

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**EL CONOCIMIENTO PEDAGÓGICO DE LOS CONCEPTOS CANTIDAD DE
SUSTANCIA Y SU UNIDAD MOL DE ALGUNOS PROFESORES DE
QUÍMICA UNIVERSITARIOS.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Q U Í M I C A
P R E S E N T A:
ANA MARÍA PONCE DE LEÓN ARREOLA



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.

Jurado asignado:

Presidente	Dra. María Pilar Rius de la Pola
Vocal	I.Q. Adela Castillejos Salazar
Secretario	Dra. Kira Padilla Martínez
1er Suplente	I.Q. Luis Antonio Huerta Tapia
2do Suplente	Q. Elizabeth Nieto Calleja

Sitio en donde se desarrolló el tema:

Departamento de Física y Química Teórica, Edificio "B", Facultad de Química,
Universidad Autónoma de México (UNAM)

Asesor del Tema:

Dra. Kira Padilla Martínez

Supervisor Técnico:

Dr. Andoni Garritz Ruiz

Sustentante:

Ana María Ponce de León Arreola

**Recibe señor mi libertad entera,
Recibe mi memoria,
mi inteligencia
y toda mi voluntad.
Todo lo que tengo y poseo me ha venido
de Ti
a ti te lo devuelvo y entrego sin reservas,
Dame solamente tu amor y tu gracia
Y nada más te pido,
Pues ya seré bastante rico**

Oracao e doutrina em familia.5. Petrópolis ,
Vozes ,1982

A mi madre

Por tu amor, tu apoyo, tu consuelo, por todo

A mi padre †

Por su tenacidad, fortaleza, por su amor.

A Salvador

Con todo mi amor

A Emiliano, Mariana y Rafael

Quienes son la causa de mis alegrías, la razón de mis desvelos, y la fuerza de mi existencia

A mis hermanos: Elsa, Hilda, Rafael y César

Por mantener nuestras manos unidas en todo momento.

A mis sobrinos, Oliva, Diego, Fátima, Daniel, Gilberto, Santiago, Estefanía.

Que con su alegre sonrisa, y su mirada expresiva me enseñan que siempre existe un rayo de esperanza.

A todos mis compañeros de la Generación de Químicos 87

Por tener tan presente el valor de la mistad

Agradezco profundamente a mi asesora Dra. Kira Padilla Martínez por todas sus enseñanzas y paciencia, también quiero agradecer al Dr. Andoni Garritz Ruiz por darme la oportunidad de participar en este trabajo.

Agradezco a todos los profesores que con gran entusiasmo, interés y apertura participaron en este trabajo, al cual le dieron un gran valor al aportar su experiencia, analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y ejercicios utilizados en el aula

Índice:

Introducción	1
Capítulo 1	6
1. Justificación teórica	7
1.1. Un poco de historia del PCK o CPC	7
1.2. Un nuevo método para obtener el CPC	14
1.3. Los perfiles conceptuales de Mortimer	19
1.4. EL Contenido	24
Capítulo 2	27
2.1. Hipótesis de trabajo	28
2.2. Metodología	28
2.2.1. características generales de los cuatro profesores entrevistados.	29
2.2.2. El CoRe	30
2.2.3. Del CoRe a los perfiles conceptuales	31
Capítulo 3	35
3. Resultados y análisis de resultados	36
3.1. El CPC de los profesores	36
3.2. Clasificación de las oraciones de los CoRes en los perfiles conceptuales.	41
Capítulo 4	48
4. Conclusiones	49
Bibliografía	52
Anexos	57
Anexo 1. Matriz CoRe	58
Anexo 2. PaP-er sobre el uso de analogías de cantidad de sustancia y otros conceptos en química.	59
Anexo 3. Documento sobre el uso de escalas de masas relativas de objetos comunes para la enseñanza del concepto de mol.	65
Glosario	70

Introducción

Introducción

Desde siempre los profesores que enseñan ciencia se han preocupado por que los temas que exponen a sus alumnos sean claros y atractivos, que les despierte una curiosidad por profundizar en lo que se les presenta. En la década de los 80's surge un gran interés sobre la enseñanza y se plantea la importancia de lo que deben saber y saber hacer los profesores de ciencias (Gil-Pérez, 1991; Shulman, 1986). A este conjunto de conocimientos se le ha denominado conocimiento pedagógico de contenido (CPC), ya que relaciona el conocimiento curricular con el pedagógico y filosófico que cada profesor posee. Este conocimiento es tácito y propio de cada individuo, por lo que hasta ahora se recomienda estudiarlo en forma individual, por ello ha sido más difícil para los investigadores educativos determinarlo.

El conocimiento pedagógico del contenido (CPC) ha sido una herramienta muy útil para determinar aquellos conocimientos relacionados con las creencias, actitudes y habilidades de cada profesor con su asignatura. Sin embargo, el CPC no es tan útil cuando se quiere clasificar cómo y en qué medida cada profesor utiliza uno u otro paradigma relacionado con los conceptos estudiados. Es por ello que en este trabajo hemos utilizado dos metodologías distintas. La primera es la determinación del CPC propuesta por Loughran *et al.* (2004) y, al mismo tiempo, los perfiles conceptuales de Mortimer (1995), los cuales nos han ayudado a plantear una ruta de pensamiento de los profesores.

Esta tesis intenta contestar la siguiente pregunta: Es posible documentar y clasificar correctamente el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) de los profesores universitarios sobre el tema de "cantidad de sustancia" utilizando para ello la metodología empleada por Loughran *et al.* (2004) y los perfiles conceptuales de Mortimer (1995). (Métodos que se detallan en el Capítulo 1 y en el Capítulo 2 se explica cómo se aplicaron al presente trabajo).

Ahora bien, ¿por qué se seleccionó este tema de contenido? Consideramos que el concepto de cantidad de sustancia forma parte de una de las unidades medulares del curso de Química General; además de que es muy

importante que los estudiantes aprendan de forma significativa y razonen el valor cualitativo de este concepto (Furió *et al.*, 1993) También consideramos substancial que tengan conocimientos sobre sus aplicaciones y sus usos (relaciones CTS). Una de las principales razones es que este concepto es muy difícil de enseñar y más aún de aprender. Es por ello que se considera interesante dado que documentando el pensamiento docente será posible obtener diversas formas de enseñarlo.

En esta investigación se documenta el CPC sobre “cantidad de la sustancia” de cuatro profesores en Química General tanto de la Universidad de Quilmes, (Argentina) como de la UNAM, (México). Las herramientas utilizadas para documentar el CPC docente fueron la representación del contenido (CoRe, por sus siglas en inglés *Content Representation*) y las repertorios de experiencias metodológicas profesionales y pedagógicas de los profesores (PaP-eR, llamado así por sus siglas en inglés *Professional and Pedagogical Experience Repertoire*). Cabe mencionar que para el desarrollo del objetivo del presente trabajo, se seleccionaron aquellos profesores que se distinguen por su exitosa labor en la docencia, así como una reconocida experiencia impartiendo la materia, además de ser profesores preocupados en la mejora de su enseñanza.

Para evaluar la estructura del conocimiento del profesor se trabajaron los resultados obtenidos con los profesores (CoRes) con el modelo del perfil conceptual de Mortimer, en tres pasos:

- El primer paso consistió en seleccionar, en consenso con los profesores entrevistados, las principales ideas centrales implicadas en la enseñanza de la “cantidad de sustancia”, una de las siete magnitudes fundamentales del sistema internacional de unidades (SI).
- En segundo lugar, cinco zonas conceptuales del perfil fueron definidas, siguiendo las pautas propuestas por Mortimer: Perceptiva/intuitivo, empirista, formalista, racionalista y racionalista formal.
- Finalmente, estas zonas fueron utilizadas como criterios para clasificar cada una de las ideas proporcionadas por cada profesor en el marco de

las preguntas del CoRe, de las cuales los gráficos conceptuales individuales del perfil fueron contruidos. Tales gráficos incluyen tanto el conocimiento epistemológico como el ontológico de cada profesor y ofrecen una primera aproximación hacia clasificación tomando como base en el conocimiento de los profesores, cuyas características de enseñanza pueden ser analizadas y discutidas.

La Facultad de Química (FQ) de la Universidad Nacional Autónoma de México siempre se ha caracterizado por la calidad académica que brinda a sus estudiantes, como mencionamos al principio en la década de los ochenta, surge un gran interés hacia CPC y en la FQ se han realizado algunas investigaciones relacionadas; sin embargo, al ser éste trabajo el primero sobre cantidad de sustancia, consideramos que aportará una nueva forma para documentar el CPC como de clasificación del pensamiento docente en términos del desarrollo epistemológico del concepto. Además, se podrá retroalimentar a las nuevas generaciones de profesores con diversas estrategias de enseñanza del concepto.

El desarrollo de un país depende en gran parte de la importancia que se le da a la investigación básica científica, siendo la química una de las más importantes. En este sentido es importante que todo ciudadano maneje aquellos conceptos fundamentales de Química. Para la sustentante de este trabajo, son buenos profesores los que además de todas las cualidades que los caracteriza (y que mencionaremos a lo largo del presente trabajo), son también grandes mercadólogos porque su función es interesar a los alumnos en áreas de Química, o por lo menos que sean concientes de que la importancia de un buen desarrollo químico, siempre va a tener un gran impacto en el progreso de la sociedad, y por lo tanto del país. Por lo que para la sustentante el participar en este trabajo, enriqueció su interés por prepararse para llegar a ser parte de los buenos profesores de Química y ser parte activa en el progreso de nuestro país.

Capítulo 1

1. Justificación teórica

1.1. Un poco de historia del CPC

En el verano de 1983, Lee S. Shulman (1999) dio una conferencia en la Universidad de Texas, en Austin, la cual tituló “*El paradigma perdido en la investigación sobre la enseñanza*”. En ésta especuló sobre lo que él denominó: “*el paradigma perdido*” y propuso al final de su presentación, que ese paradigma era el conocimiento de la materia de estudio y su interacción con la pedagogía seguida por los profesores. Esta propuesta sorprendió a todos, ya que hasta entonces los estudios sobre la enseñanza se habían enfocado en las formas de comportamiento del profesor, más que en las de su pensamiento.

Shulman planteó las siguientes preguntas: ¿Cómo es que el estudiante universitario exitoso que se convierte en un profesor novato puede transformar su pericia en la materia, de tal forma que los estudiantes de bachillerato puedan comprender? ¿Cuáles son las fuentes de las analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones y reformulaciones que el profesor usa en el aula? ¿Cómo es que los profesores toman una parte de un texto y lo transforman en instrucciones que sus estudiantes puedan comprender? (Garritz *et al.* 2004).

En 1986, Shulman publica las primeras ideas que resultan de los estudios sobre la interacción entre el contenido temático y la pedagogía. En este trabajo se burla de la frase de un siglo atrás de George Bernard Shaw: “*El que puede, hace. El que no puede, enseña*” y la rescribe al final de su artículo como “*Aquellos que pueden, hacen. Aquellos que entienden enseñan*”. Así mismo planteó que habría que distinguir entre tres tipos de conocimiento para poder ubicar el conocimiento que se desarrolla en las mentes de los profesores:

- a) Conocimiento del contenido temático de la materia

- b) Conocimiento pedagógico del contenido (CPC), “el tema de la materia para la enseñanza”.
- c) Conocimiento curricular.

De estos tres el que ha recibido más atención es el segundo: CPC. En 1987 Shulman define al CPC como: *“el conocimiento que va más allá del tema de la materia y que llega a la dimensión del conocimiento del texto para la enseñanza”* y comenta *“Hay que conocer el CPC, el cual es el conocimiento de principios genéricos de organización y dirección en el salón de clases; el conocimiento de las teorías y métodos de enseñanza”*.

Dentro del estudio de CPC se incluyen aquellos tópicos que son enseñados con mayor frecuencia en el área temática del profesor y que también son más difíciles de aprender por los estudiantes; también incluye aquellas formas más útiles de representación de estas ideas: analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones y demostraciones; es decir, las formas de representación y formulación del tema que lo hacen comprensible a otros (Shulman, 1987). El CPC representa el esfuerzo de cada profesor por hacer interesante, comprensible, importante y necesario determinado tema.

El CPC está regido por el entendimiento de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de temas específicos: conceptos, ideas y antecedentes que los estudiantes de diferentes edades traen al aprendizaje de los tópicos y las lecciones más frecuentes enseñadas. Cuando estas percepciones son erróneas, los profesores necesitan el conocimiento de las estrategias probablemente más fructíferas en la organización del entendimiento de los estudiantes, ya que es improbable que los cerebros de estos estudiantes se comporten como pizarrones en blanco.

