



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

***DISEÑO Y VALIDACIÓN DE MATERIAL DIDÁCTICO PARA LA
ENSEÑANZA DE LA SEGUNDA REVOLUCIÓN QUÍMICA***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO

PRESENTA

Carlos Francisco De la Mora Mondragón



MÉXICO, D.F.

AÑO: 2013



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: **Profesor: José Antonio Chamizo Guerrero**

VOCAL: **Profesora: Adela Castillejos Salazar**

SECRETARIO: **Profesora: Guadalupe María Cristina Rueda Alvarado**

1er. SUPLENTE: **Profesora: Kira Padilla Martínez**

2° SUPLENTE: **Profesora: Ariadna Garza Ortiz**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ASESOR DEL TEMA:

Dr. José Antonio Chamizo Guerrero

SUSTENTANTE:

Carlos Francisco De la Mora Mondragón

Dedicatoria:

A la Universidad

Por darme la oportunidad de exponer quien soy realmente.

A mis padres.

Carlos y María Luisa que me apoyaron en todo momento y nunca perdieron su fe en mí.

A mi hermana.

Mariza, que me demostró que todo es posible.

A mi abuela.

Lupita, quien siempre me mostró su gran cariño.

A todos mis amigos y amigas.

Que me manifestaron su amistad y entrega durante tantos años.

A mis profesores.

Que no sólo me enseñaron química, sino que también me instruyeron sobre la vida.

Y a todos(as) aquellos(as) que aunque no menciono, saben que marcaron mi vida y jamás serán olvidados.

Agradecimientos:

Primeramente agradezco a todos aquellos que me apoyaron para terminar la carrera, empezando por mi familia, mis padres Carlos y María Luisa muchas gracias por su paciencia y comprensión. Mariza, gracias por siempre animarme en los momentos que así lo requería.

Posteriormente a todos aquellos profesores que marcaron mi vida y opino que es importante mencionarlos: Dr. Norberto Farfán García, M. en C. Margarita Romero Ávila, M. en C. Blas Flores, Mtra. Emely Baché Ortega, Dra. Yolanda Castells García, M. en C. Norma Ruth López Santiago, Dra. María Antonia Dosal Gómez, Prof. Jorge Ortega Cárdenas, Dra. Guillermina Salazar Vega, Dr. Miguel Ángel Carrillo Martínez, Dr. Jorge Luis López Zepeda, Dr. Roberto René Salcedo Pintos, Dr. Plinio Sosa Fernández, Profra. María Isabel Gracia Mora, Prof. Héctor Ariel Rico Morales y M. en C. María de los Ángeles Olvera Treviño. Todos y cada uno de ustedes plasmaron en mí, no sólo conocimientos, sino comprensión y una gran amistad.

Un agradecimiento especial al Dr. José Antonio Chamizo por darme la oportunidad de realizar exitosamente esta tesis. De igual manera a la Dra. Kira Padilla Martínez por todo su apoyo brindado. Y no puedo dejar atrás a la Profra. Adela Castillejos Salazar quien me dio tantos consejos al final de la carrera.

Por otro lado, doy las gracias por haber conocido al Dr. Robert Johnson Bundy, quien siempre me apoyó en los momentos más difíciles de mi carrera y de mi vida.

También agradezco a aquellos laboratoristas y personal administrativo que siempre estuvieron ahí cuando requería apoyo: Maru Eugenia, Luis, Beto, Aida, Rosario, Yolanda, Isabel, Margarito y Lulú.

Y a todos mis amigos y amigas: Francisco, Alejandro, Miguel, Rafael, Christian, Nery, Eric, Luis, Bettina, Tania, Estefany, Samantha y Sandra; quienes soportaron mis momentos de estrés y siempre me auxiliaron cuando lo necesité.

Por último, pero no por eso menos importantes, agradezco a todos mis exalumnos que me demostraron que el maestro puede aprender mucho de sus estudiantes y que no los menciono a todos porque es una lista prácticamente interminable.

Índice general

1.- Introducción	8
1.1.- ¿Por qué se ha elaborado esta investigación?	9
1.2.- ¿Por qué se eligió este tema?	10
2.- Objetivos	11
2.1.- Diseño de la unidad didáctica	12
2.2.- Validación de la unidad didáctica	12
2.3.- Evaluación del aprendizaje	13
3.- Marco teórico	14
3.1.- ¿Por qué enseñar ciencias?	15
3.2.- ¿Por qué enseñar química?	16
3.3.- La enseñanza de la química contextualizada	17
3.4.- ¿Por qué enseñar historia de la química?	18
3.5.- Las revoluciones químicas	19
3.6.- La unidad didáctica	21
3.7.- Herramientas de validación	22
3.8.- Importancia de la evaluación del aprendizaje	24
3.9.- Visiones deformadas de la ciencia	26
4.- Metodología	28
4.1.- Habilidades profesionales docente-alumno	29
4.2.- Diseño de la unidad didáctica	31
4.3.- Validación, evaluación e intervención didáctica	33
5.- Resultados y análisis	37
5.1.- Unidad didáctica	38
5.2.- Actividades	69
5.3.- Validación	79
5.4.- Evaluación	86
5.5.- Correcciones a la Unidad Didáctica	87
6.- Conclusiones	103
6.1.- Sobre el diseño de la unidad didáctica	104
6.2.- Sobre la validación de la unidad didáctica	104
6.3.- Sobre la evaluación del aprendizaje	104
7.- Bibliografía	105

INTRODUCCIÓN

1.- Introducción:

1.1.- ¿Por qué se ha elaborado esta investigación?

Durante varios años se ha observado falta de interés por parte de los estudiantes hacia la ciencia, particularmente hacia la química ya que los alumnos entran a clase desmotivados. ¿Y de dónde proviene esta desmotivación? Furió (2005) propone que la imagen de la química ante la sociedad es muy negativa, pues no sólo la consideran aburrida; si no también peligrosa. De igual manera Chamizo (2011) cita un epígrafe escrito por Lazlo y Greenberg (1991) que dice así:

“La química tiene una mala imagen. La gente desconfía de ella por considerarla una ciencia compleja e incomprensible. Existe la tradición de aprender la química de memoria en lugar de comprenderla. Los químicos aparecen como personas retraídas y un poco peligrosas, aislados en sus laboratorios, donde confeccionan mezclas elaboradas que son peligrosas al olerlas y quizá hasta venenosas”

El texto anterior tiene una antigüedad de más de veinte años y parece que actualmente no ha cambiado la visión que la sociedad tiene sobre la química y los profesionistas que se dedican a ella.

Esta idea acerca de la química provoca un “círculo vicioso”, pues los estudiantes al llegar desmotivados a clases, no prestan atención; al no prestar atención, no aprenden; y como no aprenden, se aburren y con ello aumenta el desinterés por aprender. Para combatir esta desmotivación de los estudiantes ante las clases de química se han propuesto cuatro puntos principales (Furió, 2005):

- Plantear situaciones problemáticas que tengan interés para los alumnos.
- Presentar problemas que fueron relevantes en la historia de la ciencia.
- Aproximar la metodología de enseñanza a las estrategias con las que los científicos intentan resolver los problemas.
- Mostrar expectativas positivas en la evaluación de los aprendizajes.

De acuerdo a lo anterior, esta investigación se centró principalmente en el segundo punto.

1.2.- ¿Por qué se eligió este tema?

Primero hay que mencionar que una de las teorías para el correcto aprendizaje de la ciencia menciona que ésta debe de estar contextualizada, ya que esto es ineludible para justificar la importancia de los conceptos y métodos químicos (Caamaño, 2007). Asimismo la enseñanza a través de la historia de la ciencia, permite conocer los problemas que generaron un descubrimiento específico y cómo éste se resolvió (Furió, 2005) permitiendo una conexión entre el desarrollo del pensamiento individual con las ideas científicas en un momento en particular (Quintanilla en Chamizo, 2010), ayudando así al estudiante a aprender más fácilmente el modelo que se quiere enseñar.

Con lo anterior, se decidió realizar un material didáctico para química contextualizado históricamente, pero dada a la extensión de ésta se creyó necesario acotar una época específica cuyo valor científico fuera significativo para el desarrollo del conocimiento actual de la química. Para ello se utilizó la idea de las revoluciones científicas propuestas por el filósofo de la ciencia Thomas Kuhn (1962), en donde se dice que cuando un conjunto de ideas y modelos predominantes que forman paradigma, no puede responder ciertas incógnitas acerca de algún fenómeno científico, se requiere de un cambio de pensamiento y a este cambio se le llama revolución científica.

En la historia de la química se proponen tres revoluciones (Jensen, 1998) cada una ejemplifican características específicas que conforman parte del conocimiento básico de la química moderna. La primera se llevó a cabo de 1770 a 1790 n. e., la segunda de 1855 a 1875 n. e. y la tercera de 1904 a 1924 n. e. De entre estas revoluciones se eligió la segunda, por manejar conceptos de difícil aprendizaje para los estudiantes como la naturaleza corpuscular de la materia, estequiometría y la diferencia entre elementos y compuestos (Kind, 2004). También como consecuencia de esta revolución se desarrolla la tabla periódica, herramienta muy útil para todos los químicos del mundo.

OBJETIVOS

2.- Objetivos:

2.1.- Diseño de la unidad didáctica:

Constantemente el docente en ciencias se llega a preguntar ¿Qué hacer con el estudiante para facilitar la comprensión de un concepto científico? ¿Qué actividades se pueden utilizar para ayudarle al aprendizaje? ¿Cuánto tiempo se debe tomar? ¿De qué forma se deben secuenciar los conceptos? Para responder a todas estas preguntas, se propone la utilización de un instrumento conocido como unidad didáctica.

Pero, ¿qué es una unidad didáctica? Básicamente es una herramienta que permite organizar objetivos, contenidos y criterios de evaluación de un tema en específico (Rodríguez, 2008). La importancia en la planeación y desarrollo de unidades didácticas es un elemento inmejorable para preparar un conjunto de clases basadas en un enfoque constructivista, dentro del marco de un conocimiento pedagógico del contenido que impacte sobre el aprendizaje de la ciencia (García y Garritz, 2006); ya que para el docente de ciencias, el conocimiento del contenido que va a enseñar debe estar inseparablemente unido con el proceso de cómo enseñarlo (Sánchez y Valcárcel, 2000).

Así pues, el diseño de unidades didácticas permite concretar las intenciones educativas expresadas en los diferentes tópicos de las unidades para transformarlas en una propuesta coherente de actividades organizadas. Como primer objetivo se propone diseñar una unidad didáctica relacionada con el tópico de la tesis aquí presentada.

2.2.- Validación de la unidad didáctica:

Pero después del diseño ¿cómo saber que la unidad didáctica cumplirá los objetivos pedagógicos propuestos? Para ello se requiere probar la unidad didáctica por medio de herramientas de validación que ayuden a confirmar que la ésta resulta certera para los objetivos planteados.

Estas herramientas surgieron como resultado de un proceso de investigación educativa y van relacionadas con la evaluación de actitudes y opiniones acerca de un tema, en este caso en particular; sobre la unidad didáctica diseñada.

Para ello, se decidió realizar una encuesta que permitiera extraer información precisa que enlazara los objetivos que se proponen investigar con la información que aporte el encuestado, facilitando el examen de las preguntas, así como la compatibilidad de las respuestas. La necesidad de rigor, de comparabilidad y de replicación que caracterizan la investigación científica, hacen que sea necesario el contar con un instrumento que permita estandarizar las variables (Borges, 2007).

Por lo tanto también se propone como segundo objetivo diseñar instrumentos adecuados que se basen en la investigación científica para validar la unidad didáctica.

