	C
RQ 166 La combustión de una vela es endotérmica ya que requiere de calor para iniciar	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Otros (combustión de una vela)	I	C
RQ 167 Puedes ver pequeñas gotas de agua porque la llama se calienta y el calor se va como vapor y después se convierte en agua	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Procedencia del agua	I	C
RQ 168 Vapor de agua... no hay nada de agua en el alcohol. No veo que hace el vapor de agua ahí	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Procedencia del agua	I	C
RQ 169 Pequeñeces que arden... bacteria muy pequeña... oxígeno del aire... partículas de hidrógeno del aire	Óxido-reducción: Combustión de una vela	Procedencia del agua	I	C

Para el grupo sustancia, las categorías son 'sustancia' y 'sustancialización', el detalle del subgrupo se encuentra en la tercera columna.

CA	Categoría	Subcategoría		
Concepciones alternativas	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>		
S 1 Una sustancia es toda materia, todo lo que es material, y esta compuesto por átomos	Sustancia	¿Qué es una sustancia?	I	C
S 2 [Una sustancia] Es toda materia de la que se puede medir su masa, volumen, ...	Sustancia	¿Qué es una sustancia?	II	B
S 3 [Una sustancia] Es una mezcla homogénea o heterogénea compuesta por elementos o compuestos	Sustancia	¿Qué es una sustancia?	I	C
S 4 [Una mezcla] son sustancias, el aire, el agua, el azufre, la sal fumante, el cobre, la leche, el bicarbonato sódico y el zumo de naranja. Todas menos la luz, las ondas porque no son materia	Sustancia	Mezclas	III	C
 S 5 Representación de una solución de HCl	Sustancia	Mezclas	III	C
S 6 Las moléculas son mucho más grandes de lo que probablemente sean	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 7 Las moléculas de una misma sustancia varían en tamaño	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 8 Las moléculas de una misma sustancia pueden cambiar de forma en los diferentes estados de agregación	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 9 Las moléculas tienen diferente peso en los diferentes estados de agregación	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 10 Los átomos están vivos	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
 S 11 Representación de que les ocurre a las moléculas al calentarse	Sustancia	moléculas y átomos	II	B

CA		Categoría	Subcategoría		
S 12	Las moléculas de agua están compuesta de esferas sólidas	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 13	La presión afecta la forma de una molécula	Sustancia	moléculas y átomos	II	A
S 14	Las moléculas se expanden cuando se calientan	Sustancia	moléculas y átomos	II	A
S 15	El tamaño de un átomo depende del número de portones que contiene	Sustancia	moléculas y átomos	II	D
S 16	Las colisiones entre átomos alteran los tamaños atómicos	Sustancia	moléculas y átomos	II	B
S 17	Hay moléculas frías y calientes	Sustancialización	Sustancialización	II	D
S 18	Un metal es un buen conductor porque cada átomo es un buen conductor	Sustancialización	Sustancialización	II	A
S 19	En los líquidos las moléculas son pequeñas en forma de pequeñas gotas	Sustancialización	Sustancialización	II	A
S 20	El estado de agregación y diferentes propiedades de una sustancia pueden cambiar como $H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$	Sustancialización	Sustancialización	II	C
S 21	Las sustancias forman enlaces	Sustancialización	Sustancialización	II	D
S 22	Las sustancias cambian los electrones externos entre ellas. El óxido de hierro. Esto es oxidación, i.e. el hierro deja electrones	Sustancialización	Sustancialización	II	D
S 23	Las partículas de una sustancia tienen el mismo color que la sustancia	Sustancialización	Sustancialización	II	A
S 24	No es posible hacer reaccionar el hierro y el azufre	Sustancialización	Sustancialización	I	C
S 25	Se puede otorgar propiedades macroscópicas a las partículas de nivel atómico o molecular	Sustancialización	Sustancialización	II	A
S 26	No hay diferencia entre sustancia y mezcla a escala macroscópica	Sustancialización	Sustancialización	I	C

Para el grupo cambios físicos y cambios químicos, las categorías 'cambio químico', 'cambio físico' y 'expresa la confusión entre los cambios', el detalle del subgrupo se encuentra en la tercera columna.

CA	Categoría	Subcategoría		
Concepciones alternativas	Categoría	Subcategoría		
CF y CQ 1 Observar una fusión es suficiente para establecer que un cambio químico sucedió	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 2 Observar una disolución es suficiente para establecer que un cambio químico sucedió	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 3 La sustancia cambia de color, masa y estado, por lo tanto, parece ser obvio que ha tenido lugar un cambio químico	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 4 [el cambio físico] Cuando algo cambia su forma respecto de lo que era antes	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 5 [el cambio físico] Uno en el que una reacción no rompe los compuestos	Cambio físico	Cambio físico	II	B
CF y CQ 6 [el cambio físico] Cambio de propiedades... Puede fácilmente revertirse a su forma original	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 7 [el cambio químico]... Cuando la forma molecular se cambia por hacer algo, por ejemplo al añadir o quitar agua	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 8 [el cambio químico] Uno en el que los compuestos se rompen para formar nuevos compuestos	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 9 [el cambio químico] Cambiar a una forma o estado diferente. No es fácil de revertir	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 10 Frases como cambio físico o cambio químico pueden usarse alternativamente cuando se describe la combustión de cosas	Expresa la confusión entre los cambios	Expresa la confusión entre los cambios	I	C
CF y CQ 11 Una gran confusión entre las RQ's y las transformaciones físicas	Expresa la confusión entre los cambios	Expresa la confusión entre los cambios	I	C
CF y CQ 12 La mecha, por otro lado, se ha oxidado o quemado, que es un cambio físico	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 13 Es un cambio químico porque no está cambiando al sólido, está cambiando al estado gaseoso	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 14 Químico. Porque ni la varilla ni la vela han cambiado físicamente, por lo tanto hay un cambio químico	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 15 Físico: Estas quemando materia, no químicos. La película negra de la varilla es física: Residuo de la flama	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 16 Físico. Porque la puedes ver físicamente	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 17 Físico: Libera calor y luz. La película es humo de la flama	Cambio físico	Cambio físico	I	C
CF y CQ 18 Químico: Porque hay un sólo cambio de fase	Cambio químico	Cambio químico	III	D
CF y CQ 19 Físico. Porque es reversible	Cambio físico	Cambio físico	III	D

CA	Categoría	Subcategoría		
CF y CQ 20 Una disolución o un cambio de estado pueden caracterizarse como cambios químicos	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 21 No se discrimina consistentemente entre un cambio de fase, que los químicos llaman un cambio físico	Expresa la confusión entre los cambios	Expresa la confusión entre los cambios	I	C
CF y CQ 22 Si se puede escribir con ecuaciones químicas, entonces es una RQ.	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 23 $H_2O(l) + calor \rightarrow H_2O(g)$ que es la ecuación química para la evaporación del agua Los alumnos asumen que algunos fenómenos físicos son RQ's dado que las escribimos como tales.	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 24 No reconocen como fenómenos químicos algunos en los que sí indican que hay una RQ	Expresa la confusión entre los cambios	Expresa la confusión entre los cambios	I	C
CF y CQ 25 La dilución con agua de un jugo de fruta concentrado es un cambio químico	Cambio químico	Cambio químico	I	C
CF y CQ 26 La disolución del azúcar en agua es un cambio químico	Cambio químico	Cambio químico	I	C