En 1987, Shulman extiende las nociones del conocimiento básico, es decir, con lo que debe contar el profesor, incluyendo al menos los siguientes siete tipos de conocimiento:

1. Del contenido temático de la materia o asignatura (CA).
2. Pedagógico general.
3. Curricular.
4. Pedagógico del contenido (CPC).
5. De los aprendices y sus características.
6. Del contexto educativo.
7. De los fines, propósitos y valores educacionales y sus bases filosóficas e históricas.

La búsqueda del conocimiento del contenido pedagógico en la ciencia, ha propiciado el desarrollo de diversas metodologías para ilustrar y documentar la práctica profesional. Después de la presentación de la propuesta de Lee S. Shulman, se despertó un gran interés en la comunidad educativa sobre el CPC. Garritz *et al.* (2004) en su artículo muestran diferentes definiciones que se le ha dado al CPC, y algunos de los trabajos que se han realizado sobre el CPC relacionados con la enseñanza de Química. (Ver tabla 1 y 2)

Tabla 1		
Definiciones del CPC		
Año	Nombre del investigador	Definición de CPC
1990	Grossman	Identifica cuatro fuentes que generan y desarrollan el CPC: <ul style="list-style-type: none"> • Observación de clases. • Formación disciplinaria. • Cursos específicos durante la formación como profesor. • Experiencia de enseñanza en el salón de clases.
1991	Chefallard	Propone que el trabajo que transforma un objeto de saber enseñar en un objeto de enseñanza, es denominado la transposición didáctica.
1993	Cochran, DeRutier y King	Definen el CPC como el entendimiento integrado de los cuatro componentes que posee un profesor: <ul style="list-style-type: none"> • Pedagogía. • Conocimiento temático de la ciencia. • Características de los estudiantes. • Contexto ambiental de aprendizaje.
1998	Jong, Korhagen y Wubbels	Ubican, como una tendencia común importante, el creciente interés en los pensamientos de los profesores de ciencia, especialmente en el conocimiento de la asignatura y en sus concepciones del aprendizaje.
1999	Veal y MaKinster	Definen el CPC como la habilidad para traducir el contenido temático a un grupo diverso de estudiantes usando estrategias y métodos múltiples de instrucción y evaluación, tomando en cuenta las limitaciones contextuales, culturales y sociales en el ambiente de aprendizaje.

Tabla 2			
Investigaciones del CPC sobre la enseñanza de la Química.			
Año	Nombre del investigador	Actividad realizada	Conclusión
1993	Clermont, Krajcik, y Borko	Analizan el crecimiento del CPC de profesores de ciencia de nivel medio, por medio de un taller intensivo sobre la capacitación de la enseñanza de los conceptos de densidad y presión de aire.	Concluyen que el CPC es un sistema de conocimiento complejo y sugiere que sus diferentes componentes pueden mostrar diferentes velocidades de crecimiento en una actividad de capacitación
1994	Clermont, Krajcik, y Borko	Analizan el CPC de profesores de química expertos y principiantes que usan como estrategia "la enseñanza por demostraciones"	Los profesores con experiencia tienen un mayor repertorio que se adapta y representa mejor el tema que se pretende enseñar, también son más conocedores de la complejidad de las representaciones químicas y cómo puede interferir con el aprendizaje. "A menor complejidad de las demostraciones, mayores resultados efectivos en el aprendizaje."
1999	Veal	Un estudio sobre la evolución de futuros profesores de química de secundaria sobre aspectos de termodinámica	<ul style="list-style-type: none"> • El CPC está en función de su formación y experiencia anterior. • Demostró y desarrolló, un entendimiento fundamental de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, que servirá como base para el desarrollo de un CPC de dominio específico mayor

Continuación Tabla 2			
Año	Nombre del investigador	Actividad realizada	Conclusión
1998	Van Driel Verloop y de Vos	Realizan un estudio empírico enfocado al CPC del equilibrio químico, Incluyen una revisión en la literatura del CPC de profesores de enseñanza en ciencias.	Encuentran que las estrategias de enseñanza identificadas en el estudio no son útiles en un sentido universal, sino se refieren exclusivamente al tópico involucrado, estas estrategia adicionan un elemento único y valioso al conocimiento básico educacional.
2001	Dawkins y Butler	Analizan el CPC de siete estudiantes del profesorado de ciencias del segundo año universitario respecto al concepto del mol.	Las estrategias empleadas para la enseñanza, están influenciadas por libros de texto de química, en los que no se manejan los conceptos como los establecieron en la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), por ejemplo, el término “cantidad de sustancia”. Un entendimiento claro del concepto, no necesariamente implica que se usen las estrategias más adecuadas para la resolución de problemas relativos, a la proporción entre masa y mol.
2002	De Jong ,Veal y Van Driel	Realizan una recopilación de los estudios llevados a cabo con un enfoque, sobre el conocimiento básico de los profesores de química, centrándose sobre el CA y el CPC.	Los profesores de química con insuficiente CPC de tópicos específicos, pueden reforzar las concepciones alternativas de los estudiantes El conocimiento del aprendizaje y de las representaciones alternativas, son requisitos para la selección y uso de explicaciones analógicas apropiadas y efectivas. La selección de una estrategia para la enseñanza de cálculos estequiométricos.

Continuación Tabla 2			
Año	Nombre del investigador	Actividad realizada	Conclusión
2002	Van Driel, de Jong y Verloop	Analizan el crecimiento del CPC relativo a la macro-micro en la enseñanza de la química de 12 profesores, en formación durante el primer semestre de su año formativo como posgraduados. Evalúan su conocimiento de las concepciones y las dificultades de aprendizaje estudiantiles, y su participación en talleres de trabajo específicos.	Concluyen lo siguiente: Los profesores pueden hacer pruebas para saber qué conocimientos poseen sus estudiantes con respecto al macro – micro. Es necesario que los profesores midan el tiempo y el formato de cada sesión, al apoyar su clase en el uso de artículos de investigación educativa y talleres. Se ha demostrado que cuando los profesores novatos cuenten con un mentor con el que estén en continuo contacto, tiene un fuerte impacto en el desarrollo de su CPC
2003	Tregust Mamiala y	Analizan, con ejemplos, los cinco tipos de explicaciones que emplean los profesores durante sus clases introductorias de fisicoquímica y de química orgánica, acerca de los tres niveles de representación usados en la química: el macroscópico, el microscópico y el simbólico. Analógicas.- Un fenómeno o experiencia familiar se emplea para explicar algo poco familiar. Antropomórficas.- A un fenómeno se le dan características humanas para hacerlo más familiar. Relacionales.- Una explicación que es relevante dadas las experiencias personales de los aprendices.	Actualmente sabemos que las analogías facilitan el aprendizaje de un determinado tema , sin embargo se debe tener cuidado con las analogías utilizadas ya que en varias ocasiones éstas confunden más al alumno evitando aprender el tema con claridad y fluidez.

Continuación Tabla 2.			
Año	Nombre del investigador	Actividad realizada	Conclusión
2003	Vicente Talanquer	Junto con sus colaboradores en la Universidad de Arizona, ha trabajado en la elaboración de cursos de formación de profesores para la educación en ciencia.	Han logrado incorporar un curso de tres créditos con el nombre de "Métodos de Enseñanza del contenido", que trata sobre el CPC específico del área de concentración del futuro profesor. (biología, física ciencias de la tierra).
2004	Vicente Talanquer	Establece que las teorías constructivistas del aprendizaje, se han convertido en un paradigma dominante y que influye en el proceso de formación del profesorado. Además del debate entre lo que deben saber y saben hacer los profesores, pone en la mesa los planteamientos para crear las condiciones que ayudan a preparar buenos docentes	Sugiere elaboración de cursos para docentes, en los cuales se utilicen videos de profesores expertos de sus propias clases, para fomentar el análisis crítico, sobre la presentación del contenido o diseño de experiencias en el aula y en el laboratorio. Investigación de exámenes resueltos por los estudiantes, para fomentar el análisis tanto de la estructura y del contenido de los materiales, como de la respuesta de los alumnos.

1.2. Un nuevo método para obtener el CPC

Una de las mejores propuestas para obtener el CPC es la de los australianos Loughran *et al.* (2004), la cual ha mostrado funcionar como una buena aproximación para extraer el conocimiento pedagógico de contenido de cada profesor. Ellos buscaban lograr una manera eficaz de documentar e ilustrar el conocimiento pedagógico del contenido y presentaron su propuesta; en ésta van narrando, paso a paso, la investigación que realizaron por un periodo de dos años.

Comienzan destacando la importancia que se le ha dado en los últimos años al CPC de profesores que imparten las materias científicas, además del interés que se ha generado por tener mejores profesores de ciencias y, dentro de este contexto, plantean la forma en que se conceptualiza la imagen del profesor de ciencias como un ente constituido de dos partes esenciales: uno preocupado por la formación que le da su propio conocimiento científico (química, biología, matemáticas, física, etc.) y otro preocupado por su formación pedagógica, la que le ayuda a transmitir los conceptos de una forma exitosa a sus alumnos. Es dentro de este contexto que surge la necesidad de tener una escuela de formación de profesores de ciencias y precisamente en donde crece la importancia de conocer el CPC de aquellos profesores que son exitosos en las aulas, para de esta forma poder transmitir este conocimiento a otros profesores; es decir, ir creando una escuela de formación de profesores de ciencias y tener parámetros de medida al examinar a un profesor.

También presentan las dificultades que han enfrentado varios investigadores, en este intento de captar y documentar el CPC de los profesores de ciencias y es porque se dan cuenta de que el CPC es una parte esencial del profesor; el cual se va enriqueciendo a lo largo de su experiencia en las aulas, se fortalece con las prácticas en laboratorio y va dotando al profesor de una habilidad que le ayuda a estimular al estudiante, para que éste se interese en el concepto que se le presenta y hacer fácil su entendimiento.

Loughran *et al.* (2004) narran el trabajo de un experto pedagogo, Berliner (1988) quien concluyó que las maneras tradicionales de estudiar el CPC, hasta ese momento, no eran las más adecuadas. Finalmente, diversos investigadores (Cochran *et al.*, 1999; Connelly *et al.*, 2000; Fenstermacher *et al.*, 1993; Korthagen *et al.*, 1996; Richardson, 1994) en una búsqueda por documentar y analizar el CPC de los profesores, encontraron que la vivencia de cada profesor en el aula es la

parte esencial y que busca transmitir a otros este conocimiento en la formación de nuevos profesores y la actualización de los ya existentes.

Es precisamente en esta búsqueda de lo que saben y saben hacer los profesores de ciencias en la que está fundamentada la investigación de Loughran *et al.*,(2004) quienes presentan la metodología utilizada para obtener el CPC y que está basada en dos herramientas fundamentales: el CoRe y los PaP-eRs que están definidas como:

CoRe.- Es el conocimiento particular que posee el profesor sobre un contenido científico, es decir un tema en concreto y lo llaman la representación del contenido.

PaP-eR.- Se liga a la práctica de la enseñanza y lo llaman repertorio de la experiencia profesional y pedagógica.

Loughran presenta los CoRes de profesores australianos de secundaria que imparten la asignatura de ciencia básica, así como la relacionada a su propia formación (química, biología, física.) esto hace que los resultados obtenidos estén más enriquecidos, tanto por la experiencia con alumnos que cursan la materia por obligación, porque así lo exige su historial académico, como de aquellos que la cursan como optativa. Estos investigadores trabajaron en tres escenarios distintos:

El primer escenario fue la entrevista a profesores durante una hora y media, durante la cual se obtuvieron datos sobre procedimientos de enseñanza, historias acerca de episodios en las aulas y detalles acerca de la pedagogía en general. (Participaron 24 profesores de secundaria de diversas materias (Ciencia General, Química, Biología). En el segundo, se realizaron observaciones en el salón de clases y con los datos obtenidos se hicieron críticas, que incidieron en la enseñanza y el aprendizaje de los alumnos en el aula (participaron 12 profesores de ciencia de secundaria). En el tercero se formaron pequeños grupos de profesores de ciencia con quienes se trabajó en

el desarrollo de la representación del contenido. Se utilizó una tabla en la que contestaron ocho preguntas fundamentales.