2.3.- Evaluación del aprendizaje:

La evaluación es un proceso continuo que se desarrolla a lo largo de toda la educación escolarizada. Consiste en observar lo que ocurre en el aula, con el objeto de obtener información que sea útil para ajustar las actividades de enseñanza a las necesidades particulares de aprendizaje de los estudiantes y para poder hacer un seguimiento del avance del grupo a lo largo del año escolar. La evaluación es un medio y no un fin, porque no depende únicamente del resultado de uno o varios exámenes, sino del trabajo permanente del alumno (Chamizo, 1996). Por lo tanto, es importante realizar una evaluación adecuada del conocimiento adquirido así como contar con instrumentos diseñados para ello.

Así pues, como tercer objetivo de esta tesis se propone desarrollar la respectiva evaluación y crear las herramientas adecuadas para llevarla a cabo.

MARCO TEÓRICO

3.- Marco teórico:

3.1.- ¿Por qué enseñar ciencias?

Durante los últimos años se ha señalado como una prioridad educativa internacional que la sociedad aprenda ciencia, tal como se puede ver en la “Declaración sobre ciencia y el uso del saber científico” (UNESCO, 1999):

“[...] el acceso al saber científico con fines pacíficos desde una edad muy temprana forma parte del derecho a la educación que tienen todos los hombres y mujeres, y que la enseñanza de la ciencia es fundamental para la plena realización del ser humano, para crear una capacidad científica endógena y para contar con ciudadanos activos e informados [...] La enseñanza científica, en sentido amplio, sin discriminación y que abarque todos los niveles y modalidades, es un requisito previo fundamental de la democracia y el desarrollo sostenible [...] Hoy más que nunca es necesario fomentar y difundir conocimientos científicos básicos en todas las culturas y todos los sectores de la sociedad, así como las capacidades de razonamiento, las competencias prácticas y una mejor apreciación de los valores éticos, a fin de mejorar la participación de los ciudadanos en la adopción de decisiones relativas a la aplicación de nuevos conocimientos [...]”

La importancia concedida a una educación científica es tal que se ha llegado a hacer una analogía entre la alfabetización básica con una “alfabetización científica y tecnológica” (Fourez, 1997). Así, Gil y Vilches (2006) enfatizan la importancia de la alfabetización científica en los ciudadanos, primordialmente para responder sobre decisiones de índole científico, pues muchas veces sus decisiones solamente se basan en tesis sociales, que si bien, son importantes, no son la única variable a tomar en cuenta. Gil y Vilches también mencionan en el mismo texto, el valor que tiene la ciencia para formar un espíritu crítico ya que permite dar tentativas de soluciones a problemas, proporcionando una formación más creativa, abierta y socialmente contextualizada. Con respecto al espíritu crítico Driver, Newton y Osborne (2000) mencionan que la ciencia no sólo es saber “qué” es un fenómeno, sino “cómo” se relaciona con otros eventos, “porqué” es importante y “cómo”

es que surge esta visión del mundo. Ayudando a los estudiantes a ser capaces de presentar argumentos coherentes y evaluar a los demás, especialmente aquellos que provienen de los medios de comunicación; principalmente en asuntos en donde la ciencia está implicada y aplicada.

Por otro lado, Driver y su equipo (1996) señalan cuatro argumentos a favor de la enseñanza de la ciencia:

- Económico, ya que se requieren científicos calificados para mantener y desarrollar procesos industriales de los cuales depende el futuro económico del país.
- Cultural, pues la ciencia es un patrimonio cultural, como lo es el arte; y todos debemos estar capacitados para apreciarla.
- Moral, ya que la práctica científica incorpora a nuestra vida normas y compromisos que nos son de gran valor.
- Y por último, el argumento del aprendizaje de la ciencia; pues el entendimiento de la naturaleza de la ciencia contribuye al aprendizaje exitoso del conocimiento científico.

3.2.- ¿Por qué enseñar química?

Respecto a esto la Directora General de la UNESCO Irina Bokova con motivo del Año Internacional de la Química (2011) menciona que “La educación y el aprendizaje son factores claves del éxito en la empresa de formar hoy a los químicos del mañana. Es preciso estimular la curiosidad de todos los jóvenes por esta ciencia apasionante, que es un importante recurso para el desarrollo. Mediante los nuevos instrumentos de comunicación [...], debemos alentar en las aulas a los muchachos y muchachas a que se inicien en los ‘misterios’ de la química y conozcan su potencial. Los jóvenes son la garantía de nuestro futuro”.

Por lo tanto, se ha considerado esencial que los alumnos estudien ciencia para un mejor desarrollo personal y social. Y en específico, la química tiene un objetivo de progreso económico e impacto social a nivel mundial.

3.3.- La enseñanza de la química contextualizada

Para enfrentar los problemas que enfrenta la educación en química a nivel mundial Gilbert (2006) sugiere que se utilice la noción del “contexto” como base para resolver estas dificultades.

Antes que nada, hay que definir el término “contexto”, la Real Academia de la lengua Española lo define como: entorno físico o de situación, ya sea político, histórico, cultural o de cualquier otra índole, en el cual se considera un hecho.

El manejo del contexto permite simplificar el contenido de los planes de estudio enfocándose en los conocimientos más utilizados en la química. También permite proveer las bases adecuadas para crear “mapas mentales” coherentes y que los estudiantes puedan relacionar estos conceptos. De igual manera ayuda que los alumnos perciban analogías entre lo que le demanda el aprendizaje y los contextos a los que se enfrentan (Gilbert, 2006).

Es importante hacer notar que los contextos deben de ser suficientemente flexibles para poder llevar a cabo los logros antes mencionados al momento de diseñar planes de estudio para los estudiantes.

Gilbert también menciona que para que el contexto sea educativo, éstos deben cumplir con los siguientes atributos:

- Un marco social, espacial y temporal en el que están situados los acontecimientos centrales en relación a los esquemas mentales.
- La forma en que el contenido está relacionado con el concepto central.
- La utilización de un lenguaje específico y como se relaciona con el concepto central.
- La relación entre el conocimiento adquirido y las circunstancias en las que se encuentra el contexto.

Con esto, el contexto proporciona un significado estructurado y coherente para los estudiantes, auxiliándoles a entender porque están aprendiendo química.

Para que sea más efectiva la implementación de un plan de estudios de química basado en un contexto es necesario diseñar un método adecuado para los procesos mentales involucrados.

Por ello la utilización de un contexto en la docencia de la química ayuda a que los estudiantes entiendan más fácilmente los conceptos que se pretenden enseñar.

3.4.- ¿Por qué enseñar historia de la química?

La enseñanza científica, incluida la universitaria, se ha reducido básicamente a la presentación de conocimientos ya elaborados, sin dar ocasión a los estudiantes de asomarse a las actividades características de la actividad científica abundando los tópicos deformantes; por ejemplo, la exposición de los conocimientos sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción ni mucho menos aún, las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas (Cachapuz, 2002).

Nieto-Galán (en Chamizo, 2010) plantea que a pesar de que es indudable que la química tiene una gran capacidad para transformar las condiciones materiales de la vida cotidiana representando uno de los grandes complejos científicos y técnicos de nuestro tiempo, se ha observado cómo el número de estudiantes de química se ha reducido drásticamente en todas las universidades del mundo.

En respuesta a esto, Quintanilla (en Chamizo, 2010) dice que la historia de la química permite una conexión entre el desarrollo del pensamiento individual con las ideas científicas en un momento en particular, ayudando a que el estudiante aprenda más fácilmente el concepto a enseñar. A su vez el historiador Mauskopf (en Chamizo, 2010) nos dice que la historia de la química ha permanecido casi invisible, tanto para el público en general como para el químico profesional; además, la química se encuentra en una encrucijada de nuestra cultura contemporánea: entre lo natural y lo sintético, la ciencia y la técnica, la naturaleza y la sociedad.

También Duvéen y sus colaboradores (Duvéen, 1992) indican que al enseñar en un contexto histórico provoca que el aprendizaje por parte de los estudiantes sea más sencillo, ya que se les presentan los conceptos centrados en situaciones controversiales

ayudando a que los alumnos se enfoquen en las razones para aceptar una teoría en comparación a otra.

Con ello los docentes y estudiantes son capaces de saber los problemas que originaron la construcción de los conocimientos científicos (Gil, 1991): cómo llegaron a articularse en cuerpos coherentes, cómo evolucionaron y cuáles fueron las dificultades. La historia de las ciencias manifiesta la forma en que los científicos abordan los problemas, las características más notables de su actividad y las interacciones Ciencia/Técnica/Sociedad asociadas a la construcción de dicho conocimiento.

Por otro lado, Talanquer (en Stip, 2011) plantea que el desarrollo de los currículos de química se beneficiaría al realizar un análisis más cuidadoso de lo que la historia de esta disciplina nos dice sobre su naturaleza y ayudaría a diseñar estrategias de enseñanza que reflejen de manera más auténtica el quehacer de los profesionales de la química. Por ejemplo: qué la distingue de otras disciplinas científicas o qué preguntas esenciales guían el desarrollo y aplicación del conocimiento químico.

Por lo tanto, es importante darla a conocer para que el público conozca la realidad acerca de la química, además de que de manera didáctica permite relacionar la resolución de un problema en un momento específico.

3.5.- Las revoluciones químicas

Ya que el contexto de la unidad didáctica realizada en esta tesis está relacionado con la historia de la química, había que hacer una división de ella debido a la extensión. Jensen (1998; también en Stip, 2011) propone una división no sólo histórica, si no que cada división está relacionada directamente con una jerarquía física de la materia y que pueden ser utilizadas para enseñar sobre esta tarea química en relación al tema.

La propuesta de Jensen se basa en la idea de revolución científica planteada anteriormente por Kuhn (1962), él menciona que el conjunto de ideas y modelos que predominan en un tiempo determinado y son utilizados para resolver los problemas científicos se le conoce como paradigma. Así, un paradigma se mantiene inalterable mientras éste cumpla las exigencias de resolución de problemas; cuando hay algún

fenómeno que el paradigma no puede explicar, entonces se buscan nuevos métodos y se postulan nuevos modelos. Al cambio radical de los modelos anteriores por nuevos para resolver los problemas científicos que se presentan en una época determinada se le conoce como revolución científica.

Pero ¿cuándo se puede hablar de una revolución científica? Jensen (1998) sugiere que hay tres respuestas aceptables:

- Una reinterpretación radical de una idea existente.
- La resolución de un antiguo debate. La solución es capaz de atacar con éxito el problema científico, revolucionando el quehacer rutinario.
- La apertura de un nuevo nivel teórico de conocimiento que incluya las otras teorías como casos especiales.

Además para poder comprobar si se ha llevado a cabo una revolución científica, uno o varios de los siguientes elementos puede estar presente:

- Relatos de la época generalizados y persistentes que afirman de manera explícita que una revolución científica se está llevando a cabo.
- Cambios significativos y explícitos en el contenido, vocabulario y la organización de los libros de texto antes y después del periodo en cuestión.
- Cambios significativos en el énfasis de la investigación y la práctica.
- Cambios representativos en la estructura de las organizaciones académicas y profesionales, incluyendo la fundación de nuevos centros de investigación, institutos de investigación, sociedades y revistas científicas.

Con las definiciones anteriores, Jensen localiza tres revoluciones científicas relacionadas con la disciplina química y aunque otros autores han identificado hasta un total de cinco revoluciones químicas (Chamizo, 2011), no todas se relacionan directamente con jerarquías conceptuales para la comprensión de la química. Aunque es importante mencionar que sí se relacionan con la forma de enseñar química experimentalmente, pero ese problema no atañe a esta tesis.

Así pues las tres revoluciones químicas propuestas por Jensen (1998) son las siguientes:

- Primera revolución química: Esta revolución está directamente vinculada con la concepción molar acerca de la materia. El principal protagonista de esta época fue el químico francés Antoine Lavoiser y por conveniencia el autor propuso la división en periodos de 20 años de 1770 a 1790. Las características generales de ésta se relacionan con la química cuantitativa y el lenguaje de la química.
- Segunda revolución química: Ésta se vincula directamente con la concepción molecular acerca de la materia. Entre los protagonistas se pueden mencionar a los químicos Stanislao Cannizzaro, August Kekulé, Edward Frankland y Dmitri Mendeleiev y el periodo va de 1855 a 1875. Las características generales de esta época son la química molecular, valencia y la tabla periódica.
- Tercera revolución química: La vinculación conceptual de este periodo tiene que ver con la naturaleza eléctrica (electrones) de la materia. Los personajes principales son Gilbert Newton Lewis, F Soddy, W L Bragg y Wilhelm Ostwald. El periodo va de 1904 a 1924. Las características generales de esta revolución son la química eléctrica, la química nuclear, los rayos X y la fisicoquímica.

Con ello, se propone que la química se pueda enseñar siguiendo la jerarquía de conocimiento tal y como sucedieron en las distintas revoluciones.

3.6.- La unidad didáctica

La preparación de una clase no trata únicamente de pasar la vista someramente por algunos libros de texto que hablen del tema al que el profesor va a enfrentarse con los estudiantes, sino de comprender a fondo las múltiples implicaciones que tiene el aprendizaje de dicho contenido. Y no se trata solamente de aspectos sobre el contenido científico, sino también la aplicación del conocimiento pedagógico del contenido con todos sus recovecos, como la organización y el manejo de la clase, la elección de modelos y estrategias de instrucción, el cuidado del discurso en la clase y las fuentes del conocimiento pedagógico personal, para finalizar con la selección de estrategias de evaluación y valorar el posible éxito o fracaso obtenido durante el tratamiento del tema (García y Garritz, 2006).

La preparación de una lección es una tarea que ha de acometer al docente: qué contenidos incluir, el comienzo del desarrollo del currículo, las experiencias de laboratorio a realizar, etc. El trabajo de los profesores requiere una planificación que, en general, es considerada como una lista flexible de acciones centradas fundamentalmente en los contenidos y las actividades de enseñanza, estando implícitos los objetivos o metas a lograr (Sánchez y Varcárcel, 1993).

A esta secuenciación de contenido que ayuda a decidir el momento del proceso formativo para ser trabajado por los alumnos y adquieran un aprendizaje significativo se le conoce como Unidad Didáctica (Instituto Vasco de Cualificaciones y Formación Profesional, 2008).

Así pues, las Unidades Didácticas en ciencias, y su contribución al pensamiento científico, captan una temática de actualidad e importancia práctica; la enseñanza y el aprendizaje bajo un enfoque de promoción de competencias de pensamiento científico, generando desafíos para la iniciativa, la innovación y, en suma, la actividad creativa de profesores y estudiantes. La solución de problemas científicos, constituyen el eje de cada guía, con lo cual se genera un estímulo en el pensamiento de los estudiantes, favoreciendo así el desarrollo de habilidades cognoscitivas (Daza, 2010).

3.7.- Herramientas de validación

Generalmente todo problema de investigación científica implica de cierto modo una tarea de medición de los conceptos que intervienen en la misma. Se determinan las variables necesarias y se encuentra el valor que éstas asumen en determinado caso. La medición de variables que no son físicas o tangibles es prácticamente el mismo, pero con un grado en este tipo de variables no existen para su comparación patrones de medida universalmente aceptados y definidos.

Dubon y sus colaboradores (2010) mencionan que medir un concepto complejo, como un punto de vista o una preferencia hacia algo, implica definir las dimensiones que integran la variable, encontrar indicadores diversos que la reflejen y construir luego una escala apropiada para el caso. La escala puede definirse como un continuo de valores ordenados

que tiene un punto inicial y otro final. Para que una escala se considere como un elemento capaz de brindar información objetiva debe reunir los requisitos de confiabilidad y validez.

El instrumento de recolección de datos resume en si toda la labor previa de investigación: aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados. Pero también expresa todo lo que se hace empíricamente con el objeto de estudio pues sintetiza el diseño concreto seleccionado (Dubon, 2010).

De entre los instrumentos de medición comúnmente utilizados se encuentran los cuestionarios. A su vez, dentro de éstos hay una escala muy popular conocida como “escala de Likert” la cual consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se pide la reacción de los sujetos. Es decir, se presenta cada afirmación y se pide al sujeto que externar su reacción eligiendo uno de los puntos de la escala. A cada punto se le asigna un valor numérico y sólo puede marcarse una opción. Así, el sujeto obtiene una puntuación respecto a la afirmación y al final se obtiene su puntuación total sumando las puntuaciones obtenidas en relación a todas las afirmaciones. Las afirmaciones califican al objeto la actitud que se está midiendo y deben expresar sólo una relación lógica.

Por otro lado, también existen instrumentos de evaluación psicológica por ejemplo el llamado “diferencial semántico de Osgood”, éste constituye una combinación de asociación controlada, que le proporciona al sujeto un concepto que debe ser diferenciado y un grupo de adjetivos bipolares opuestos en significación colocados en sobre los que tiene que hacer la diferenciación de su asociación y su identidad en una escala de varios rangos. El interés principal es estudiar la estructura del significado, concluyendo que éste tiene tres dimensiones (Dubon, 2010):

- Valoración o evaluación del concepto: Es un factor determinante del significado ya que implica la evaluación de la actitud hacia el concepto.
- Potencia: Hace referencia a la potencia o la fuerza que para un sujeto tiene un determinado concepto.

- Actividad: Este término se refiere a la actividad o agilidad que representa el concepto para el sujeto.

Según esta técnica, todos los conceptos giran alrededor de estos tres ejes, de manera que el significado de un concepto se define por su valor en las dimensiones de evaluación, potencia y actividad; factores que son la base contextual en donde queda encuadrado el espacio semántico. Las dos principales aportaciones de esta técnica son el espacio semántico y la distancia semántica (Dubon, 2010).

El espacio semántico se refiere al espacio delimitado por los factores de evaluación, actividad y potencia. De esta manera la localización de un concepto estará dada por la confluencia de las tres puntuaciones en los elementos antes mencionados. La importancia del espacio semántico está dada por su capacidad de mostrar de forma gráfica la percepción que tiene una persona (o conjunto de ellas) sobre un concepto.

La distancia semántica es útil para establecer el grado que provocan las mismas reacciones en el sujeto, para ver semejanzas semánticas existentes entre conceptos.

Por lo tanto, la importancia del diferencial semántico reside en que permite conocer el perfil semántico de cada persona, o bien de grupos de personas, que al obtenerlo se tiene la capacidad de construir el mapa conceptual de cada persona y como cada concepto se estructura en el perfil.

3.8.- Importancia de la evaluación del aprendizaje

El aprendizaje significativo, es difícil de olvidar pues es el mecanismo humano por excelencia, para almacenar ideas en cualquier campo del conocimiento (Ausubel, 1963). Y ya que toda actividad educativa exige comprobar el aprendizaje significativo, el docente debe conocer las ideas que tienen los estudiantes sobre los procesos científicos para que en realidad aprendan (Driver, 1989), implicando hacer una evaluación.

Para ello la evaluación es importante tal y como lo dice la UNESCO (1994) en el Foro Internacional sobre el Proyecto 2000+, que para promover una adecuada educación científico y tecnológica en el contexto de la educación reside en reconocer que:

“[...] la evaluación es esencial para tomar las decisiones pedagógicas que corrijan el proceso educativo, de manera que la población pueda alcanzar los niveles de conocimiento adecuados en ciencia y tecnología [...]”

Así, se pueden establecer estrategias de evaluación que ponderen las relaciones entre los conceptos, que identifiquen el aprendizaje significativo convirtiendo las evaluaciones como un medio para aprender y no un fin en sí mismo (Chamizo, 1995).

La evaluación cumple varias funciones dentro de un programa de estudios (Chamizo y Hernández, 2000):

- Es un proceso generador de información que proporciona al maestro una ayuda en la toma de decisiones, para mejorar y orientar la enseñanza y el aprendizaje, ayudando a detectar las necesidades que se refieren a las experiencias de aprendizaje de los alumnos. Posteriormente valorar las actividades propuestas y ajustar las estrategias generales de enseñanza.
- La evaluación permite al estudiante apreciar su propio avance e identificar los puntos débiles de su desarrollo. Además ayudan al estudiante a considerar sus errores no como fracasos, sino como incentivos para superar los obstáculos en su aprendizaje.
- La evaluación también permite a los tutores de los estudiantes mantenerse al tanto de su desarrollo y desempeño, para ayudarlos al logro de las metas educativas.
- El sistema educativo emplea las calificaciones, que no son otra cosa más que evaluaciones simplificadas y cuantificadas, como la condición de promoción de un curso al siguiente.

A pesar de los objetivos explícitos de los cursos y de las recomendaciones didácticas de cómo deben desarrollarse, el modo de evaluar los contenidos refleja con mucha mayor precisión para los estudiantes lo que se supone es el programa. Ésta es la manera más efectiva de indicar a los alumnos lo realmente importante en un curso y lo que es sólo información colateral.

3.9.- Visiones deformadas de la ciencia:

Cachapuz y sus colaboradores (2002) mencionan en su artículo que las visiones deformadas de la ciencia son algunas de las principales obstáculos para la renovación de la enseñanza de las ciencias. Esto se debe a que la enseñanza científica se ha reducido básicamente a la presentación de conocimientos ya elaborados, sin dar ocasión a los estudiantes de asomarse a las actividades características del quehacer científico.

En el mismo artículo (Cachapuz y colaboradores, 2002) los autores lograron reconocer siete visiones deformadas que se enlistan a continuación:

- **Visión empiroinductivista y ateórica:** En este caso se resalta el papel de la observación y de la experimentación no contaminadas por ideas apriorísticas, olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación que orientan todo el proceso.
- **Visión rígida de la actividad científica:** Se presenta el “método científico” como un conjunto de etapas a seguir mecánicamente; olvidando o incluso rechazando todo lo que significa invención, creatividad, duda, etc.
- **Visión apblemática y ahistórica de la ciencia:** Los conocimientos se transmiten ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción. Y mucho menos las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas.
- **Visión exclusivamente analítica:** Aquí se resalta la necesaria parcelación inicial de los estudios, su carácter acotado, simplificadorio, pero que olvida los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos coherentes de conocimientos cada vez más amplios, o el tratamiento de problemas “puente” entre distintos campos de conocimiento que pueden llegar a unirse.
- **Visión meramente acumulativa del desarrollo científico:** Se presentan los conocimientos hoy aceptados sin mostrar cómo dichos conocimientos han sido

alcanzados, ni referirse a frecuentes confrontaciones entre teorías rivales, ni a los complejos procesos de cambio.

- **Visión individualista y elitista de la ciencia:** Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos. También no se realiza un esfuerzo por hacer la ciencia accesible, ni mostrar su carácter de construcción humana, en la que no faltan confusiones ni errores, como los de los propios alumnos.
- **Visión descontextualizada, socialmente neutra de la actividad científica:** Trata muy superficialmente las relaciones ciencia, tecnología, sociedad y ambiente reduciendo la enumeración de algunas aplicaciones de los conocimientos científicos. Además los científicos junto a economistas, políticos, empresarios y trabajadores estudian los problemas a los que hoy se enfrenta la humanidad, advierten los riesgos y ponen punto a soluciones.

Estas visiones son importantes de conocer ya que la unidad didáctica realizada ataca a algunas de éstas para evitar que la idea deformante siga prevaleciendo en el aprendizaje científico del estudiante.