Con los datos obtenidos se desarrolló el contenido básico conceptual de la enseñanza de un tema particular. El objetivo de este tercer paso era desarrollar el CoRe para aproximarse a tratar de comprender la visión del conocimiento del contenido de los profesores de ciencia, a través del análisis de sus respuestas sobre un contenido específico (los participantes profesores de secundaria, pero en esta ocasión se formaron diez equipos de tres o cuatro profesores cada uno).

Es en el tercer escenario donde se emplearon las dos herramientas que mencionamos anteriormente PaP-eR y CoRe, este último precisa y discute aspectos particulares del CPC de los profesores, por ejemplo: una descripción de las ideas principales, las formas alternativas del concepto, permite esclarecer el entendimiento del concepto, ayuda a ordenar eficazmente los puntos que están en confusión y a enmarcar las ideas.

El PaP-eR surge de la práctica real, del contenido de un área en particular y por lo tanto se une a ese contenido. Es decir, ayuda a ver claro diversos aspectos del mismo. El CoRe está enfocado al contenido de un tema en particular, es decir, a lo que sabe el profesor de este tema y el PaP-eR se enfoca a la práctica en las aulas, a la parte pedagógica por lo que ambas herramientas se complementan. En el CoRe estos investigadores proponen llenar un formato que consiste en contestar las siguientes ocho preguntas de un tema en particular:

1. ¿Qué intentas que los estudiantes aprendan alrededor de esta idea?
2. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender esta idea?
3. ¿Qué más sabes de esta idea (lo que tú no vas a enseñar por ahora a los estudiantes)?
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de esta idea?

5. ¿Qué conocimiento acerca del pensamiento de los estudiantes influye en la enseñanza?
6. ¿Qué otros factores influyen en la enseñanza?
7. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con esta idea?
8. ¿Qué maneras específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos?

Loughran *et al.* (2004) comentan que el desarrollo de estas preguntas aplicadas a grandes ideas (contenidos, temas), da un aspecto importante para articular el CPC, porque ofrece acceso a la manera en que los profesores abordan el tema. Cuando los profesores de ciencia comienzan a “desempacar” su conocimiento sobre el contenido contestar el CoRe les ayuda a centrarse en las materias con el propósito de aclarar el desarrollo del tema para el profesor y sus estudiantes.

En cuanto al PaP-eR, éste está ligado al CoRe y ambos ayudan al lector a seguir de manera manejable, lo que significa una reproducción de todo el trabajo dentro del cuerpo de este informe. En la combinación de estos dos documentos se pueden encontrar nuevas formas de ilustrar ejemplos concretos del CPC de los profesores de manera más accesible y entendible. Con esto Loughran *et al.* (2004) concluyen que una de las características que distinguen en la información obtenida de su investigación, es que utilizando este método se obtiene un discernimiento sobre el conocimiento de los profesores de ciencias, facilitando su entendimiento, las opiniones de su enseñanza, la práctica en respuesta de lo demandado por sus estudiantes.

El método que desarrollaron, combina la necesidad de ligar el contenido de la ciencia a las descripciones de la pedagogía, apoyados por contenido representado en un CoRe, con compenetraciones pedagógicas de los profesores y los repertorios de la experiencia profesional PaP-eR de una manera tal, que puedan ofrecer ventanas al CPC del profesor. Así, las habilidades, el conocimiento y la

práctica del experto en ciencia, se pueden entender mejor y por lo tanto valorar altamente dentro de la comunidad de la educación.

El CPC surge de una construcción académica aceptable hacia un marco útil, para que los profesores desarrollen y compartan el conocimiento específico que tienen de su práctica docente y aquellas formas significativas con que distinguen el desarrollo del conocimiento profesional y de la práctica. Esto permitirá nuevas maneras de ver y de valorar el trabajo de los profesores expertos de la ciencia.

Loughran *et al.* (2004) proponen el uso del CoRe y del PaP-eR a los departamentos encargados de la capacitación de profesores y de actualización de temarios en las asignaturas de la ciencia, para obtener un eficaz acercamiento del CPC de profesores expertos, y así lograr una mejor formación de profesores y por lo tanto un aprendizaje más efectivo de los profesores inexpertos y los estudiantes.

1.3. Los perfiles conceptuales de Mortimer (1995)

Una propuesta interesante para clasificar el pensamiento del profesorado es la desarrollada por Mortimer, quien propone una clasificación desde el punto de vista de los usos del concepto en cada contexto. Esta propuesta es un nuevo modelo para analizar la evolución de los conceptos científicos dependiendo de cómo ha sido el proceso de aprendizaje del individuo y de la utilización personal que se hace de cada uno. Este modelo se caracteriza porque trata de diferenciar las diversas formas de pensamiento, al hacer un análisis del concepto en estudio.

Según este modelo, conforme uno va adquiriendo el conocimiento científico, va modificando al mismo tiempo, su perfil epistemológico. Lo que provoca un cambio conceptual longitudinal. Este cambio comienza en las diferentes zonas del perfil en las cuales incluye las ideas científicas. Al conjunto de zonas conceptuales les denomina perfil conceptual.

Para ejemplificar cómo la noción de perfil conceptual puede ayudar a entender la evolución de los conceptos en el salón de clase, Mortimer (1995) determina que las diversas zonas que constituyen el perfil se forman a través de un desarrollo epistemológico y ontológico de los conceptos, en este caso presenta los perfiles conceptuales para el átomo y de los estados físicos de la materia.

Comenta que la noción del perfil conceptual permite considerar el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una nueva perspectiva. Para aprender, los estudiantes tienen que superar algunas limitaciones, que los motivan a cambiar su perfil conceptual. Para enseñar, el perfil conceptual implica derrumbar los obstáculos epistemológicos y ontológicos de los estudiantes y actuar en consecuencia.

Cuando Mortimer habla del perfil conceptual, se refiere a cómo aprendió el concepto el estudiante, en qué entorno lo aprendió, y muestra las siguientes clasificaciones hechas para el concepto de masa dentro del contexto histórico de la física:

Realista: se refiere a las percepciones que tiene cada individuo sobre la masa.

Empirista: se refiere a las escalas de medición.

Racional Clásica: la concepción de masa que se tiene desde una perspectiva clásica.

Racional Moderna: la concepción de masa desde una perspectiva relativista.

Todas estas clasificaciones son válidas bajo el contexto en el que fue adquirido el conocimiento. En su artículo, Mortimer (1995) presenta el perfil conceptual de un físico y el suyo propio (el de un químico) y comenta lo siguiente:

“Si observan mi perfil epistemológico yo resulto ser más empirista comparado con el perfil epistemológico de un físico, el cual es Racional Clásico, hablando del concepto de masa”,

y esto se explica porque al ser químico, ha pasado la mayor parte del tiempo en el laboratorio, trabajando con escalas. En cambio, el Físico trabaja la mayor parte de su tiempo con ecuaciones matemáticas, por lo que él refiere el concepto de masa a la propuesta ontológica de Newton. Una característica importante que puede distinguir al químico y perfil del físico del de un estudiante principiante, es que los anteriores son conscientes de su perfil y pueden utilizar cada noción en el contexto apropiado, mientras que el último no logra este sentido.

Mortimer (1995) titula este artículo con una pregunta: *¿Cambio conceptual o cambio de perfil conceptual?*, y lo hace debido a que han existido varias investigaciones en las últimas dos décadas que han generado una visión constructivista sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje. A pesar de la gran variedad de versiones que aparecen en la literatura, hay por lo menos dos características principales que parecen ser compartidas por las diversas propuestas: *“El aprendizaje comienza con la participación activa del estudiante en la construcción del conocimiento”*. (Driver 1989). Esta idea corresponde a un modelo de enseñanza-aprendizaje en donde ocurre el cambio de las ideas alternativas de los estudiantes a conceptos científicamente aceptados. Este modelo propone explicar o describir el proceso por el cual la gente cambia unos conceptos por otros, cuando los segundos no son compatibles con los primeros. (Posner *et al.*, 1982)

La mayoría de las estrategias en enseñanza de las ciencias están relacionadas al cambio conceptual. Deben tener de forma implícita o explícita relación con las ideas previas de los estudiantes, ya sea que las abandonen o las incluyan en el proceso de la enseñanza. Solamente algunos autores han reconocido explícitamente la imposibilidad de efectuar el cambio que da lugar al reemplazo de las ideas iniciales de los estudiantes, algunos otros han demostrado la posibilidad de la coexistencia de dos significados para un concepto (Chi, 1991). Linder (1993) discute que la coexistencia es posible incluso dentro de conceptos

científicos y da ejemplos relacionados a la física mecánica, la óptica y la electricidad, en donde no están en concordancia los conceptos clásicos y modernos de los mismos fenómenos. Solomon (1983) ha precisado que “*los medios no se deben encontrar para extinguirlos (las nociones diarias)*”. Chi, en 1991, demostró recientemente la posibilidad de la coexistencia de dos significados para un concepto, los cuales están alcanzados en el contexto apropiado.

Mortimer (1995) muestra el análisis del concepto de la materia, analiza cómo se va pasando por varias etapas:

1. La materia es todo lo que es sólido.
2. La materia está formada por átomos, por partículas y entre ellas existe un espacio subatómico.
3. La materia está formada por cuantos y aquí entra la ecuación de onda de Shrodinger.

Dentro de la clasificación de Mortimer, estas ideas quedarían como sigue:

La materia es todo lo que es sólido	<u>Realista o Empirista</u>
La materia está formada por átomos, por partículas y entre ellas existe un espacio subatómico.	<u>Racional Clásica</u>
La materia está formada por cuantos y aquí entra la ecuación de onda de Shrodinger	<u>Racional Moderna</u>

Dependiendo del medio en que se desarrolle la persona utiliza los distintos significados; sin embargo, éstos forman un todo dentro del pensamiento del individuo y no se sustituyen mutuamente. Dado que Mortimer (1995) plantea la importancia del entorno en el que los conceptos son aprendidos, por ejemplo el concepto de masa dentro de la zona empirista, se complementa con el concepto realista que tiene el Físico. De esta forma el profesor puede indagar qué perfil conceptual tienen sus alumnos y a partir de éste ampliarlo, dando como resultado la existencia de ambas zonas conceptuales en el pensamiento del estudiante.

Así pues, Mortimer comenta que el proceso de la enseñanza incluye, por lo tanto, el uso explícito de la idea alternativa, de su crítica y de la evaluación de su dominio. Sin embargo, no incluye la sucesión de ideas alternativas, ni la subida o bajada de un concepto en la mente de una persona, entendiéndose como el grado en el cual el concepto cumple las tres condiciones (ser inteligible, plausible y fructífero). Con esta idea se comenta que el perfil conceptual no va a cambiar ya que el conocimiento tiene diferentes niveles y el individuo utiliza el concepto dependiendo del medio en que se esté desarrollando, en que esté trabajando o a quien se esté explicando.

Por ejemplo Scott (1987) investigó el desarrollo de las ideas de una estudiante de secundaria referente a la materia y encontró que esa estudiante, al final de la enseñanza, podía distinguir claramente entre sus conocimientos de la vida diaria y el conocimiento científico, además de comprender que cuando habla con su madre (quién no tiene ningún conocimiento científico) es más útil emplear los primeros.

Mortimer (1995) sugiere utilizar la noción del perfil conceptual de los estudiantes para observar la evolución de un concepto determinado en el salón de clases y posteriormente analizarlo, no como cambio de concepto, sino como un cambio acompañado por la adquisición del sentido del perfil conceptual del estudiante, desde esta perspectiva es posible analizar el proceso del aprendizaje del estudiante antes y después de la enseñanza de un tema determinado. Es por lo anterior que en este trabajo realizaremos el análisis de la evolución conceptual considerado por Mortimer, utilizando como herramienta la metodología de Loughran; es decir, utilizaremos una propuesta combinada entre Loughran (2004), y Mortimer (1995). Pero antes de describir los detalles empleados en nuestro diseño experimental, encontramos de gran interés analizar el contenido a estudiar a través de los trabajos desarrollados por Carles Furió (2000), en donde

hace hincapié en los tropiezos que se tienen cuando se enseña el concepto de “cantidad de sustancia” y su unidad “el mol”.

1.4. El contenido

Diversos autores han estudiado al mol, más que a la cantidad de sustancia. Johnstone *et al.* (1971) consideraron al mol como la principal fuente de dificultades para que los estudiantes aprendan química de forma significativa. Mucho se ha investigado sobre las dificultades que se encuentran en la enseñanza y aprendizaje de este concepto (Novick y Menis, 1976; Kolb, 1978; Dierks, 1981; Gabel, y Sherwood, 1984; Nelson, 1991; Furio, Azcona, Guisasola y Ratcliffe, 2000). Finalmente, después de analizar y comparar los resultados de estas investigaciones se encontró que la mayoría de los profesores y textos utilizan el término “número de moles” en lugar de utilizar “cantidad de sustancia” aunque la UIPAC no lo recomienda. El uso de ese término es tan incorrecto como si en lugar de utilizar masa se utilizara “número de gramos” o “número de metros” en lugar de longitud.