METODOLOGÍA

4.- Metodología:

4.1.- Habilidades profesionales del docente y el alumno

Como parte importante de este trabajo, es necesario cuestionar las ideas de sentido común sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias ya que la influencia de esta formación incidental es enorme porque responde a experiencias reiteradas y se adquiere de forma no reflexiva como algo natural, obvio, de “sentido común”, escapando así a la crítica y convirtiéndose en un verdadero obstáculo (Gil, 1991). Por lo tanto hay que considerar las capacidades profesionales de los sujetos en el acto metodológico de enseñanza y aprendizaje (Marquès, 2001):

Habilidades que se busca desarrollar en los estudiantes al utilizar esta unidad didáctica:

- Búsqueda de información: Cómo hacer preguntas, saber utilizar el material de referencia. Ya que al momento de realizar la lectura de la Unidad Didáctica, será preciso que sepan utilizar la información que se les proporciona. Así como saber qué preguntar para que el docente pueda saber cómo responderle sus dudas.
- Asimilación y retención de la información: Escuchar y estudiar para comprender el tema, leer con comprensión. Totalmente necesarias para comprender el contenido de la unidad.
- Analíticas: Razonamiento deductivo, desarrollo de actitud crítica, relacionar conceptos. Al momento de realizar las actividades de la Unidad Didáctica es necesario saber desarrollar y relacionar los conceptos para resolver adecuadamente la unidad.
- Comunicación: Expresar ideas de manera oral y escrita. Ya que se propone realizar el trabajo en equipo, se requiere que sepan comunicar sus ideas.
- Sociales: Trabajo en equipo. Para compartir conocimiento y desarrollar de mejor manera la Unidad Didáctica.
- Metacognitivas: Evaluación de su propia ejecución, selección de estrategias adecuadas para problemas determinados, determinar si se comprende los que se está leyendo o se está escuchando, transferir los conocimientos aprendidos de una

situación a otra, conocer las capacidades propias para compensar las deficiencias.

Todo esto se desarrolla al momento de resolver las actividades de la unidad.

- Receptivas: Leer y escuchar. Para comprender el tema que se quiere enseñar.
- Críticas: Argumentar. Principalmente para justificar sus respuestas.
- Expresivas simbólicas: Representación textual de modelos y utilización de lenguaje químico.

4.2.- Diseño de la unidad didáctica

El diseño de la unidad se llevó a cabo con una previa investigación bibliográfica acerca del tema. A continuación se presenta un resumen de éste:

La Segunda Revolución Química:

De acuerdo a Jensen (1998), este periodo se relaciona con el nivel molecular de la materia, y se caracteriza porque se establecieron conceptos como valencia y estructura molecular. Además se resolvió el problema para determinar la masa atómica y molecular. El periodo abarca desde 1852 cuando el químico inglés Edward Frankland (1825-1899) reconoce de manera imperfecta el concepto de valencia, hasta 1874, año en el que el químico neerlandés Jacobus Van't Hoff postuló el carbono tetraédrico. Sin embargo por conveniencia Jensen (1998) propone un periodo de 20 años que va de 1855 a 1875. De los productos originados de esta revolución se puede mencionar el reemplazo de las clasificaciones dualistas ácido-base por la clasificación de valencia, al igual que a la implementación de la tabla periódica.

Los primeros vestigios que prepararon esta revolución, datan de 1808 cuando el químico inglés John Dalton mostró cómo el concepto de "peso atómico" podría servir para conectar el atomismo especulativo del siglo XVII con los resultados obtenidos del análisis gravimétrico durante el siglo XVIII (Jensen, 1998). Si bien las reglas de Dalton para asignar fórmulas fue el inicio de una nueva era en la química, también provocó medio siglo de confusión.

El papel clave lo descifró el químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) durante el Congreso de Karlsruhe, cuando logró crear un método nuevo y original que lograba combinar los datos obtenidos de la composición gravimétrica y la información sobre las densidades de los gases para sustancias y compuestos.

Posteriormente, a la investigación temática, se complementó la unidad con diversas ilustraciones para que se les facilitara a los estudiantes la comprensión del tema. Por ejemplo la imagen de los símbolos atómicos propuestos por John Dalton (ver el material didáctico en la sección de resultados).

También se agregaron biografías dentro de la unidad, que además de contextualizar históricamente la Segunda Revolución Química (**2RQ**) también funcionan para conocer los personajes principales que llevaron a cabo esta revolución.

A la unidad, a su vez, se le anexaron líneas del tiempo y una breve introducción sobre lo que sucedía en la época y en diversos lugares del mundo. Esto es para que los estudiantes se sitúen más fácilmente en el tiempo y lugar de este acontecimiento.

Para ayudar a que los estudiantes obtengan un aprendizaje significativo, la unidad se complementa con diversas actividades al final de la lectura (ver el material didáctico en la sección de resultados). Dentro de estas actividades, algunas contienen un apoyo extra en el canal de Youtube® creado para este material, sobretodo aquellas que requieren que se realice un experimento ya que, muchas veces, no se cuenta con el material adecuado para realizarlos y éstos ya se encuentran explicados en la red.

Por último, para ayudar a que los estudiantes puedan trascender y volver aplicar su propio conocimiento, se anexa una rejilla de autoevaluación de las actividades y un registro de puntaje. Esta rejilla también puede ser utilizada por el docente para evaluar las actividades de la unidad didáctica.

4.3.- Validación, evaluación e intervención didáctica:

Para la validación se utilizaron dos herramientas: Una escala de Likert combinada con un cuestionario de opinión y una prueba de diferencial semántico. Y para la evaluación una rejilla y un registro. Todas estas herramientas se muestran a continuación:

A) Escala de Likert y cuestionario de opinión:

Instrucciones: en cada inciso indique lo que se le solicita.

1.- ¿Qué tan legible es la unidad didáctica?

Muy legible legible poco legible ilegible

2.- ¿Qué tanto las actividades le permitieron profundizar en el conocimiento del tema?

Mucho igual que la lectura poco nada

¿Por qué?:

3.- ¿Qué tan comprensible es la unidad didáctica?

Mucho suficiente poco nada

4.- ¿Qué tanto la presentación del contexto histórico le permitió comprender el tema de mejor manera?

Mucho adecuadamente poco nada

¿Por qué?:

5.- ¿Qué tanto le ayudaron los videos de internet para resolver las actividades?

Mucho adecuadamente poco nada

6.- ¿Qué tanto considera que su conocimiento químico sobre el tema mejoró en comparación al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?

Mucho aumentó poco nada

¿Por qué?:

7.- ¿Qué tan familiar le es el vocabulario utilizado en la unidad didáctica?

Mucho es familiar poco nada

8.- ¿Qué tanto considera que su conocimiento acerca de la historia de la química sobre el tema mejoró al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?

Mucho mejoró poco nada

¿Por qué?:

9.- ¿Qué tan agradable le es el diseño de la unidad didáctica?

Muy agradable agradable poco agradable desagradable

10.- Por favor indique sugerencias o comentarios acerca de la unidad didáctica

B) Diferencial semántico:

INSTRUCCIONES

Para **cada uno** de los siguientes adjetivos coloque una cruz en el punto que considera identifica su opinión sobre los adjetivos que mejor describen las actividades realizadas en este taller sobre la unidad didáctica: **“Historia y Filosofía de la Química. Segunda Revolución”**

- Bueno : _____ : malo
- Pasivo : _____ : activo
- Fuerte : _____ : débil
- Aburrido : _____ : excitante
- Inútil : _____ : útil
- Poderoso : _____ : impotente
- Superficial : _____ : profundo
- Desagradable : _____ : agradable
- Fácil : _____ : difícil
- Científico : _____ : artístico
- Lento : _____ : rápido
- Favorable : _____ : desfavorable

¿Identificó su opinión para todos los adjetivos?

¡GRACIAS!

C) Registro de experiencia de aprendizaje:

Tabla 1: Registro de aprendizaje de cada actividad

Aspecto evaluado	Puntos
No se realiza la actividad.	0
Se realiza correctamente la actividad relacionada con el conocimiento químico.	1
Se realiza correctamente las actividades relacionadas con el saber químico e histórico.	2
Se realiza correctamente las actividades químicas e históricas y se logra una integración de conocimiento entre ambas disciplinas.	3

Tabla 2: Registro de aprendizaje de la unidad didáctica

Actividad	Autoevaluación (Puntos)	Apoyo en el Internet
1 ¿Vanadio o eritronio?	/3	http://www.youtube.com/watch?v=sFAGQLokym4
2 Modelando átomos	/3	http://www.youtube.com/watch?v=mXMFSVowbSc
3 Química gaseosa	/3	http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/avogadro.html
4 La nicotina	/3	http://www.youtube.com/watch?v=_OnJBZ3aomA
5 ¿Qué tipo es?	/3	
6 Arquitectura molecular	/3	http://www.youtube.com/watch?v=2NRwd-JJFm4
7 Ensayo a la flama	/3	http://www.youtube.com/watch?v=QNojS6ZZ4og
Total	/21	

El registro de experiencia de aprendizaje permite que el estudiante sepa en qué parte del proceso de aprendizaje se encuentra ayudándolo a deducir lo que le hace falta conocer. Por otro lado, también permite una evaluación objetiva y útil que puede emplearse de la misma manera con todos los alumnos (Chamizo, 1996).

En este caso se asignaron 3 puntos totales por característica que se desea evaluar, relacionándolas con el conocimiento químico, histórico (de la química) y el conjunto de ambas características.

La intervención didáctica fue aplicada a un grupo de 20 estudiantes de la Facultad de Química de la UNAM que pertenecen a la materia de Historia y Filosofía de la Química. Se escogió este grupo porque se consideró como una muestra representativa de la facultad.

Ya que al ser una materia optativa está disponible para todas las carreras que se imparten en la facultad así como para cualquier semestre a partir de la segunda mitad del primer año de la carrera.

Lo primero que se le pidió al grupo fue que leyeran el material que se puede ver en los resultados, tenían una semana para terminar de leerlo. Se les incluyó la dirección web de los vídeos para que los vieran previamente a la siguiente sesión.

Ya en la sesión, se les preguntó qué dudas tenían y se resolvieron en el momento. Posteriormente se les explicó cómo resolver el diferencial semántico que se adjunta la sección 4.3 inciso B y lo contestaron conforme a lo que había leído.

Después se les pidió que hicieran equipos de tres personas cada uno y se les dio las actividades para que las resolvieran, se les permitió que utilizaran cualquier material que ellos previamente investigaron por su parte.

Cuando terminaron las actividades, se les explicó la manera de utilizar el registro de aprendizaje (Ver inciso C, de esta sección) y lo utilizaran para autoevaluarse.

Más tarde se les explicó cómo responder la escala de Likert (Inciso A de esta sección) para que expresaran su opinión acerca de las actividades.

El tiempo total de la sesión fue de 3 horas.

La intervención didáctica se organizó de acuerdo al siguiente cronograma:

Actividad	Tiempo aproximado para su realización
Lectura del material	1 semana
Resolución de dudas acerca de la lectura	10 minutos
Explicación y resolución del diferencial semántico	10 minutos
Formación de los equipos	5 minutos
Explicación y llenado del registro de aprendizaje	10 minutos
Resolución de las actividades	2 horas
Explicación y llenado de la escala de Likert	10 minutos

RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.- Resultados y análisis:

5.1.- Unidad didáctica:

A continuación se presenta el diseño de la unidad didáctica que se les dio a los estudiantes:

Índice

1 Prólogo

2 La Química hasta 1855

2.1 Primera Revolución Química

2.2 Situación mundial durante el siglo XIX

2.2.1 La Guerra

2.2.2 Ciencias exactas

2.2.3 Ciencias sociales

2.2.4 Arte

3 La Segunda Revolución Química (1855-1875)

3.1 Antecedentes

3.1.1 La teoría atómica

3.1.2 Las leyes de los gases

3.1.3 Ideas electroquímicas de enlace

3.2 Hacia el Congreso de Karlsruhe

3.2.1 La teoría de los tipos

3.2.2 La teoría de valencia

3.2.3 Estructura molecular

3.3 El Congreso de Karlsruhe

3.3.1 Convocatoria al congreso

3.3.2 Desarrollo del congreso

4 La Química a finales del siglo XIX (1875-1904)

4.1 La Tabla Periódica

4.1.1 Los pesos atómicos

4.1.2 Primeras clasificaciones de los elementos

4.1.3 La ley periódica

4.2 Estructura tridimensional del enlace

4.2.1 El carbono tetraédrico

4.2.2 La teoría de coordinación

5 Actividades

6 Notas

7 Comentarios finales

8 Bibliografía

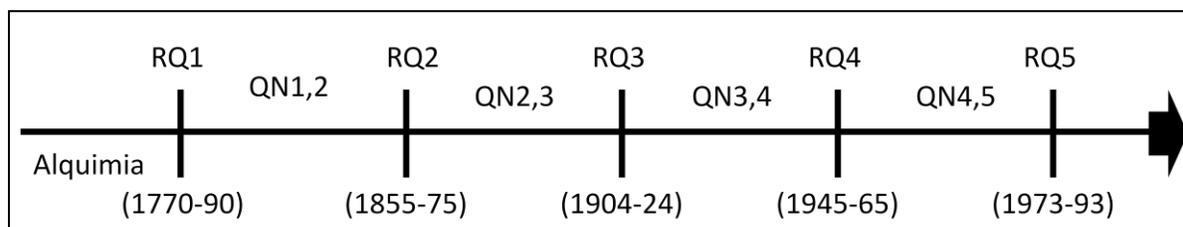
1 Prólogo:

Este material didáctico tiene como objetivo enseñar química, así como su historia enfocada en el intervalo de tiempo de 1855-1875 n. e.^[1] El intervalo de tiempo corresponde a una de las revoluciones químicas propuestas por el químico estadounidense William B. Jensen, de acuerdo a esta división histórica de la química, ésta se puede separar en tres periodos determinantes, conocidos como revoluciones. Éstos corresponden a un cambio de nivel conceptual en la química: molar, molecular y *eléctrico* ^[2]. Posterior a esta propuesta se han agregado dos revoluciones más, las cuáles tienen que ver con un cambio radical en el quehacer científico: la cuarta revolución se debe a la aceptación de teoría cuántica para la fabricación de instrumental de análisis químico; y la quinta, al cambio por hacer una química más verde, es decir, cuidar el medio ambiente.

Pero antes de continuar habrá que revisar porque se le llaman revoluciones químicas a estos periodos de tiempo. Una revolución química a su vez forma parte de lo que se llama una revolución científica. El filósofo estadounidense Thomas Kuhn (1922-1996) propuso que en cuanto el ser humano conoció la ciencia, se formó un conjunto de ideas y modelos propios de cada época de la historia del hombre al cual llamó “paradigma”. Así pues, un paradigma se mantiene prácticamente inalterable resolviendo los quehaceres científicos. El momento en que éste no pueda llegar a explicar un fenómeno determinado entonces ocurre una reformulación de modelos y de ideas provocando un cambio de paradigma, T. Kuhn llamó a este movimiento: “revolución científica”.

Tras la propuesta de T. Kuhn se puede observar que habrá dos tipos de periodos en la historia de la ciencia: las revoluciones y la permanencia de los paradigmas. Mientras un paradigma siga funcionando, seguirá habiendo avances científicos; a estos periodos de tiempo Kuhn los nombró: “ciencia normal” o en el caso del material presente, lo nombraremos como: “química normal” (ver **figura 1**)

Figura 1: Línea del tiempo donde se representan los periodos de Revoluciones Químicas (RQ) y Química Normal (QN) de acuerdo a la división histórica de la química. Hay que hacer notar que el tiempo anterior a la Primera Revolución Química se considera “Alquimia”. No es hasta ésta, que se considera la Química como una ciencia.



Pero esto nos lleva a dos preguntas cruciales para entender la división histórica de la química ¿Qué es una revolución científica? ¿Y cómo reconocer una revolución científica?

Para resolver la primera incógnita hay tres respuestas aceptables:

1.- Es una reinterpretación radical de los conceptos existentes.

2.- Es la resolución de un largo debate acerca de un fenómeno que se discute desde puntos de vista distintos.

3.- Es la apertura y comprensión de un nuevo nivel teórico que considera las teorías antiguas como casos especiales.

Por otro lado, para reconocer que una revolución científica se llevó a cabo pueden observar los siguientes factores:

a) El paradigma contemporáneo no resuelve de manera persistente diversos fenómenos que exigen una explicación.

b) Hay cambios significativos en el contenido, vocabulario y organización de los libros de texto antes y después del periodo en cuestión.

c) Existen cambios representativos en el objeto de estudio tanto en la investigación como en la práctica cotidiana.

d) Se observan cambios reveladores en la estructura de organizaciones académicas y profesionales.

Comprendiendo las respuestas a nuestras dos preguntas planteadas, ahora se podrá explicar brevemente cada revolución química.

2 La Química hasta 1855

2.1 Primera Revolución Química

Ésta se llevó a cabo en el periodo de 1770-1790 y es una de las más famosas ya que corresponde a la desaparición del modelo del flogisto y la aparición del modelo del oxígeno propuesto por el químico francés Antoine Lavoisier (1743-1794) cuando éste estudiaba el fenómeno de la combustión. Sin embargo una revolución no es trabajo de una sola persona ya que gran parte de ésta fue apoyada por otros descubrimientos como las nuevas teorías químicas de la respiración propuestas por el químico y fisiólogo inglés John Mayow (1641-1679); la química neumática^[3] de los químicos ingleses Stephen Hales (1677-1761), Henry Cavendish (1731-1810) y Joseph Priestley (1733-1804), además del químico alemán Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) ayudando al descubrimiento de nuevos gases durante la década de los 1760's (Jensen, 1998).

Cuando surgió por primera vez el concepto del flogisto, sus defensores lo consideraban sólo un principio: Sin embargo, conforme avanzaba el siglo los químicos lo empezaron a tomar como una sustancia material, además se daba un paralelismo entre éste y otros "elementos" incorpóreos tales como la electricidad, el magnetismo y el calor.

Así pues, el modelo del flogisto fue ganando lugar ya que parecía explicar el fenómeno de la combustión, así se decía que los materiales combustibles eran aquellos que tenían flogisto y los que no ardían eran materiales "deflogisticados". Incluso el químico irlandés Robert Boyle (1627-1691) hizo experimentos para comprobar la existencia del flogisto, el experimento consistía en que al calentar un recipiente sellado con estaño, observó que éste aumentaba de peso, así que sólo pudo concluir que partículas de fuego o flogisto

habían atravesado el vidrio y entrado al estaño. Sin embargo, actualmente se sabe del error que realizó Boyle en su experimento ya que él había roto el cuello de la botella antes de pesar el estaño, si hubiera dejado el recipiente cerrado, no habría notado ningún cambio (Cartwright, 2000).

Tras varias observaciones, se concluía que el fenómeno de la combustión requería de aire, pues una vela se apagaba rápidamente en recipientes cerrados, además se había observado que al realizarse la combustión en un recipiente cerrado, el volumen de aire en el interior disminuía. Éstos eran fenómenos que no podía explicar el modelo del flogisto, aunque hubo algunos defensores ingeniosos que decían que el flogisto modificaba la elasticidad del aire (Cartwright, 2000).

Por otro lado el químico británico Cavendish había estado realizando un experimento que era muy difícil de explicar por medio del modelo del flogisto, observó que cuando mezclaba aire ordinario con aire inflamable (hidrógeno) y los hacía explotar, se formaban pequeñas gotas de agua. Pero a pesar de esto, el modelo del flogisto volvió a triunfar ya que explicaba que el agua estaba compuesta por aire deflogisticado con flogisto y el aire ordinario estaba parcialmente deflogisticado. Posteriormente Lavoisier influenciado por los experimentos de Cavendish propuso que el oxígeno ^[4] era indispensable para el proceso de la combustión. Además el modelo del flogisto estaba provocando diversas insatisfacciones ya que explicaba todo por medio de supuestos arbitrarios e hipótesis ad hoc (Cartwright, 2000).

Otro problema que tenía la química en esta época era el nombre de las sustancias, ya que podía haber varios nombres para una misma sustancia, así como un mismo nombre para diferentes sustancias. Para resolver este problema los químicos franceses Pierre Macquer (1718-1784) y Louis-Bernard Guyton (1737-1816), así como el químico sueco Torbern Bergman (1735-1784) reformaron la nomenclatura química y su clasificación a partir de su composición empírica, también propusieron que se debería utilizar griego y latín para nombrarlas, cada sustancia se le adjudicaría un nombre fijo y que las sustancias que no podían ser descompuestas deberían de servir de base para otras sustancias que contuvieran éstas. Así que Lavoisier siguiendo las reglas propuestas por Guyton propuso una nueva nomenclatura química, la cual persiste hasta la actualidad (Jensen, 1998).

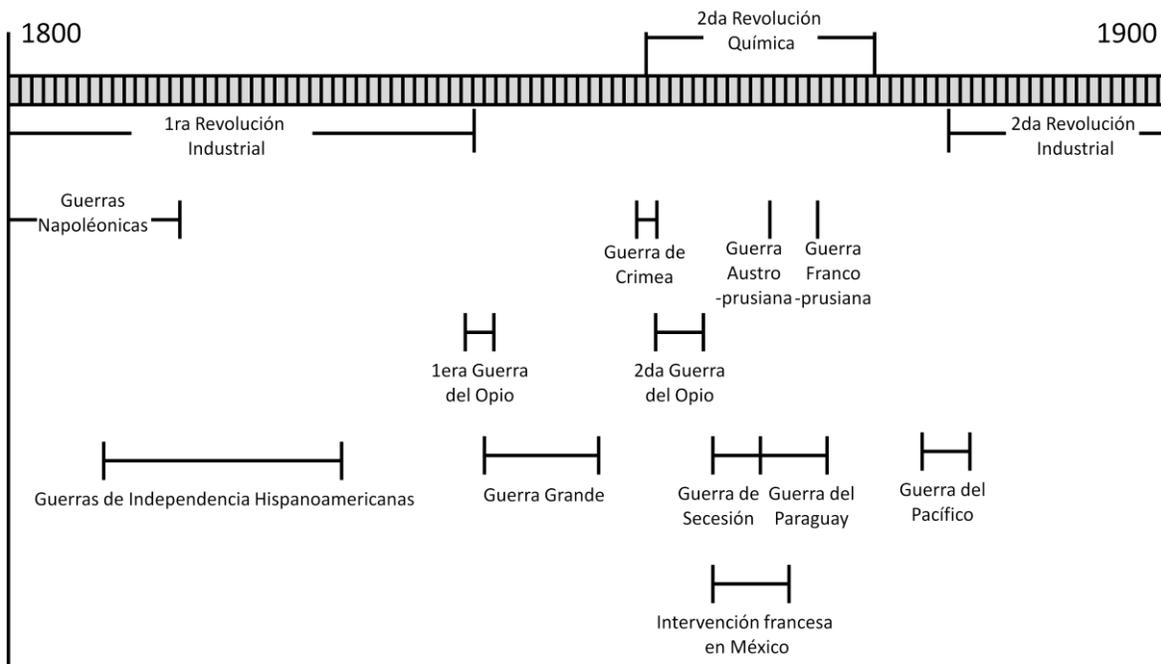
2.2 Situación mundial durante el siglo XIX