Existen muchas investigaciones sobre los problemas involucrados en el proceso de enseñanza-aprendizaje del concepto de cantidad de sustancia; sin embargo, uno de los autores que más ha trabajado en este tema es Carles Furió. En uno de sus artículos Furió *et al.* (2000) reportan una investigación, que tiene como objetivo encontrar las razones por las que se dificulta la enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y mol y en donde plantean la siguiente hipótesis de partida:

“Existe una carencia en los conocimientos de los profesores relacionados a la historia del concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol, lo que da origen a la confusión para la enseñanza de estos conceptos”.

Esta investigación comienza analizando los orígenes y hace un desarrollo histórico breve sobre los conceptos cantidad de sustancia y su unidad mol, y termina tratando de clarificar los significados actuales que tienen los profesores dentro de la teoría atómico–molecular de la materia. Los autores hacen un análisis relacionado a la idea que tienen un grupo de profesores de secundaria de los conceptos de cantidad de sustancia y mol. Hacen una descripción de los ejemplos que éstos utilizan e incluyen un análisis sobre las imágenes que de estos conceptos transmiten los libros de secundaria y bachillerato más utilizados en España. Estas imágenes están relacionadas con una correcta introducción del concepto por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y con la enseñanza histórica del mismo. En este sentido se muestran algunos de los resultados reportados sobre esta investigación:

Furió *et al.* (2000) reportan que la gran mayoría de los profesores confunden el concepto de cantidad de sustancia con: número de entidades elementales, masa y volumen, y muy pocos profesores asocian la cantidad de sustancia con una idea cualitativa atomista. Con respecto a los libros de texto, reportan que la gran mayoría no introduce el concepto de cantidad de sustancia. Hacen un uso indiscriminado del término número de moles y no lo relacionan explícitamente con la magnitud. También detectan la introducción de problemas relacionados con el cálculo de número de moles. Las ideas que con respecto a mol reportan Furió *et al.* (2000) son que los profesores:

- No especifican la necesidad por la que se introdujo este concepto. No hacen comentarios históricos.
- No hacen ningún acercamiento cualitativo al concepto antes de su introducción.
- Consideran más sencillo relacionar cantidad de sustancia con masa que relacionarla con las entidades elementales.
- No la relacionan con la magnitud fundamental cantidad de sustancia.

Como conclusión a este trabajo comentan: *“Es necesario que los profesores que enseñan química tengan una comprensión profunda del concepto para poder lograr un aprendizaje de calidad. La falta de un dominio adecuado sobre este concepto provoca la existencia de transposiciones incorrectas de mol”* ya que dado que el significado ontológico de éste es atribuido a Ostwald a principios del siglo XX, hacen caso omiso del cambio de significado que ocurrió con la consolidación de la teoría atómico- molecular dentro de la química moderna.

La forma en que se introduce el concepto de mol a los estudiantes revela deficiencias epistemológicas que podrían ser la causa de los problemas de aprendizaje. Para la buena enseñanza de cualquier tema, en primer lugar los profesores requieren tener alto grado de conocimiento de la disciplina que van a impartir, y esto implica saber por qué se originó y cómo ha ido evolucionando el concepto, desde su origen hasta la actualidad y lo que esto ha implicado.

Las dificultades de la enseñanza relacionadas con los conceptos estudiados son debidas a que los profesores carecen de conocimiento social-histórico de estos conceptos, así como la evolución de los mismos y la adopción de la teoría atómico–molecular de la química moderna.

En este trabajo, además de analizar las ideas que tienen los profesores sobre cantidad de sustancia y mol también nos interesa hacer un análisis en términos históricos del pensamiento docente. En este sentido plantearemos la existencia de dos paradigmas que coexistieron durante los siglos XIX y XX, los cuales nos permiten hacer una clasificación general de las ideas. El primer paradigma es el equivalentista, que niega la existencia de los átomos y las moléculas, además hace uso de la masa para la determinación de las relaciones estequiométricas. El segundo paradigma es el atomista, el cual surge de la suposición de que las sustancias están formadas por átomos y que en estos términos pueden ser cuantificadas.

Capítulo 2

2.1. Hipótesis de trabajo

Para hacer el desarrollo experimental en términos de lo que deben saber y saben hacer los profesores de química universitarios sobre la cantidad de sustancia, hemos planteado una hipótesis de trabajo, la cual nos servirá de guía para la propuesta experimental:

“Los profesores universitarios de química presentarán diversas formas de abordar el concepto de cantidad de sustancia y su unidad el mol dependiendo de su propia formación, creencias y actitudes hacia este concepto.”

Con esta hipótesis lo que tratamos de mostrar es que al obtener el CoRe de cada profesor, podremos detallar las líneas de pensamiento relacionadas con los dos paradigmas que estuvieron encontrados durante el siglo XIX (el atomista y el equivalentista). Así pues, algunos profesores tenderán a ser más equivalentistas (enseñaran la cantidad de sustancia como una masa) y otros tenderán a ser más atomistas (tenderán a enseñar la cantidad de sustancia desde el punto de vista atómico).

2.2. Metodología

Para comprobar nuestra hipótesis trabajamos una metodología combinada. Empezamos con la propuesta de Loughran *et al.* (2004) y continuamos (para la clasificación del pensamiento docente) con la propuesta de Mortimer (1995). Como ya se comentó en la justificación teórica, Loughran *et al.* (2004) desarrollaron un cuestionario para ser contestado por el grupo de profesores en estudio. Este cuestionario se aplica para las ideas más importantes relacionadas con un tema determinado y abarca ideas tan generales como: a qué problemas se enfrentan más frecuentemente en un salón de clase al abordar el tema, de qué analogías, ejemplos y formas de exponer el tema a los estudiantes han desarrollado para obtener éxito, también se les pide que comenten sobre los problemas más comunes que enfrentan los

estudiantes al presentarles el tema, qué información tienen los estudiantes que les dificulte abordar el tema en cuestión y de qué información carecen los estudiantes para poder abordar con claridad el tema que se les está presentando. Los resultados más importantes se presentan en una matriz que el investigador puede consultar y comparar entre los profesores participantes.

En la presente investigación se han modificado las preguntas utilizadas por Loughram *et al.* (2004), porque se pensó que hay más ideas (como las históricas, epistemológicas, filosóficas, y las de ciencia, tecnología y sociedad (CTS)) relacionadas con los conceptos estudiados y que el cuestionario original no considera. El contenido que vamos a desarrollar es el estudio de la cantidad de sustancia y su unidad el mol, porque es la magnitud más importante de la química, y una de las más difíciles de enseñar y aprender. Todos los profesores tienen que utilizar este concepto en sus cursos de Química General.

2.2.1. Características generales de los cuatro profesores entrevistados

Los profesores que participaron en este proyecto son: dos mujeres y dos varones, tres de ellos trabajaban de tiempo completo en la Facultad de Química, UNAM y otro en la Universidad de Quilmas, Argentina. Para preservar su anonimato señalaremos a todos los educadores de aquí hacia adelante como féminas, sin importar su género. La profesora 1 tiene 15 años de experiencia de enseñanza, tiene el Doctorado en Química e hizo una estancia posdoctoral en una renombrada universidad extranjera. Las profesoras 2 y 3 tienen el grado de Licenciatura y tienen más de 30 años de experiencia en la enseñanza. La profesora 4 tiene el grado de Doctora y casi 30 años de experiencia de enseñanza.

2.2.2. El CoRe

Primeramente se tuvo una entrevista con cada una de las profesoras, en la que se les invitó a participar y se les explicó la forma como se

desarrollaría la investigación. Una vez que las profesoras aceptaron participar, se decidió seguir la siguiente metodología:

- Estar presente en el salón de clases de cada una de las profesoras, cuando estas impartieron el tema de cantidad de sustancia y su unidad el mol, tomando video de la clase y notas de las mismas.
- Se elaboró un cuestionario basado en las investigaciones realizadas por Loughran *et al.* (2004). Como ya se comentó, se modificaron las preguntas utilizadas por Loughran. Estos cuestionarios constan de las siguientes ocho preguntas, que fueron contestados por cada uno de los profesores de forma individual. (Tabla 3)

TABLA 3

1. ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto y qué intentas que aprendan sobre el mismo?
2. Dentro del contexto CTS (Ciencia, tecnología, sociedad), ¿por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?
3. ¿Qué conocimientos sobre historia, epistemología y filosofía de este concepto tienes?
4. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas al aprendizaje de este concepto?
5. ¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto?
6. ¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influyen en tu enseñanza de este concepto?
7. ¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.?)
8. ¿Qué formas específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre el concepto?

Cada una de las ocho preguntas fue aplicada para aquellas ideas más importantes y que están relacionadas a cantidad de sustancia. Para su elección se le pidió a cada profesora que propusiera aquellas ideas que consideraba fundamentales. Después de analizar sus propuestas, los investigadores seleccionaron aquellas en las que había coincidencia y que también les parecieron de suma importancia. Así pues, quedaron seis ideas centrales que se muestran en la tabla 4:

Tabla 4.

- Magnitudes Fundamentales del Sistema Internacional. Cantidad de Sustancia.
Masa Atómica Relativa y Masa Atómica Absoluta
Mol, Unidad de la cantidad de sustancia
Masa Molar
Hipótesis de Avogadro y Volumen Molar
Número de Entidades Elementales y Constante de Avogadro.

De esta forma las profesoras tenían que contestar una matriz de 8x6 (anexo 1) de la cual se obtuvieron cuarenta y ocho respuestas de cada participante.

2.2.3. Del CoRe a los Perfiles conceptuales

En la construcción de los perfiles conceptuales se utilizó la información obtenida del CoRe, la cual refleja de forma directa el pensamiento de cada una de las profesoras relacionado a los conceptos en cuestión. Éste muestra de forma indirecta sus formas de enseñanza y los procedimientos que utiliza para ese contenido específico: cantidad de sustancia y su unidad mol. En este caso, se consideró que a través de una clasificación más específica, la información obtenida del CoRe era lo suficientemente rica como para hacer una categorización del pensamiento docente. Para este propósito se seleccionó el perfil conceptual de la masa que hizo por Mortimer (1995). Este perfil está relacionado con la evolución del concepto dependiendo de cómo ha sido aprendido; sin embargo, en este caso consideramos que la evolución del concepto, cómo enseña y piensa el docente sobre éste directamente, relacionado con la evolución histórica del mismo. Es decir, partiendo de que los docentes pueden utilizarlo como sinónimo de masa (paradigma equivalentista) o en su concepción más correcta (paradigma atomista), así pues se decidió abrir este espectro de posibilidades de la siguiente forma:

Perceptivo/intuitiva (docena del químico, escenas cotidianas).- Están comprendidas las ideas de cantidad de sustancia que corresponden a las impresiones inmediatas, a las sensaciones e intuiciones, sin una estructuración o sistematización de esa información. La percepción inmediata y la intuición orientan al individuo en la construcción de sus nociones, conforme el contexto social e histórico en que se encuentran o con el cual interactúan. En este sentido, el concepto de “docena del químico”, por su simplicidad, está incluido en esta zona perceptivo/intuitiva. En esa zona también están comprendidas las ideas resultantes de una reflexión subjetiva y personal hecha a partir de la experiencia empírica, como lo son las ideas conectadas con experiencias simples de la vida diaria. De una forma general, la idea de cantidad de sustancia está relacionada con la observación de los fenómenos que ocurren naturalmente de manera extensiva en la materia, y son considerados en esta zona aquellos procesos de la materia que ocurren solos, sin interferencia externa.

Empírica (volumen o de masa).- En la zona empírica del perfil participan las nociones de una determinación precisa y objetiva de la cantidad de sustancia dada por el uso empírico de escalas. Se consideraran en esta zona las ideas que surgen a partir de la discusión de experimentos o fenómenos, en la cual resaltan las condiciones necesarias para medir la cantidad de sustancia. El uso de un instrumento resulta una clara, simple e infalible idea que sustituye a la experiencia perceptiva primaria y proporciona una claridad empírica y positiva, aún cuando la teoría de funcionamiento del instrumento sea desconocida. En este sentido tenemos dos sub-zonas dentro de esta zona: en una de ellas la medición correspondiente es la de una MASA y la otra es la de un VOLUMEN. La cantidad de sustancia puede ser detectada simplemente mediante la medición de una masa dada, la masa molar, o mediante la de un volumen, el volumen molar. El uso de expresiones como “*la cantidad de sustancia es una masa o un volumen dados*” fue considerado como característico de la zona empírica porque, en una primera aproximación, los estudiantes tienden a considerar los valores de la masa o del volumen como una medida del aumento o disminución de la cantidad de sustancia. Es decir, su percepción es absolutamente macroscópica.