Para saber qué pudo haber provocado la Segunda Revolución Química es importante comprender el contexto en el cual se encontraba el mundo en ese momento. Éste es un siglo de lucha, por un lado el imperialismo sobresaliente de las principales potencias de Europa y, por otro las diferentes guerras de independencia que surgieron en América para librarse del yugo de sus conquistadores. También es un siglo de gran avance tecnológico, sobretodo en Europa ya que se entra al siglo con la Primera Revolución Industrial (1750-1840) para finalizar con una Segunda Revolución Industrial (1880-1914). Como consecuencias secundarias, se desarrollaron varias filosofías y políticas que provocaron el surgimiento de distintos pensadores en las diversas áreas del conocimiento del ser humano. A continuación se muestran algunas áreas:

2.2.1 La guerra (Hobsbawm, 1987)

A principios de siglo, en Europa, se vivía una gran tensión ya que se libraba desde Francia las Guerras Napoleónicas (1799-1815) dirigidas por el conquistador Napoleón Bonaparte (1769-1821), las cuales culminaron con la batalla de Waterloo. Ya para mediados de siglo, después del auge tecnológico provocado por la Primera Revolución Industrial, se vivían algunas guerras, como la Guerra de Crimea (1853-56) en contra del imperio ruso, la Guerra Austro-Prusiana (1864-66) y la Guerra Franco-Prusiana (1870-71). Por otro lado, en Asia a mediados de siglo destacan dos guerras del opio (1839-42 y 1856-60), parte del imperialismo inglés por dominar China. Por último en América se libran diversas guerras de independencia en contra de sus opresores europeos durante el periodo desde 1808 hasta 1831, además a mediados del siglo se observan varias luchas entre países americanos con el motivo de tener el mayor territorio posible y ser aceptados como países independientes por potencias europeas como son la Guerra Grande (1839-51) que se llevó en la zona del Río de la Plata (actualmente Argentina), la Guerra del Paraguay (1864-70) en contra de esta nación por la Triple Alianza conformada por Brasil, Argentina y Uruguay; y la Guerra del Pacífico (1879-83) que se llevó a cabo entre la Republica de Chile contra la alianza de las repúblicas de Perú y Bolivia; también hay que hacer mención de la Guerra de Secesión Americana (1861-65) o también conocida como Guerra Civil Estadounidense en donde los estados del norte lucharon contra los del sur por sus ideas distintas acerca de la administración de la tierra y el uso de esclavos (ver **figura 2**).

Figura 2: Línea del tiempo con diversos acontecimientos del siglo XIX. Hay que hacer notar que la Segunda Revolución Química se dio entre dos Revoluciones Industriales.



2.2.2 Ciencias exactas (Hobsbawm, 1962)

En matemáticas destacan los alemanes Friedrich Gauss (1777-1855) y sus contribuciones a la teoría de números, el análisis matemático, la geometría diferencial, la geodesia, el magnetismo y la óptica; Carl Jacobi (1804-1881) por sus estudios en las funciones elípticas, el álgebra, la teoría de números y las ecuaciones diferenciales; Peter Dirichlet (1805-1859) por dar la definición formal de “función”; Georg Riemann (1826-1866) quien destacó por sus investigaciones en análisis y geometría diferencial; y Julius Dedekind (1831-1916) quien sentó las bases de la teoría de conjuntos. También destaca la francesa Sophie Germain (1776-1831) con sus aportes a la teoría de números, a la teoría de elasticidad y los que posteriormente fueron llamados números primos de Germain ^[5].

En física destacan nombres como los alemanes Heinrich Ruhmkorff (1803-1877) por la invención de la bobina de inducción; Johan Hittorf (1824-1914) por registrar la velocidad de emigración de iones sometidos a corriente eléctrica; el inglés William Thomson (1824-1907) que debido a sus trabajos con los tubos de rayos catódicos, permitió el descubrimiento del electrón; y el escocés William Rankine (1820-1872) que con sus experimentos sobre gases hizo grandes aportaciones a las teorías sobre el calor.

En medicina se encuentran el austriaco Carl von Rokitansky (1804-1878) por el desarrollo de las autopsias así como su filosofía de aplicar la ética en la ciencia; el prusiano Theodor Schwann (1810-1882) quien fue uno de los principales antecesores de la Teoría Celular encontrando la misma unidad en animales y plantas.

2.2.3 Ciencias sociales (Hobsbawm, 1962)

En historia destacan los franceses Fustel de Coulanges (1830-1889) en cuya principal obra: “La ciudad antigua”, creada en 1864, arroja una luz sobre las relaciones entre la propiedad y las instituciones político-religiosas; Alexis de Tocqueville (1805-1859) quien es considerado precursor de la sociología clásica y uno de los más importantes ideólogos del liberalismo; Jules Michelet (1798-1874) quien con sus cursos de historia volvió escéptico a varios estudiantes contra la religión; el alemán Leopold von Ranke (1795-1886) por ser fundador de la historia científica; y el prusiano Heinrich Schliemann (1822-1890) quien se volvió famoso por descubrir las ruinas de la antigua ciudad de Troya.

En política destacan el alemán Otto von Bismarck (1815-1898) que se caracterizó por fundar en Alemania el segundo *reich*; el estadounidense Abraham Lincoln (1809-1865) quien fundó en su país una política de abolición de la esclavitud; y el francés Carlos Bonaparte (1808-1873), mejor conocido como Napoleón III quien fue el último soberano que reinó sobre Francia además de que su ejército intervino militarmente en México (1861-67), debido a que el gobierno de éste último, cuyo presidente entonces era Benito Juárez (1806-1872) decidió cancelar el pago de la deuda externa.

En economía destacan dos personajes: los estadounidenses John Rockefeller (1839-1937) quien se volvió el hombre más rico del siglo por su ingenio y audacia para monopolizar los pozos petroleros; y Thomas Alva Edison (1847-1931) quien fue un inventor prolífico que patentó cada uno de las creaciones que producía.

2.2.4 Arte (Hauser, 1998)

En literatura destacan grandes escritores como el inglés Charles Dickens (1812-1870) con sus textos de crítica social impresos con algo de humor e ironía; los estadounidenses Samuel Clemens (1835-1910) mejor conocido por su seudónimo: “Mark Twain” quién era un popular humorista; Edgar Allan Poe (1809-1849) quien destacó por sus textos románticos, padre del relato detectivesco, renovador de la novela gótica, escritor de cuentos de terror y antecesor de la ciencia-ficción; Emily Dickinson (1830-1886) cuyos poemas apasionados se hicieron muy populares; el escocés Louis Stevenson (1850-1894) quien destacó por sus novelas de aventuras e históricas, pero mayormente recordado por su obra de terror: “El extraño caso del Dr. Jekyll y Mr. Hide”; el noruego Henrik Ibsen (1828-1906) quien destacó por sus textos de dramaturgia; y el francés Jules Verne (1828-1905) quien destacó por sus escritos de ciencia-ficción que posteriormente serían traducidos a la realidad y sus inventos ficticios serían creados.

En música destacaron los alemanes Richard Wagner (1813-1883), conocido principalmente por sus óperas; Johannes Brahms (1833-1897) uno de los principales representantes de la música del Romanticismo; Robert Schumann (1810-1856) quien también destacó por sus aportes a la música romántica; el polaco Fryderyk Chopin (1810-1849) quien era un excelente pianista y compositor; por último los rusos Pyotr Tchaikovsky (1840-1893) conocido principalmente por sus obras de “El lago de los cisnes” y “El cascanueces”; y Aleksandr Borodin (1833-1887) quien destacó no sólo por ser uno de los principales compositores del nacionalismo ruso, sino también por ser un destacado químico.

En pintura y escultura destacaron los franceses Eugene Delacroix (1798-1863), uno de sus cuadros más conocidos es el de “La libertad guiando al pueblo”; Paul Cézanne (1839-1906), quien es considerado el padre de la pintura moderna; Edgar Degas (1834-1917) quien destacó por su visión particular del mundo del ballet; el neerlandés Vicent van Gogh (1853-1890) quien fue uno de los principales representantes del neoimpresionismo; los impresionistas franceses Claude Monet (1840-1926) y Pierre Renoir (1841-1919); y por último el escultor francés Auguste Rodin (1840-1917) cuya obra más conocida es “El pensador”.

3 La Segunda Revolución Química (1855-1875 n. e.)

3.1 Antecedentes

A principios de siglo se tiene una ardua lucha entre atomistas y equivalentistas (Padilla y Furio-Mas, 2008), de los cuales saldrían victoriosos los primeros. En general, los átomos eran considerados por los físicos como partículas inelásticas o puntos inerciales. Por su parte los químicos se adhirieron a la hipótesis de J. Dalton que los postulaba como componentes esenciales de los elementos. Muchos científicos destacados consideraban que la hipótesis atómica era una hipótesis indiferente, es decir, no verificable. Se pensaba que el término “átomo” era un concepto útil que representaba, idealmente, a una unidad de reacción química, pero se negaba su existencia como verdadera partícula material.

También a principios de siglo existía una gran incertidumbre acerca de la composición exacta de las sustancias conocidas, muchas veces se le asignaron varias composiciones a una misma sustancia. Y a pesar de que los métodos cuantitativos propuestos desde el siglo XVIII por Lavoisier, los experimentos eran poco reproducibles y causaban gran cantidad de errores, un ejemplo de esto fue el descubrimiento de un nuevo elemento químico por el químico español Andrés Manuel del Río.

Ver **Actividad 1**: ¿Vanadio o eritronio?

3.1.1 La teoría atómica

En esta época el pensamiento científico estaba gobernado por la ideas del físico inglés Isaac Newton (1642-1727), y en la química brillaba el nombre de Lavoisier, quien después de realizar minuciosos experimentos sobre la combustión y fermentación señaló que en toda operación siempre existía la misma cantidad de materia antes y después de la operación dando lugar a la Ley de la Conservación de la Materia, piedra angular sobre la que descansa el desarrollo ulterior de la química.

Además de los trabajos de Lavoisier, Dalton ^[6] también conocía los trabajos de Cavendish y de Priestley, así como las primeras ideas de combinación química las cuales fueron expuestas por el químico francés Joseph Proust (1754-1826) y el químico alemán Jeremias Ritchter (1762-1807).

Dalton que en ese momento era profesor de matemáticas y filosofía en Manchester estaba interesado en la meteorología y en la composición de la atmósfera, e intentaba explicar la diferencia de solubilidad de varios gases en el agua, lo cual lo lleva a postular su teoría atómica, cuyas ideas básicas eran las siguientes (Padilla y Furio-Mas, 2008):

- 1) La materia se compone de partículas muy pequeñas para ser vistas, llamadas átomos.
- 2) Los átomos son indivisibles y no pueden ser creados o destruidos. Conservando sus propiedades durante las reacciones químicas.
- 3) Los átomos de los elementos son idénticos en todas sus propiedades, incluyendo el peso.

Figura 3: J. Dalton empleó diferentes símbolos para representar los átomos de los distintos elementos

Hidrógeno		Mercurio	
Nitrógeno		Calcio	
Carbono		Silicio	
Oxígeno		Estaño	
Fósforo		Níquel	
Azufre		Sodio	
Magnesio		Manganeso	
Hierro		Berilio	
Zinc		Aluminio	
Cobre		Cobalto	
Plomo		Oro	
Plata			

4) Diferentes elementos están hechos a partir de diferentes átomos y por lo tanto tienen diferentes pesos (ver **figura 3**).

5) Los compuestos químicos se forman de la combinación de átomos de dos o más elementos, en un *átomo compuesto* ^[7].

6) La masa de los *átomos compuestos* será la suma de los átomos individuales que los componen.

7) Cuando dos elementos se unen para formar más de un compuesto en distintas proporciones (como 2:1 y 3:2) se unirán por medio de relaciones simples ^[8].