Formalista (algoritmos y fórmulas).- Esta zona se caracteriza por el uso de algoritmos y fórmulas matemáticas para el análisis de los procesos, sin implicar un completo entendimiento de las relaciones conceptuales involucradas. De una forma general, los alumnos utilizan la unidad 'mol' para realizar cálculos estequiométricos, pero no presentan una comprensión clara de lo que su magnitud asociada representa. Sienten que únicamente ha sido diseñada la cantidad de sustancia para llevar a cabo cálculos químicos de combinación entre las sustancias.

Racionalista (Número de entidades elementales).- La zona racionalista del perfil comprende las ideas acerca de la cantidad de sustancia que implica una aproximación al nivel atómico-molecular. El discurso se construye fundamentalmente alrededor de la explicación nanoscópica de la cantidad de sustancia, sin prestar atención a la naturaleza macroscópica del concepto. A pesar de haber un predominio en el uso del formalismo matemático, consideramos que hay una racionalización de las ideas cuando los alumnos piensan en la cantidad de sustancia a partir de los modelos de partículas constituyentes de la materia, es decir, cuando hay una comprensión de la misma al analizar el número de partículas constituyentes en una muestra. El número de Avogadro, si bien no comprendida su enorme magnitud, es una referencia obligada de esta zona, o sea, el mol es un cierto número de entidades elementales.

Racionalista formal (Cantidad de sustancia).- La cantidad de sustancia es toda una red conceptual y no meramente el resultado de una experiencia primitiva e inmediata. En la red están involucrados los aspectos de medición de una masa o de un volumen, pero igualmente el conteo de un cierto número de partículas, es decir, se tiene tanto una referencia macroscópica como una microscópica con relación al concepto. Existe una relación coherente y balanceada entre los niveles de explicación macroscópica y nanoscópico. Se hace referencia a los aspectos históricos, filosóficos y epistemológicos relacionados con los conceptos cantidad de sustancia y mol. Por ello los ejemplos dados son de naturaleza teórica y los textos escritos son coherentes

sobre una base global. Se ha adquirido el modelo científicamente aceptado para la cantidad de sustancia.

A partir de esta clasificación trataremos de seguir una línea de pensamiento para cada docente, partiendo de una propuesta histórica considerando si es equivalentista o atomista.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis de resultados

3.1. El CPC de los profesores

Después de definir un sistema de seis ideas centrales, se les pidió a las profesoras llenar la matriz de CoRe. Les tomó entre tres y cuatro semanas para llenar la matriz. Posteriormente se procedió al análisis de los CoRe's, por al menos dos investigadores, en términos de las confusiones más comunes reportadas por Furió *et al.* (2000), en general se encontraron las siguientes ideas fundamentales:

1) Hay una tendencia notable de hablar de la “docena del químico”, es decir, de relacionar una cantidad numérica específica con el concepto de mol, sin llegar a darle un significado cualitativo específico. Una docena es una unidad conveniente para expresar una cantidad; sin embargo, una o dos docenas de átomos son demasiado pequeños para ser vistos aún con ayuda del microscopio de más grande alcance. El término del mol se utiliza para hablar de un número de átomos, de moléculas, de iones, o de electrones mientras que una docena se utiliza para hablar de un número de huevos, de naranjas o de buñuelos.

Hemos seleccionado el párrafo siguiente de la profesora 1 donde ella aconseja el uso de cantidades grandes tales como “una pila” o “un manojo” como términos paralelos al mol, relacionan la masa molar a una docena:

“En general intento que aquellos alumnos que tienen problemas con el concepto substituyan la palabra mol por "montón" o "bonche" para ilustrar el concepto (claramente sería mucho más fácil ilustrar el concepto de mol substituyendo la palabra mol por la mucho mas soez "chingo" que por educación no hago, pero, sin embargo, los alumnos la manejan con mucho más soltura)”.

2) Sobre la tendencia a ligar la cantidad de sustancia a una masa (Dierks, 1981), según lo indicado en la definición de Ostwald, la profesora 2 precisó que uno de los problemas:

“Hacer entender que se trata de la medición del número de entidades elementales que se determina por la medición de una masa. También abarca a partículas subatómicas como electrones, protones, entidades iónicas”.

Y en lo referente a la pregunta número cinco de la tabla 3, la profesora 2 ha identificado como el principal problema lo siguiente:

“La creencia que una cantidad de sustancia es una masa de la sustancia.”

Este problema ha sido mencionado por Furió *et al.* (2000) ya que entre profesores y dentro de los libros de texto el concepto del mol es presentado de forma equivocada como de entidades totales y/o números elementales de química.

3) La profesora 3 introdujo sabiamente el equivalentismo y los paradigmas del atomismo del concepto del mol en la tercera pregunta del anexo 1, ¿Qué conocimientos sobre historia, epistemología y filosofía de este concepto conoces? Diciendo lo siguiente:

“Conozco las transformaciones que han ido sufriendo estos conceptos a partir de dos visiones: la equivalentista y la atomista. Entiendo que primero surgió el concepto de mol en el marco conceptual equivalentista, en el que se le definía como la masa en gramos de una sustancia

numéricamente igual a su peso molecular. Conozco la polémica que existió en el siglo XIX sobre el uso de los equivalentes, de los átomos y de las moléculas. Comprendo la dificultad que ha presentado desde su introducción el nombre cantidad de sustancia, pero que a la fecha no ha habido un acuerdo para cambiarlo. Sé que el término mol es definido dentro del marco atomista en 1961, con la definición aceptada en la actualidad. Entiendo que un gran problema para entender estos conceptos, es que ha habido muchos cambios y que para comprenderlos es necesario tener un conocimiento más profundo de la historia y las razones que hubo para llegar a lo que hoy conocemos. Es un caso raro en que primero se define y explica la unidad (mol) y posteriormente la magnitud (cantidad de sustancia)”.

4) La profesora 1 insiste correctamente en la separación de cantidad de sustancia y el concepto de entidades elementales. Cuando ella enseña cantidad de sustancia no menciona la constante de Avogadro. En su respuesta a la pregunta uno del anexo 1 ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto y qué intentas que aprendan sobre el mismo? Comenta:

“En general me parece que el número de Avogadro es sólo otra constante en química que en este caso está sobrestimada. En general se da más énfasis al valor numérico de Avogadro que al concepto mol. Yo por mi parte quiero ilustrarles a los alumnos que es necesario el concepto de mol para hablar de fórmulas químicas, (para lo cual no se requiere conocer el valor del número de Avogadro).”

5) En contraste con el punto de vista anterior, se seleccionó la frase siguiente, proporcionada por la profesora 3, donde demuestra que entiende que la cantidad de sustancia está relacionada con el número de entidades elementales, pero más bien la utiliza únicamente para cálculos numéricos.

“Los procedimientos que empleo para que los alumnos se comprometan con la idea, son la presentación de los cálculos que permitan comprender la utilidad de medir partículas pequeñísimas como los átomos y las moléculas con la magnitud cantidad de sustancia; así como la resolución de ejercicios de aplicación de estos cálculos.”

Al parecer, la profesora 4 confunde el concepto de cantidad de sustancia con el de número de entidades elementales, y se refleja en lo siguiente:

“Considero esencial que no haya confusión entre cantidad de sustancia y masa, por lo cual en la evaluación incluyo problemas donde los estudiantes tengan que calcular el número de entidades elementales en masas iguales de diferentes sustancias, y la masa de diferentes sustancias que contengan igual cantidad de entidades elementales”.

A pesar de la confusión, es muy importante el hecho de que la profesora está interesada en que los alumnos no confundan masa con el número de entidades elementales.

6) Desafortunadamente, es común entre los profesores confundir la hipótesis de Avogadro (relación de volúmenes de gas a la misma temperatura y presión

y cantidad de sustancia) con la constante de Avogadro. Tenemos un ejemplo de este malentendido en respuesta de la profesora 1:

“Establecer la masa relativa de objetos que pueden verse y contarse no es problema; sin embargo, la extrapolación a objetos mas intangibles, como los átomos, requiere de la hipótesis de Avogadro que requiere un mayor nivel de abstracción por parte del alumno”.

Y otro ejemplo de la misma clase, con la confusión histórica, en respuesta de la profesora 2:

“La hipótesis de Avogadro se convirtió en lo que ahora se conoce como la constante de Avogadro. El valor de esta constante se puede determinar por medios diversos. Mediante la electrólisis del agua se puede medir la cantidad de corriente que se necesita para liberar hidrógeno y de ahí, junto la carga del electrón, se puede llegar a una determinación aceptable del número de Avogadro y, en consecuencia, del número de entidades elementales.”

7) Otra confusión común se presenta entre la masa molar y la masa molecular. Por ejemplo, cuando la profesora 2 escribe:

“Una vez que se entiende el concepto del mol es más fácil entender la masa molar. Sin embargo, la confusión sigue siendo a veces cuando la masa molar coincide con la masa molecular.”

Ella parece haberse olvidado de que los valores numéricos pueden estar iguales en ambas magnitudes, pero sus unidades se diferencian.

7) Para ilustrar que los profesores participantes utilizan raramente el término cantidad de la sustancia y que lo confunden con frecuencia con cantidad de materia —un error común en las profesoras de secundaria y licenciatura— seleccionamos el párrafo siguiente que pertenece a la profesora 1:

“Aunque básicamente la hipótesis de Avogadro es un acto de fe, pues está basada en los volúmenes de combinación y en el comportamiento de los gases ideales, es posible ilustrar la ley de Avogadro evaporando diversas cantidades de agua en un entorno cerrado de volumen variable. (Por ejemplo, matraces conectados a globos y demostrar que V es proporcional a cantidad de materia)”

Otro error que se puede entrever de este párrafo es donde la profesora confunde la hipótesis de Avogadro con la ley de Avogadro de la proporcionalidad entre el volumen y la cantidad de sustancia en una muestra del gas.

3.2. Clasificación de las oraciones de los CoRes en los perfiles conceptuales.

Para construir los perfiles conceptuales se utilizó como metodología la hermenéutica, que consiste en el análisis de textos escritos por otras personas. Con esta técnica es posible establecer una línea de pensamiento general del autor (Patton, 2003). Una vez que las cuatro profesoras hubieron escrito sus respectivos CoRes, se leyeron por al menos dos investigadores para analizar su contenido. Una primera lectura proporcionó una idea general de qué se debía esperar de cada uno de ellos. Luego, cada célula de los CoRes individuales fue analizada para determinar su lugar en cualquier zona conceptual del perfil

(a veces una matriz no incluye una oración clasificable, y al contrario otra matriz, incluye más de una idea; en este último caso el texto fue dividido en dos o más frases y entonces clasificado en diversas zonas). A continuación se presenta una selección de algunas de las oraciones clasificadas por zona del perfil para ejemplificar la construcción de los gráficos conceptuales del perfil.

1) Algunas de las profesoras examinadas acentuaron el aspecto cuantitativo de cantidad de sustancia. Varios artículos relativamente viejos insisten en este punto. La oración inicial del artículo de Kolb (1978) dice: *“una de las razones principales de la importancia de un verdadera comprensión del concepto del mol, es que es esencial en el estudio de la estequiometría”*, una preocupación compatible con la zona formalista del perfil conceptual. La profesora 1 insistió en la importancia matemática del concepto mol cuando contestaba a la pregunta siguiente incluida en el CoRe: ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender el concepto de mol, unidad de cantidad de sustancia?

“Es imprescindible que los estudiantes entiendan correctamente el concepto del mol porque todas las relaciones estequiométricas se basan sobre él”.

Esta frase acentúa claramente la zona formalista del perfil conceptual.

2) La profesora 3, en lo referente a la pregunta uno del Anexo 1 ¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto y qué intentas que aprendan sobre el mismo? Declaró lo siguiente sobre la idea central del mol:

“Es importante que los estudiantes sepan que el mol es la unidad de una de las siete magnitudes fundamentales del SI: el de la cantidad de sustancia. Intento hacer que entiendan que el mol es utilizado en química para realizar

las operaciones matemáticas que permiten que los químicos determinen la composición de las sustancias expresadas como porcentaje, bajo la forma de su fórmula, y qué clase de relación está allí entre las masas de reactivo y los productos en una reacción química”.

Este último párrafo pertenece distintamente a la zona formalista del perfil conceptual. Como se puede observar, en algunos casos el uso de la “cantidad de sustancia” o del “mol” se juzga necesario exclusivamente para los cálculos estequiométricos, sin la preocupación de que los estudiantes adquieran una comprensión cualitativa del concepto.

3) Otro acercamiento a este asunto fue expresado por la profesora 1 con respecto a la misma pregunta y a la misma idea central. Ella afirmó que el mol es una unidad ideada para contar los átomos:

“El mol es una unidad usada sobre una base diaria en química; en vez de contar los átomos uno por uno, los químicos contamos mol. Así, la manipulación correcta de este concepto es de importancia fundamental en el entrenamiento profesional de químicos. Intento, para que los estudiantes entiendan que el mol es de la misma forma los pares, las decenas y los centenares, las palabras que identifican el número exacto y finito de objetos. El número de Avogadro no es esencial; es bastante con aprender que el número de los átomos del hidrógeno en aproximadamente 1g del gas de hidrógeno es igual que el número de los átomos del cloro en 35.5 g de gas cloro”.

Esta declaración se ha clasificado en la **zona racionalista** del perfil conceptual porque pone atención a la visión nanoscópica de los sistemas químicos. Ahora bien la parte donde menciona los “pares, las decenas y los centenares” pertenece a la **zona perceptiva/intuitiva**. Esta profesora ha revelado la manera en la cual enseña la parte principal del concepto de cantidad de la sustancia: determinando las masas relativas de objetos comunes y después usando discusiones tales como las que presentó Arce de Sanabria (1993). Esto está incluido en su PaP-eR en el anexo 3.

4) La profesora 2 mencionó la importancia matemática del concepto del mol:

“Es el tema central en lo que se refiere a la química cuantitativa, esto es, en la mayor parte de los cálculos químicos interviene este concepto. Tan es así que en el SI es una de las unidades fundamentales de medida. Aunque en muchos de los libros actuales no se menciona el concepto de equivalente químico, lo considero muy ligado al concepto de mol ya que históricamente no se entendería cómo Mendeleev llegó a determinar las masas (pesos) atómicas en esa época sin partir de los pesos equivalentes.”

Esta frase también se encuentra la **zona formalista**, pero es más que eso, porque revela la controversia entre los puntos de vista equivalentista y atomista de la química (Padilla *et al.*, submitted).

5) Las respuestas de la profesora 4 se han clasificado principalmente en la **zona racionalista formal**, como lo veremos a continuación analizando su respuesta a la primera cuestión del CoRe (anexo 1) referente a la idea central de la “cantidad de sustancia como magnitud fundamental del SI”, ella comenta:

“Es esencial que los estudiantes manipulen las unidades del SI. Particularmente, la unidad para la cantidad de sustancia ya que es fundamental para las actividades experimentales. Procuro que los estudiantes aprendan que el mol permite la cuenta de entidades elementales de una manera indirecta, utilizando las medidas macroscópicas”.

Este paso fue clasificado como racionalista formal debido a su relación constante e imparcial entre los niveles macro y nanoscópico de la explicación. Novick y Menis (1976) han comentado el interés e importancia de que los estudiantes manejen con claridad las interacciones entre las medidas macroscópicas y las interpretaciones nanoscópicas. Se ha incluido en el Anexo 2 una analogía usada por ella en la práctica diaria dentro del aula.

6) Para ilustrar la manera en la cual las respuestas del CoRe fueron asignadas a otras zonas conceptuales del perfil, se tomó la idea central de masa molar del CoRe (anexo 1), donde la profesora 4 indicó el siguiente:

“En 1900, Ostwald definió el mol de una sustancia como su masa molar expresada en gramos y lo igualan numéricamente a su masa molecular relativa. Epistemológicamente hablando, Ostwald tendría que ser considerado un equivalentista”.

Este texto fue clasificado como **empirista**, porque se ocupa del origen de la escala con la cual se determina el objetivo de la magnitud del mol.

7) Como otro ejemplo de la **zona conceptual intuitiva/perceptiva** del perfil, la declaración siguiente contiene las impresiones inmediatas, sensaciones e intuiciones, sin estructura o sistematización. Fue proporcionada por la profesora 3

en la cuestión sobre los procedimientos de enseñanza (número 7 en la tabla 3) en la idea central de la masa atómica relativa:

“Los procedimientos que empleo para que los alumnos se comprometan con la idea, son la presentación de analogías con mediciones de la vida cotidiana masa de frutas, monedas, semillas, hojas de papel, en fin cosas que utilizan o consumen, y cálculo de masas relativas entre éstas.”

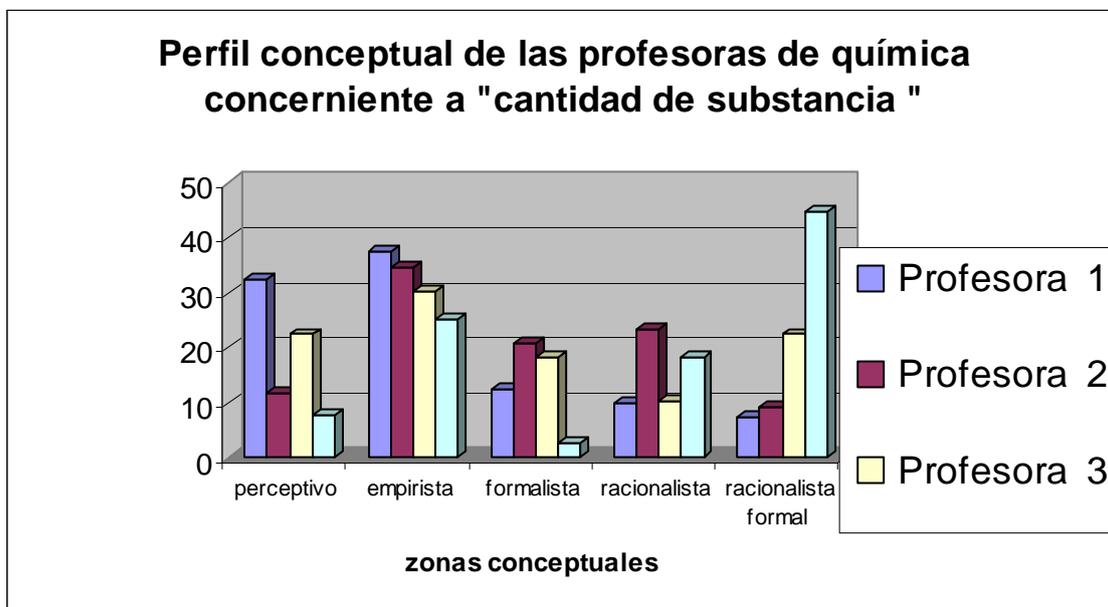
Como lo escribió Ainley (1991), los problemas que existen entre estudiantes con el uso y significado de la palabra “relativa”, es debido a que ésta es la primera vez que la han utilizado unida al concepto de masa. Una forma de remediar esta situación, es lo propuesto por la profesora 3 y es utilizar analogías con objetos familiares de la vida diaria de los estudiantes.

Una vez que cada oración fue clasificada en una zona del perfil, se contó el número de oraciones que pertenecían a cada uno. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Número de oraciones de cada profesora situado en cada uno de las zonas conceptuales del perfil.

Profesora	Perceptivo/ intuitivo	Empirista	Formalista	Racionalista	Formal racionalista	TOTAL
1	12	16	4	5	2	39
2	5	15	9	10	4	43
3	9	15	8	6	9	47
4	3	9	4	8	16	40

La gráfica siguiente permite observar claramente los resultados de la tabla 5, por ejemplo la profesora 1 tiene un perfil empirista (o equivalentista) mientras que la profesora 4 tiene un perfil racionalista formal (o atomista)



Capítulo 4

4. Conclusiones

El método de Loughran *et al.* (2004) para capturar el CPC parece ser una manera completa e interesante de documentar y de retratar este constructo. Podemos discutir solamente contra esta metodología el hecho de que no refleje el “eros” en la etapa educativa; algunas preguntas o comentarios tienen que estar relacionados e incluidos a la porción afectiva de dar una conferencia, debido a su gran importancia.

Por otra parte, el perfil conceptual de Mortimer es una herramienta útil para clasificar las afirmaciones epistemológicas y ontológicas individuales de los profesores. Puede ser utilizado para caracterizar eficientemente el CPC de diversos profesores y para representar sus maneras divergentes de enseñar los conceptos estudiados. El clasificar el CoRe de cada profesor en los diferentes perfiles conceptuales representa una herramienta nueva que demostró ser muy útil, especialmente en la categorización del pensamiento y comportamiento de los profesores en un salón de clase.

Además, una segunda clasificación, más cercana a la historia de la química, es aislar los pensamientos del profesor en dos visiones paradigmáticas inconmensurables de la enseñanza de cantidad de sustancia: uno es el equivalentista, basado en el principio que seleccionaba las masas como los medios de representar reacciones químicas cuantitativas y que corresponde a la zona del perfil conceptual empirista, la postura de no hacer caso de la existencia de los átomos y de las moléculas; y otro es el atomista, basada en la creencia que los átomos y las moléculas existen y son entidades útiles para clarificar la ocurrencia de reacciones químicas, tomando la existencia de estas clases de partículas y la posibilidad de contarlas indirectamente a través de una representación real macroscópica, que corresponde a la zona del perfil conceptual racionalista formal. Esta dicotomía también se ha encontrado en los profesores entrevistados.

Las conclusiones siguientes provienen del análisis conceptual de los CoRes de los profesores entrevistados y del perfil de Mortimer:

- De forma general, observamos que para los profesores de ciencias el conocer la historia implica frecuentemente la memorización de nombres y datos, con muy poco conocimiento sobre la construcción social y cultural del pensamiento científico, y no consideran que el conocimiento sobre los hechos históricos de la ciencia, puede ser útil para apreciar de forma correcta las diversas teorías científicas. Es de vital importancia conocer la historia y evolución del significado de los conceptos que se enseñan, en este caso la cantidad de sustancia y el mol, tener una visión histórica y epistemológica de los contextos en los que surgieron aquellos conceptos, conocer si estos conceptos han sufrido cambios y así comprender mejor lo que representan y significan actualmente Furió *et al.*, (2003).
- Es más fácil que los profesores (y por supuesto, que los estudiantes) visualicen la masa o el volumen en lugar de la cantidad de sustancia, porque esas dos cantidades están más cercanas a su vida diaria. Este hecho explica la tendencia del profesor a proporcionar las declaraciones que claramente se clasifican dentro de la zona del perfil conceptual empirista.
- La cantidad de sustancia es una magnitud que se ha entendido incorrectamente y es utilizada raramente por la mayoría de los profesores. No se ha incluido en la mayoría de los libros de textos generales de la química. Se recomienda la inclusión, en libros de textos, de la definición dada por IUPAC (McNaught *et al.*, 1997). El uso generalizado del término cantidad química en vez de cantidad de sustancia no lleva ninguna relación con una sustancia específica, sino que se relaciona siempre con las entidades químicas es decir no específica a cual de todas las entidades químicas se está refiriendo.

- Las cinco zonas conceptuales analizadas en el actual estudio representan una nueva manera de clasificar los cinco conceptos comúnmente expresados por educadores, según lo divulgado por Strömdahl *et al*, (1994).
- La combinación de los métodos de Loughran y Mortimer da como consecuencia la obtención de resultados que se pueden utilizar en la escuela de formación de profesores para obtener métodos en la enseñanza de los temas que se seleccionen, en este caso cantidad de sustancia y su unidad mol. También se pueden utilizar para que los profesores en entrenamiento realicen un análisis crítico de la estructura y contenido, como lo propone Vicente Talanquer (2004).

Por último, la realización de este tipo de investigaciones, en la FQ van a enriquecer la docencia, y como consecuencia a elevar el nivel académico. Favoreciendo la investigación básica científica en química, teniendo impacto en el progreso de la sociedad y por lo tanto de México.