6) En cualquier reacción química, los átomos se combinan en proporciones numéricas simples. Por ejemplo, un átomo de A se combina con dos átomos de B, dos átomos de A con tres de B y así sucesivamente.

Con esto J. Dalton construyó modelos atómicos de madera, pero también el químico alemán August Wilhelm von Hofmann (1818-1892) construyó un modelo basándose en pelotas de cricket.

La construcción de los modelos atómicos permitió observar cómo se intercambiaban los átomos entre las moléculas ayudando a que se pudieran sintetizar nuevos materiales ya que primero se movían las “pelotas” en el modelo y luego se intentaba sintetizar la nueva sustancia.

Ver **Actividad 2**: Modelando átomos.

3.1.2 Las leyes de los gases

En 1808 el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) observó por segunda vez el hecho (previamente observado por Cavendish) de que el hidrógeno y el oxígeno formaban agua en una relación volumétrica 2:1. Después de estudiar con todo detalle Gay-Lussac concluyó que los gases siempre se combinaban en la relación más simple cuando interactuaban entre sí, siendo estas relaciones 1:1, 1:2 y 1:3. Estos resultados experimentales jamás fueron aceptados por Dalton que al repetir los experimentos concluyó que los gases no se unían en medidas iguales o exactas y que obtener estos resultados era un error, actualmente sabemos que quien se equivocó fue el mismo Dalton (Kauffman y Adloff, 2010).

Por otro lado, si Gay-Lussac se hubiera encontrado en lo correcto, entonces las ideas de J. Dalton violaban el principio de conservación de la materia ya que al hacer reaccionar cuatro átomos de hidrógeno con cuatro átomos de cloro se obtenían ocho átomos compuestos. Este problema fue resuelto por el químico italiano Amedeo Avogadro (1776-1856) diferenciando entre moléculas integrales (nuestras moléculas actuales o los átomos compuestos de J. Dalton) y moléculas elementales (nuestro átomos), él supuso que los átomos de un gas podían combinarse entre sí, formando moléculas de dos o más átomos del mismo elemento. También Avogadro contribuyó con su hipótesis en la cual los volúmenes iguales de diferentes gases deben contener el mismo número de moléculas (Kauffman y Adloff, 2010).

En 1814, el físico francés André Ampère (1775-1836) propuso una hipótesis similar a Avogadro pero ambos fueron olvidados por 50 años ya que el químico sueco Jacob Berzelius (1779-1848) quien era muy influyente en la época, no podía concebir que dos átomos iguales se pudieran unir.

Amedeo Avogadro (1776-1856)

(Morselli, 1984)



Nació el 9 de junio de 1776 y falleció el 9 de julio de 1856 en Turín (actualmente, Italia). Su contribución principal fue determinar que los gases simples como el oxígeno y el hidrógeno eran diatómicos (O_2 , H_2) además de que determinó la fórmula

del agua (H_2O), ayudando a resolver el conflicto entre la teoría atómica de J. Dalton y las experiencias de J. Gay-Lussac. A. Avogadro estudió leyes y se doctoró en 1792 pero después se aficionó por la física y las matemáticas especializándose de tal manera que llegó a ser nombrado profesor de Física en el Real Colegio de Vercelli y posteriormente profesor de física-matemática en el Colegio de Turín.

Aunque poseía una gran inteligencia y publicó en el "*Journal de Physique*" de París el trabajo realizado para determinar las masas relativas de moléculas elementales sus escritos no fueron aceptados inmediatamente.

En este artículo A. Avogadro mencionaba que se debía admitir que existían relaciones muy sencillas entre los volúmenes de sustancias gaseosas y el número de moléculas simples o compuestas que los forman y que la única hipótesis que podría explicar esto era aceptar que el número de moléculas integrantes de todos los gases es el mismo para volúmenes iguales, y que las relaciones entre las masas de las moléculas son las mismas que las existentes entre las densidades de los gases correspondientes a igualdad de presión y temperatura. La hipótesis de A. Avogadro fue posteriormente confirmada por la experiencia y por diferentes procedimientos.

Discutiendo la teoría de J. Dalton dedujo que la razón entre las densidades de dos gases como el oxígeno y el hidrógeno, representaba también la razón entre las masas de sus respectivas partículas, es decir, entre sus pesos atómicos. Sin embargo hay que recordar que A. Avogadro utilizaba el término "molécula elemental" para referirse a los átomos ya que en la época aún no estaba totalmente desarrollada la teoría atómica.

Ver **Actividad 3: Química gaseosa.**

3.1.3 Ideas electroquímicas de enlace (Cruz y colaboradores, 1986)

Las primeras nociones de que el enlace químico era de naturaleza eléctrica fueron resultado de los experimentos de los científicos ingleses William Nicholson (1753-1815) y Anthony Carlisle (1768-1840), quienes lograron descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno mediante el paso de corriente eléctrica (electrólisis).

Los experimentos de disociación electrolítica no tardaron en volverse populares entre los científicos de la época y el químico británico Humphry Davy (1778-1829) procedió a emplear la electrólisis para diferenciar los verdaderos elementos de los compuestos. En 1807 descubrió dos nuevos elementos metálicos, a los cuales les puso los nombres de *potassium*^[9] y *sodanum*^[10]; éstos los descubrió haciendo pasar la corriente eléctrica a través de sus álcalis fundidos.

Por otro lado, Berzelius desde 1802 descubrió que las sales alcalinas se descomponían en ácidos y bases ^[11] durante la electrólisis. Para él, la electricidad era el *primum movens* de todos los procesos químicos. Berzelius consideraba que los átomos de los diversos elementos eran dipolos eléctricos, con una carga predominantemente positiva o negativa a excepción del hidrógeno que lo consideraba neutro; debido a esto él negaba que pudieran existir moléculas poliatómicas que tuvieran el mismo tipo de átomo.

De acuerdo a su hipótesis los átomos tenían carga eléctrica, los ordenó desde el más electropositivo que en aquel entonces era el potasio; hasta el más electronegativo que en esa época era el oxígeno; pasando por el hidrógeno. De ahí surgió un sistema dualístico que permitía entender las diversas combinaciones químicas (ver **tabla 1**).

Tabla 1: Escala de electronegatividad de J. Berzelius
(Cruz y colaboradores, 1986)

Más electronegativo			
Oxígeno	Carbón	Paladio	Cadmio
Azufre	Antimonio	Mercurio	Zinc
Nitrógeno	Teluro	Plata	Manganeso
Radical muriático	Tántalo	Cobre	Aluminio
Radical fluórico	Titanio	Níquel	Ytrio
Fósforo	Silicio	Cobalto	Berilio
Selenio	Osmio	Bismuto	Magnesio
Arsénico	Hidrógeno	Estaño	Calcio
Molibdeno	Oro	Zirconio	Estroncio
Cromo	Iridio	Plomo	Bario
Tungsteno	Rodio	Cerio	Sodio
Boro	Platino	Uranio	Potasio
Más electropositivo			

Con esta escala Berzelius razonaba que un elemento presente en un compuesto siempre podía ser sustituido por otro que tuviera el mismo carácter eléctrico, lo cual podía ser demostrado con gran variedad de experimentos. Pero cuando se quiso aplicar a los compuestos orgánicos, los resultados no fueron halagadores. Por ejemplo existían reacciones en donde el hidrógeno que supuestamente era neutro, era sustituido por grupos fuertemente negativos, sin que con ello se observaran grandes cambios en las propiedades químicas del compuesto obtenido. Así pues, Berzelius basándose en estos hechos propuso distinguir los compuestos *orgánicos* como aquellos que sólo pueden ser formados a través de una fuerza vital de los compuestos *inorgánicos*, que estarían gobernados por leyes físicas y químicas de la naturaleza no viviente.

Sin embargo, Berzelius realizó un gran aporte a la química introduciendo la nomenclatura que se estila en la actualidad utilizando la primera letra de su nombre en latín para representar al elemento y en caso de que se repitiera la letra, utilizar la consonante que le siguiera en el nombre. También determinó el peso atómico de diversos elementos considerando al hidrógeno como una unidad y al oxígeno como base 100.

Jons Jacob Berzelius (1779-1848)

(Martín y Villamil, 2005)



Nació en Vafversunda (Suecia) el 20 de agosto de 1779 y falleció el 7 de agosto de 1848 en Estocolmo (Suecia). En su trabajo destaca la determinación más exacta de diferentes pesos atómicos, así como la caracterización

cuantitativa de diferentes compuestos, introdujo los términos de polímero, catálisis, alotropía y proteína, descubrió varios elementos nuevos y propuso un sistema para nombrar a los distintos átomos que componían a los elementos.

A los 17 años comenzó a estudiar medicina en la Universidad de Uppsala. Posteriormente encontró trabajo como ayudante en una farmacéutica y fue ahí donde aprendió el uso de las técnicas de laboratorio que le servirían para su futura labor.

Más tarde se doctoró en medicina con una investigación sobre la aplicación de la terapia del “galvano”, esto es, el uso de la electricidad para el tratamiento de enfermedades. En colaboración

con el químico sueco Wilhem Hisinger (1766-1852) trabajó en una mina aplicando normas muy rígidas para el trabajo de laboratorio.

En 1807 fue profesor de medicina, farmacia y botánica en el *Karoline Institute* de Estocolmo, en ese mismo año también resaltó la importancia del concepto de equivalente propuesto por el químico alemán Jeremias Richter (1762-1807) ya que le sirvió para acumular la información analítica de más de 2000 compuestos inorgánicos diferentes, con esto también confirmó la teoría atómica de J. Dalton como la ley de las proporciones múltiples. Un año después publicó un manual de análisis a la flama, el cual alcanzó cinco ediciones, fue traducido al alemán y al francés; y utilizado durante muchos años.

Posteriormente descubrió tres nuevos elementos: el cerio en 1803, el selenio en 1817 y el torio en 1828. También por medio de sus métodos de análisis logró aislar los elementos silicio (1823), zirconio (1824) y titanio (1825) así como los alcalinotérreos calcio, estroncio y bario.

A sus 56 años se le otorgó el título de Barón por la Corte Real de Suecia y fue elegido miembro de la Cámara Alta de ésta. En 1840 le otorgaron su jubilación y murió en Estocolmo a los 69 años de edad.

3.2 Hacia el Congreso de Karlsruhe

Después de diversos experimentos y de que la química se encontraba en un caos científico surgió una gran inquietud entre los químicos para poner orden. En este punto cabe mencionar al químico alemán Justus von Liebig (1803-1873) quien destacó principalmente por sus aportes pedagógicos en la enseñanza de la química ya que fue el primer químico que se le ocurrió utilizar laboratorios para la docencia de esta área; ayudando a formar estudiantes que fueron reconocidos mundialmente por sus trabajos. Gracias a esta aportación, se logró relacionar estrechamente la investigación “pura” con la “aplicada”, siendo el final del químico amateur y el inicio del químico profesional. El resto de Europa adoptó el sistema alemán de enseñanza, haciendo de la química la primera ciencia en el que el trabajo experimental se volvió obligatorio.

Uno de los estudiantes de J. von Liebig fue el químico alemán Friedrich Whöler (1800-1882) quien rompió el tabú entre la separación de la materia orgánica y la inorgánica sintetizando la urea; ya que se creía que la materia orgánica sólo podía ser obtenida por medio de una “fuerza vital”. También es importante mencionar la presencia del estudiante

de doctorado, el mexicano Vicente Ortigosa (1817-¿? ^[11]) quien logró aislar y caracterizar la nicotina de la planta de tabaco (ver **figura 4**).



Figura 4: Litografía que representa el laboratorio del Dr. Justus von Liebig. Este laboratorio de química era considerado el mejor del mundo en el siglo XIX. En la imagen aparecen varios de sus estudiantes, Vicente Ortigosa es el primero que se encuentra del lado izquierdo, utilizando barba, recargado en la mesa y vistiendo un sombrero (Garritz, 2007).