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

- Ainley, D. (1991). Mole catchers? *Education in Chemistry*, **28**(1), 18-19.
- Arce de Sanabia, J. (1993). Relative Atomic Mass and the Mole: A Concrete Analogy to Help Students Understand These Abstract Concepts. *Journal of Chemical Education*, **70**(3), 233-234.
- Chevellard, Y. (1991). La trasposición didáctica, Argetina, AIQUE, 196PP
- Chi, M.T.H. (1991). Conceptual change within cross ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R.Giere (ed). *Cognitive models of Science: Studies in the philosophy of Studies in the philosophy of Science*, University of Minnesota Press, Minnesota.
- Clermont, C.P., Krajik, J.S., Borko, (1993). The influence of an intensive service workshop on pedagogical content knowledge growth among novice chemical demonstrators, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**(1), 21-44,
- Clemont, C.P., Borko, H., Krajik, J. S., (1994). Comparative study of the pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, **31**(4), 419-441.
- Cochran, K.F., DeRuiter, J.A., King, R.A. (1993). Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation, *Journal of Teacher Education*, **44**(4), 263-272,
- Cochran-Smith, M. & Lytle, S.L. (1999). Relationships of knowledge and practice: teacher learning in communities. In A. Iran- Nejad & P.D. Pearson (Eds.), *Review of research in education* **24**, pp.249-305. Washington, DC: American Educational Research Association.
- Connelly, F.M. & Clandinin, J. (2000). Narrative understandings of teacher knowledge. *Journal of Curriculum and Supervision*, **15**, 315-331.
- Dawkins, K., Butler, S. (2001). Analyzing preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge regarding mole concept, *Proceedings of the annual meeting of the Association for Teacher Education in Europe*, Stockholm, 8pp., 2001. Versión electrónica consultada el 20 de febrero.
- De Jong, O., Veal, W.R., Van Driel, L.H. (2002). Exploring Chemistry Teachers' Knowledge Base, en : J.K. Gilbert y otros (eds.), *Chemical Education: Towards*

- Research-based Practice*, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 369-390,
- Dierks, W. (1981). Teaching the Mole. *European Journal of Science Education*, 3, 145-158.
- Driver, R. (1989). Students conception and the learning of science, *International Journal of Science Education* **11**(5),481-490.
- Furio, C., Azcona, R. Guisasola, J. and Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, **22**(12), 1285-1304.
- Furio,C. Padilla, K. (2003). La evolución histórica de los conceptos científicos como prerrequisito para comprender su significado actual: el caso de la "cantidad de sustancia" y el "mol". *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*. No.17 ,55-74
- Garriz A.,Trinidad- Velasco R.(2004). El conocimiento Pedagógico del contenido, *Educación Química*, **15** ,98-101
- Grossman,,P.L. (1990). *The making o a teacher of a teacher: Teacher knowledge and teacher educations*, New York, Teacher College Press,
- Gabel,D. and Sherwood,R.D.(1984). Analizing difficulties with mole concepts tasksby usinsg familiar analog tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, **21**(8), 843-851
- Kolb, D. (1978). The Mole. *Journal of Chemical Education*, 55(11), 728-732.
- Loughran, J., Mulhall, P. and 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), 370–391.
- McNaught, A. D. and Wilkinson, A. (1997). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (The gold book)*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK: Blackwell Science, 2nd edition.
- Mortimer, E. F. (1995). Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Science & Education*, **4**, 267-285.
- Nelson, P.G. (1991). The elusive mole. *Education in Chemistry*, **28** (4), 103-104.
- Novick, S. and Menis, J. (1976). A Study of Students' Perceptions of the Mole Concept. *Journal of Chemical Education*, **53**(11), 720-722.

Padilla, K., Furió-Mas, C., The Importance of knowing the history and philosophy of science to question if the distorted views of the nature of science are in the teaching of the amount of substance and mole concepts. Submitted

Patton, M.Q., (2003). *Qualitative research & evaluation methods*, 3th Edition, Sage publications, Thousand Oaks, California

Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, **15**, 4-14.

Shulman, I.S. (1987). Knowledge and teaching foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, **57**, 1-22

Shulman, S. (1999). L.S. Foreward en Gess- Newsome, J., Kederman, N.G. (eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education*. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. IX- XII

Scott, P. (1987). The process of conceptual change in Science: A case study of the development of a secondary pupils's ideas relating to matter, in Novak, J.D.(ed), *The proceedings of The Second International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, vol. II , 404 – 419.

Solomon, J. (1993). Learning about energy : how pupils think in two domains, *European Journal of Science Education*, **5**(1), 49-59.

Strömdahl, H., Tulberg, A. and Lybeck, L. (1994). The qualitatively different conceptions of 1 mole. *International Journal of Science Education*, **16**(1), 17-26.

Talanquer, V., Novodvorsky, I., Slater, T. F., Tomanek, D., (2003). A Stronger Role for Science Departments in the Preparation of Future Chemistry Teachers, *Journal Chemical Education*, **80**(10), 1160-1171

Talanquer, V. (2004). Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los Buenos maestros de química? *Educación Química*, **15**(1), 52-58

Treagust, D.F., Mamiala, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations, *International Journal of Education*, **25** (11) 1353-1368

Van Driel, J. H., Verloop, N. and De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, **35**(6), 673-695.

Van Driel, J. H. and de Jong, O. (2001). Investigating the development of pre-service teachers' pedagogical content knowledge. [*Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis, MO, USA*].

Van Driel, J. H. and de Jong, O. Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Science Education*, **86** (4), 572-590.

Veal, W.R., MaKinster, J.G., (1999). Pedagogical Content Knowledge Taxonomies, *Electronic Journal of Science Education*, 3(4), 1-18,. Versión electrónica consultada el 20 de febrero, 2004, en la siguiente URL.

[http:// unr.edu/homepage/ crowther/ejse/ejsev3n4.html](http://unr.edu/homepage/crowther/ejse/ejsev3n4.html)

Anexos

Anexo 1. Matriz CoRe

NOMBRE						
Grado Académico						
Nivel del curso que imparte						
Edad						
Experiencia como Docente						
¿Qué importancia le das al tópico De cantidad de sustancia?						
Dime ¿Cuáles son los conceptos centrales relacionados al tópico de cantidad de sustancia y mol?						
Por favor, contesta lo más extensamente posible , para cada una de estos conceptos centrales las siguientes preguntas:	Magnitudes fundamentales del sistema Internacional. La cantidad de sustancia.	Masa atómica relativa	Mol, Unidad de la cantidad de sustancia	Masa Molar	Hipótesis de Avogadro y Volumen Molar	Número de entidades elementales y constante de Avogadro
¿Por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto y qué intentas que aprendan sobre el mismo?						
¿Dentro del contexto CTS e histórico, por qué es importante para los estudiantes aprender este concepto?						
¿Qué conocimientos sobre historia epistemología y filosofía de este concepto conoces?						
¿Cuáles son las dificultades y limitaciones conectadas a la enseñanza de este concepto?						
¿Qué conocimientos acerca del pensamiento de los estudiantes influye en tu enseñanza de este concepto?						
¿Qué procedimientos empleas para que los alumnos se comprometan con el concepto (analogías, metáforas, ejemplos, demostraciones, reformulaciones, etc.)						
¿Qué formas específicas utilizas para evaluar el entendimiento o confusión de los alumnos sobre el concepto						

Anexo 2

PaP-er sobre el uso de analogías en la enseñanza de “cantidad de sustancia” y de otros conceptos en química.

La profesora 4 imparte el curso de Química 1 en un Diplomado de Ciencia y Tecnología. El seminario, es de 5 horas y funciona con una modalidad virtual. Los estudiantes asisten a la clase en un promedio de una hora a la semana. Cada semana la profesora propone un nuevo tema vía el campus virtual, con explicaciones, ejemplos y ejercicios que solucionarán los estudiantes, así como una bibliografía sugerida. El campus virtual tiene un foro de comentarios llamado los “debates” donde los estudiantes y los profesores comparten ideas, discuten los diferentes puntos de vista con sus compañeros de clase y construyen sus propias analogías y visualizaciones, todo esto bajo la supervisión del profesor, con lo que se asegura que el tema sea comprendido.

Ella hace la presentación del concepto de una manera atractiva y amistosa, así como la disposición de analogías, ejemplos y usos, han demostrado ser un aspecto clave en la enseñanza de esta clase. Aquí analizamos cómo la profesora 4 presenta su clase sobre “cantidad de sustancia” y cómo ella va presentando las analogías a sus alumnos. Al hablar de la importancia de tomar medidas y de retransmitir a sus alumnos de una manera tal que todos puedan entenderlas, la profesora 4 precisó:

“Todos ustedes saben contar las monedas en sus monederos o bolsillos, o los goles en un partido de fútbol. Usted puede medir su peso usando una báscula, su altura con una regla, el tiempo con un reloj, el volumen con un tazón graduado, la presión con un manómetro (los utilizados en las gasolineras) y la velocidad de un automóvil con un velocímetro. Usted también sabe que cada medida tiene dos componentes: una magnitud y su unidad que mide. Usted no dice:

“de mi hogar a la universidad hay tres”, porque la persona que escucha le preguntará seguramente: “¿tres qué?”

Entonces la profesora 4 agrega:

“Para que la gente pueda reproducir una medida de cualquier magnitud, se necesita establecer unidades estándar. En la vida diaria, la gente utiliza el sistema métrico: los centímetros, los metros, los kilogramos, las toneladas, etc. mundialmente los científicos utilizan las unidades del SI (sistema de unidades internacional).”

Más adelante, para explicar mejor el concepto de isótopo y cómo afecta el cálculo de pesos atómicos, la profesora 4 explica la razón detrás de la necesidad de calcular el promedio del peso de masas isotópicas, las cuales consideran el porcentaje de la ocurrencia natural de cada isótopo, por medio de una analogía con el cálculo de las calificación promedio en los exámenes finales de un estudiante.

Suponga que un estudiante consiguió las marcas siguientes en cada uno de los 10 problemas en el examen: 5, 8, 9, 10, 9, 10, 9, 10, 10, 10. El promedio entre las cuatro figuras que él consiguió (5, 8, 9 y 10), calculado de la manera generalmente es:

$$\frac{5+8+9+10}{4} = 8$$

¿El estudiante será feliz con esta marca media? ¡¡¡Por supuesto no!!! El promedio verdadero es:

$$\frac{5+8+9+10+9+10+9+10+10+10}{10} = \frac{1*5+1*8+3*9+5*10}{10} = 9.0$$

Cuando la profesora 4 desea demostrar la importancia del trabajo con las masas relativas, ella comenta:

“La masa de la escama de un pescado es demasiado pequeña para ser medida por medio de una escala capaz de detectar una diferencia total de 0.1g. Pero, ¿es realmente posible medir la masa de grupos de escamas de los pescados? Si 100 escamas grandes de los pescados pesan 4.74 g y 100 escamas de tamaño mediano de los pescados pesan 3.32 g, podemos concluir que 100 escamas grandes de los pescados son 1.43 veces más pesados que 100 escamas de pescado medianas”.

La masa Relativa de una escama grande = $\frac{4.74\text{g}}{3.32\text{g}} = 1.43$

Puesto que los grupos de escamas de los pescados tienen la misma cantidad de escamas, la masa de una escama grande de los pescados debe ser 1.43 veces más grande que la del pequeño. Si la masa de un pescado pequeño se define como unidad, entonces la masa de una escama grande de los pescados será equivalente a 1.43 unidades.

La siguiente explicación la utiliza como introducción para el concepto siguiente:

“Las masas relativas de diversos elementos se pueden medir de una manera similar: pesando la masa de un número fijo de átomos. Puesto que la masa relativa de un átomo es tan pequeña, que la cantidad de átomos en los grupos debe ser extremadamente grande”.

La profesora 4 introdujo entonces otra analogía interesante referida al concepto de la masa relativa de frutas en este caso:

“Si pesamos cierta cantidad de uvas y pesamos luego la misma cantidad de ciruelos, encontraremos que los ciruelos son varias veces más pesados que las uvas. Imagínese que es la relación entre las dos masas como sigue:

$$M \text{ ciruelos} / m \text{ de las uvas} = 8.0$$

“Es decir, un ciruelo es ocho veces más pesado que una uva. La pregunta dominante aquí es: “Si cierta cantidad de uvas pesa 100 g y usted desea comer la misma cantidad de ciruelos en una ensalada, ¿cómo usted soluciona este problema sólo pesando?”. Los estudiantes notan enseguida que 800 g de ciruelos tendrán la misma cantidad de ciruelos individuales que 100 g de uvas. Brevemente concluimos que las masas relativas ayudan “a contar” pesando.

“Semejantemente, la cantidad de sustancia en el SI se mide en mol. Un mol de cualquier sustancia es una muestra de la sustancia que tiene tantas entidades elementales como los átomos que podemos encontrar en 0.012 kilogramos de Carbón-12. Entonces por la definición, un mol de átomos de carbón-12 tiene una masa de 12 g, y un mol de átomos de cualquier otro elemento tendrá una masa en los gramos numéricamente iguales a la masa relativa de ese átomo, en una relación de 1/12 a la masa del átomo de carbono-12. La base de esta escala es 1/12 de la masa de un átomo carbono-12. Si por ejemplo, estamos tratando de una muestra de los átomos de plata, con una masa relativa de 107.8682 en esta escala (cada átomo de plata pesa aproximadamente nueve veces más de un átomo carbón-12. Dado que $(9 \times 12) = 108$, está la masa relativa del átomo de plata). Consecuentemente, en 108 g Ag hay los mismos números de átomos presentes en 12 g de carbón-12, cada uno pesa nueve veces lo que pesa el ^{12}C ”

La analogía de uvas y de ciruelos explica por qué la masa relativa de cualquier átomo en la tabla periódica (expresada en gramos) puede conducirnos a las cantidades de sustancia que tienen el mismo número de entidades

elementales que 12 g de ^{12}C . La profesora 4 entonces pasa a la constante del Avogadro. Ella dice a los estudiantes lo siguiente:

“Imagínese que usted vende vegetales en cantidades grandes, y un almacén de la tienda de comestibles necesita 20.000 guisantes verdes. ¿Puede usted imaginarse cuánto tiempo le llevaría contar guisante por guisante, hasta que usted alcance 20.000? Sin embargo, si usted sabe, por ejemplo, que 1.000 guisantes verdes pesan aproximadamente 100 g, usted tendrá que solamente pesar 2 kilogramos de guisantes y enviar la orden a su cliente”.

Ella después agrega:

“Es imposible contar los átomos individualmente, porque los átomos no se pueden ver a simple vista. En este caso necesitamos una unidad que conecte el mundo sub-microscópico de átomos y de moléculas con el mundo macroscópico. De la misma forma que los “pares” y las “docenas” son unidades de medida apropiadas para los calcetines y los huevos, respectivamente, el mol, la unidad del SI para la cantidad de sustancia, representa una cantidad de átomos, de moléculas o de iones. Usando el mol como unidad de la cantidad de sustancia podemos contar partículas sub-microscópicas tales como átomos, moléculas e iones, midiendo la masa de ellos.”

Mientras que avanza la sesión de la clase, la profesora 4 escribió:

“Se ha determinado experimental que la cantidad de entidades elementales en un mol es igual a 6.022137×10^{23} partículas . Esta cantidad se conoce como constante de Avogadro.”

Para dar a los estudiantes una idea de la dimensión de este número, ella precisa:

“El número de Avogadro es muy grande, enorme. Si usted coloca la moneda de \$1 de lado a lado (en nuestro país acuña medida 2.2 centímetros del diámetro) hasta que usted alcanza el número de Avogadro, la pila de la moneda circundaría el ecuador (el perímetro ecuatorial es 40.077 kilómetros) 330 billones de veces (3.3×10^{14})”.

Ella también les da la siguiente información:

“Por otra parte, si usted deseara medir un mol de los átomos del hierro contándolos a la velocidad de un átomo por segundo, le tomaría 1.9×10^{16} años, una porción entera más que la duración de la vida de cualquier ser humano, puesto que nadie ha vivido 1.9×10^{14} siglos!”

Y finalmente, la profesora 4 sorprende a los estudiantes con las demostraciones de algunos cálculos:

“Usted sabe que el agua es esencial para la vida. El agua es uno de los recursos esenciales de la naturaleza sin embargo; usted es quizá inconsciente que el volumen total de agua en la tierra es 1.360 millones de km^3 , es decir 1.360.000.000.000.000.000.000 litros. El 1.36×10^{21} litros es equivalente al 1.36×10^{24} ml. Si consideramos que una gota de agua tiene un volumen medio de 0.05 ml, entonces la cantidad total de gotas del agua en el mundo es 27.2×10^{24} gotas. Eso representa solamente 45.1 μmol de gotas!”

Anexo 3

Documento sobre el uso de escalas de masas relativas de objetos comunes para la enseñanza del concepto de “mol”

La profesora 1 enseña Química General, en el programa se incluye el concepto de cantidad de sustancia y su unidad correspondiente. Esta profesora en particular, prefiere el uso de una analogía muy interesante relacionada con las masas relativas de tornillos, tuercas y clavos de diversos tamaños. La profesora 1 explica que le gusta mucho esta analogía porque explica la relación entre las masas relativas de dos diversos objetos y los pesos del mismo número de los objetos de ambas clases, sin tener que recurrir al número de Avogadro ya que ella considera que simplemente la definición de la constante de Avogadro les causa confusión a los estudiantes.

La profesora 1 comienza mencionando algunos aspectos relevantes relacionados con la historia de la química. Esto lo liga a conceptos tales como elemento y sustancia, que son el preámbulo para llegar a la composición molecular y la relación con la masa atómica y las hipótesis de Avogadro. Para hacer uso de esta analogía experimental es necesario una cantidad considerable de objetos tales como tornillos, tuercas y clavos, (estas clases de objetos tienen pocos defectos de la fabricación, así que sus masas son casi siempre iguales para cada clase, de esta forma los estudiantes pueden construir conjuntos de la manera de moléculas con ellas) además de una balanza granataria de dos platos. También se necesitan las escalas con las cuales se va a medir las masas iguales de diversos objetos sin importar la magnitud exacta de la medida.

Sobre cada plato la profesora pone una cantidad de clavos sin especificar: En uno de los platos los clavos más pequeños (los llamaremos tipo “estándar”), y en el otro plato los más grandes la cantidad suficiente para balancear los platos.

El propósito era elegir una referencia estándar, en este caso el clavo más pequeño. Una vez que los platos se equilibraron, la profesora 1 comenzó a contar el número de tornillos en cada plato. Con el clavo más pequeño como referencia, ella construye la tabla 6.

Tabla 6. Resultados que la profesora 1 obtiene la ecuación siguiente:

82 mstd.=30m (3) o 647mstd = 237m (3) lo cual implica $m(3) = 2.73mstd$

- Clavo estándar	- Clavo número 3
- 82 piezas	- 30 piezas
- 647 piezas	- 237 piezas

El propósito de contar cada clavo es demostrar que el cociente de la cantidad de piezas de un tipo de clavo al otro sigue siendo constante (2.73 en este caso). Si la profesora 1 deseara determinar la masa del “clavo del número 3” en términos de la masa de un clavo “estándar”, ella habría utilizado la relación:

- $M(3) = 2.73 mstd$

Con la fórmula anterior, la masa del “clavo número 3” es equivalente a 2.73 veces la masa del clavo “estándar”. El paso siguiente en su demostración fue proponer una escala nueva de la medida en donde adoptó el clavo “estándar” como referencia, llamándola el “clavón”. Después de repetir el mismo procedimiento para los otros diversos tipos de clavos, la profesora 1 obtuvo las relaciones demostradas en la tabla 7.

Tabla 7. Si el clavo “estándar” es el “clavón”, es posible calcular las masas relativas compiladas en la segunda columna de la tabla.

- Tipo del clavo	- Masa equivalente al número siguiente de clavos (c = clavos)
- Std	- 1 c
- 3	- 2.73 c
- 2	- 4.94 c
- 1	- 10.22 c

Ahora la profesora 1 desea construir una base para contar los clavos. Ella selecciona 1 gramo de clavos “estándares” (o de clavones) como la referencia de cuenta. ¿Cuáles son los pesos de los tipos 1, 2 y 3 que contienen el mismo número de clavos que la referencia? La respuesta se da en la tabla 7.

Tabla 8. Las masas relativas de la tabla 6 se pueden utilizar para pesar cantidades de tipos 1, 2 y 3 de los tornillos que tengan el mismo número de tornillos que 1 gramo de Tornillones.

Tipo del clavo	Masa de clavos con el mismo número de clavones
- Std	- 1 g
- 3	- 2.73 g
- 2	- 4.94 g
- 1	- 10.22 g

Ella insiste en seleccionar la referencia de cuenta como 1 gramo de clavones, un peso pequeño que contenga solamente 2 ó 3 clavos. Para tratar esta edición ella entonces elige 1 onza de clavones como la referencia y posteriormente transformar la tabla 7 en la tabla 8.

Tabla 9. Cantidad de clavos del tipo 1, 2 y 3 que tienen la misma cantidad de clavos que 1 onza de clavones. Todas las muestras tienen el mismo número de clavos porque el cociente entre dos de las masas es igual que la masa relativa de los objetos.

Número de clavos	de Clavones (c = 1 clavón)	Onzas (onza)	Gramos de (g)	Número de objetos
- Std	- 1 t	- 1	- 28.35	- 79
- 3	- 2.73 t	- 2.73	- 77.40	- 79
- 2	- 4.94 t	- 4.94	- 140.05	- 79
- 1	- 10.22 t	- 10.22	- 289.74	- 79

Ella utilizó dos diversas escalas (una basada en un solo clavón y una basada en una onza de clavones) para medir masas con la misma cantidad de tornillos a pesar de la cual fuera la escala utilizada. Así, su “mol de objetos” tendría la misma cantidad de objetos independientemente de sus masas”. Ella llamó a esta masa la masa molar de clavos, una magnitud proporcional a la masa relativa de cada clavo.

Algo absolutamente similar fue desarrollado con diversos objetos metálicos: tornillos, tuercas y rondanas (véase la tabla 8). Ella determinó un cociente entre las masas de cada pieza y la masa del estándar. Luego, ella le preguntó a los estudiantes qué sucedería si la masa de la referencia fuera aumentada, por ejemplo, partiendo de 1 onza o de 50.0 g a 1 tonelada. La conclusión alcanzada era que el número de piezas sería igual si la masa relativa se toma como una base para construir las muestras según las indicaciones de la tabla 10.

Tabla 10. Un tornillo es el estándar en esta tabla hipotética. Y ninguna de las muestras que aquí se presentan tiene el mismo número de objetos.

Tipo de pedazo metálico	Cociente numérico	"tornillón"	Masa de la referencia		
			- 1tonelada	- 50g	- 100 g
- tornillos (std)	- 1/1	- 1 t	- 1 tonelada	- 50 g	- 100 g
- clavos	- 57/285	- 5 t	- 5toneladas	- 250 g	- 500 g
- Rondanas	- 100/400	- 4 t	- 4 toneladas	- 200 g	- 400 g
- Tuercas	- 20/200	- 10 t	- 10 toneladas	- 500 g	- g 1000

Cuando se convenció de que todos sus estudiantes habían entendido el hecho de que el número de piezas sigue siendo igual, independientemente de la masa que ella ponía en las escalas, ella transfirió la idea al ambiente de la química usando el átomo del hidrógeno como estándar, como había sido hecha históricamente. Con hidrógeno como estándar, entonces C pesaría igual que 12 átomos de H, Cl igual que 35.5 átomos de H y de O igual que 16 átomos de H. Las mismas relaciones se pueden expresar en términos de masa diciendo que la masa de una referencia del hidrógeno pesaría 1.0 g, la masa del carbón 12.0 g, que de la cloro 35.5 g y que del oxígeno 16.0 g: Todas estas masas contienen el mismo número de átomos. De esta manera, la profesora 1 no tuvo que mencionar la constante de Avogadro; es suficiente para saber que el número de moléculas, de átomos o de partículas sigue siendo igual.

Después, ella monta pares de tuercas y tornillos ligados para simular las moléculas de HCl, y después explica que esos 36.5 g del compuesto representan un mol. Ella une una tuerca y un perno con dos rondanas adentro, una molécula de HClO₂ con una masa molar de 68.5 g:

$$(1+35.5+2\times 16=68.5).$$

Finalmente, con las masas relativas de los átomos, ella determina la composición de elementos, expresada como porcentaje, en una sustancia dada como el problema final.

Glosario

- **CPC** Conocimiento pedagógico del contenido
- **CoRe (Content Representation)** Es el conocimiento particular que posee el profesor sobre un contenido científico, es decir un tema e concreto, y lo llaman la representación del contenido.
- **CTS** Ciencia Tecnología y Sociedad.
- **PaPer (Professional and Pedagogical experience Repertoire)** Se liga a la práctica de la enseñanza y lo llaman repertorio de la experiencia profesional y pedagógica.
- **IUPAC** Unión Internacional de Química Pura y Aplicada
- **SI** Sistema Internacional de Medidas.