Preocupados por unificar el conocimiento químico, los químicos alemanes Charles Wurtz (1817-1884), Karl Weltzein (1813-1870) y August Kekulé (1829-1896) convocarían del 3 al 5 de septiembre de 1860 al primer congreso internacional de química, el cual se llevaría a cabo en la ciudad de Karlsruhe, Alemania. En definitiva uno de los eventos más memorables de la historia de la química.

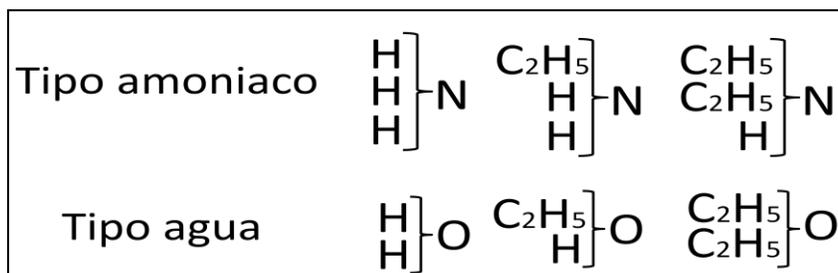
Ver **Actividad 4:** La nicotina

3.2.1 La teoría de los tipos (Cruz y colaboradores, 1986)

Los trabajos desarrollados por los químicos alemanes Wilhelm Hoffman (1818-1892) quien obtuvo aminas a partir de amoníaco; F. Whöler, quien sintetizó la urea y el químico inglés Alexander Williamson (1824-1904) quien preparó éteres mixtos ayudaron a que la química orgánica se desarrollara rápidamente.

Posteriormente el químico francés Charles Gerhardt (1816-1856) basándose en los trabajos de W. Hoffman, F. Whöler y A. Williamson generalizó la llamada “teoría de los tipos”. Según ésta, todos los compuestos orgánicos podían sistematizarse de acuerdo con sus reacciones características. Por ejemplo, todas las aminas obtenidas al tratar con amoníaco varios derivados halogenados fueron incluidas en el “tipo amoníaco”, pues uno o más hidrógenos son sustituidos por radicales (ver **figura 5**).

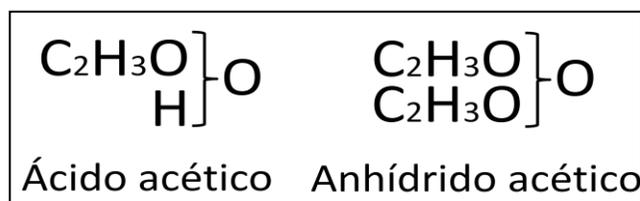
Figura 5: Algunos compuestos orgánicos clasificados en la teoría de los tipos propuesta por C. Gerhardt



Sin embargo, resultó que algunos compuestos orgánicos podían ser clasificados en más de un solo tipo. Pero C. Gerhardt justificó que esto se debía a la isomería (descubierta por J. Liebig y F. Whöler) que presentaban los compuestos.

Así con la teoría de los tipos C. Gerhardt propuso que si se observaba al ácido acético, el cual era tipo agua y se sustituía el hidrógeno remanente por otro grupo acetato (ver **figura 6**) podría producir el anhídrido acético, cuando en su laboratorio logró obtener este compuesto, la teoría de los tipos y las fórmulas de los compuestos orgánicos empezaron a tener un valor predictivo y no solamente utilidad para clasificación.

Figura 6: Fórmulas del ácido acético y del anhídrido acético siguiendo la teoría de los tipos propuesta por C. Gerhardt



Poco después de que C. Gerhardt propusiera la teoría de los tipos, el químico alemán Adolph Kolbe (1818-1884) fue uno de los químicos que más aproximó sus fórmulas de los distintos tipos^[13] a verdaderas fórmulas estructurales, ya que identificó grupos especiales, como el carbonilo, y logró aclarar la relación entre ácidos, aldehídos y cetonas; además predijo la existencia de alcoholes secundarios y terciarios, que fueron sintetizados poco después. Con esto empezaba a deducirse que la disposición de los átomos en una molécula era determinante en su comportamiento químico. Los resultados experimentales que se daban cada vez con mayor frecuencia, concedían validez a la hipótesis atómica de J. Dalton.

Ver **Actividad 5:** ¿Qué tipo es?

3.2.2 La teoría de valencia (Cruz y colaboradores, 1986)

En 1852 el químico inglés Edward Frankland (1825-1899), discípulo de Kolbe, como resultado de sus estudios en compuestos organometálicos, demostró que nitrógeno, fósforo, arsénico y antimonio se combinan con radicales orgánicos en las relaciones 1:3 y 1:5, mientras que zinc, mercurio y oxígeno lo hacen en relaciones 1:2. Estos hechos lo condujeron a descubrir que independientemente de cuál sea el carácter de los átomos que se uniesen, el *poder de combinación* del elemento atractivo se satisface siempre con el mismo número de átomos.

El concepto de *poder de combinación* fue utilizado y enunciado de manera diferente por químicos contemporáneos a E. Frankland. Pero no fue hasta 1868 cuando C. W. Wichelhaus (1842-1927) introdujo el término de valencia.

De entre otros términos que se utilizaban para referirse al poder de combinación se encuentra el de atomicidad, que A. Kekulé la definió como una modificación a la teoría de J. Dalton sobre los átomos para explicar porque átomos de distintos elementos prefieren combinarse en ciertas proporciones, siendo una propiedad fundamental del átomo y por lo tanto constante e invariable.

3.2.3 Estructura molecular (Cruz y colaboradores, 1986)

El químico escocés Archibald Couper (1831-1896) describió el poder de combinación con el término de afinidad, el cual consistía en el límite de combinación que un elemento manifiesta, por ejemplo, el CO y el CO₂ presentan diferentes grados de afinidad del carbono con el oxígeno, en donde el CO₂ es el que tiene el más alto grado de afinidad o límite de combinación. También indicó que algunos fenómenos se deberían explicar por medio de esta teoría, como: ¿por qué se forman las moléculas?, ¿A qué se debe que los compuestos estén formados por átomos que se unen en proporciones definidas? Y ¿Cuál es la geometría de las moléculas?

En 1858 de manera independiente los químicos Kekulé en Alemania y Couper en Francia desarrollaron la química orgánica estructural. Ambos llegan a sugerir que el átomo de carbono es tetravalente, es decir, que posee cuatro grados de afinidad que le permitirían unirse a cuatro átomos de hidrógeno o a dos de oxígeno. Indican, asimismo, que un átomo de carbono puede unirse con otro siempre que ambos satisfagan sus valencias con otros átomos, por lo que dejan abierta la posibilidad de construir estructuras con átomos de carbono como cadenas lineales o ramificadas.

Después en 1861 el químico ruso Alexander Butlerov (1826-1886) generalizó las ideas de Kekulé y Couper al introducir el término de *estructura química* la cual es la naturaleza y manera por la que se presentan enlaces mutuos entre los átomos de una molécula, en donde ésta queda determinada por la naturaleza, cantidad y estructura química de las partículas elementales que las componen. Con lo anterior Butlerov hizo advertir la forma en que se agrupaban los átomos de una molécula a partir del conocimiento de su comportamiento químico, logrando identificar las diferencias estructurales que presentaban algunos isómeros.

En 1858, la hipótesis de Avogadro resurge gracias al trabajo de rescate de Cannizzaro, posteriormente, en 1860 en el Congreso de Karlsruhe defendería esta hipótesis demostrando como había sido utilizada en parcialmente por varios químicos, incluyendo a Berzelius (quien era uno de sus opositores principales). Su exposición fue tan contundente que no fue difícil que varios químicos se convencieran y llegaran a diferenciar los conceptos de átomo y molécula.

Aún sin conocer el tipo de fuerzas que eran responsables de que los átomos tuvieran cierta valencia, y sin poder demostrar directamente la existencia de los átomos mismos, la química orgánica se fue consolidando, convirtiéndose en una ciencia predictiva.

Ver **Actividad 6:** Arquitectura molecular.

Friedrich August Kekulé (1829-1896)

(Benfey, 1958)



Nació en Darmstadt (Alemania) el 7 de Septiembre de 1829 y falleció el 13 de julio de 1896 en Tessin (Alemania). Él es uno de los principales contribuyentes del establecimiento de la Teoría de la Estructura

Química. Esta teoría parte de la idea de la tetravalencia del átomo de carbono y su capacidad para enlazarse consigo mismo.

Inicialmente, A. Kekulé se matriculó en la Universidad de Gießen con la intención de estudiar arquitectura, ya que tenía buenas cualidades para el dibujo. Pero tras asistir a unas conferencias de Justus von Liebig, decidió estudiar Química. Tras acabar la carrera en esa universidad, en la que se doctoraría en 1852 bajo la tutela de J. Liebig, estuvo becado en París a las órdenes de Jean Baptiste Dumas y de C. Gerhardt, recibiendo la influencia de otros de los químicos destacados de la época.

Basando sus ideas en las de sus predecesores como E. Frankland, William Odling y Charles Adolphe Wurtz, Kekulé fue uno de los principales impulsores de la Teoría de la Estructura Química. Esta teoría se basa en el concepto de valencia y

fue A. Kekulé quien introdujo la tetravalencia del carbono y su capacidad para formar largas cadenas de átomos. En 1861 publicó el primer tratado que existe sobre la química de los compuestos del carbono: "*Lehrbuch der organischen Chemie*". Aunque su aportación más recordada de A. Kekulé fue, sin duda, su explicación de la estructura del benceno. Estando en la Universidad de Gante, A. Kekulé publicó en 1865 un artículo en el que presentaba la conocida estructura del benceno en forma de anillo de seis átomos de carbono unidos mediante enlaces sencillos y dobles alternados. Hacía ya algunos años que se conocía la fórmula empírica del benceno (C_6H_6) pero no se sabía porque presentaba una insaturación tan alta. Hay que tener en cuenta que un hidrocarburo saturado de seis átomos de carbono debería contener también catorce átomos de hidrógeno. Otros investigadores habían sugerido algunas estructuras que contenían múltiples enlaces dobles o triples o bien múltiples anillos, pero no existían todavía evidencias experimentales que ayudaran a decidirse por ninguna estructura en particular. A. Kekulé se centró en acumular durante aquellos años las evidencias necesarias para proponer su estructura. Esta aportación fue sumamente importante para el desarrollo de la Química Orgánica en general y de la Química de los Hidrocarburos Aromáticos en particular, de tal modo que la fama de A. Kekulé creció entre toda la comunidad científica.

Sin embargo, aún no podían explicarse los descubrimientos del químico francés Louis Pasteur (1822-1895), quien, en 1848, estudiando las sales del ácido tartárico, se dio cuenta de que existían dos tipos de cristales de éstas, siendo uno la imagen especular del otro. Pasteur separó pacientemente ambos cristales con ayuda de un microscopio y observó que cada uno hacía girar, en diferente sentido, el plano de polarización de la luz.

Se pensaba que había dos tipos diferentes de moléculas de ácido tartárico, las que fueron llamadas *isómeros ópticos*. En ese momento resultaba imposible explicar el distinto comportamiento de sus cristales cuando eran atravesados por la luz polarizada.

3.3 El Congreso de Karlsruhe

Después de que la introducción de los conceptos propuestos por Dalton, Avogadro y Berzelius, sobre la definición de la partícula más pequeña que conformaba la materia, la relación entre los compuestos orgánicos e inorgánicos, la representación y significado de los átomos y las moléculas; provocaran confusión en los químicos del siglo XIX. Kekulé junto con Weltzien y Wurtz, en 1860, convocaron al primer congreso internacional de química que se llevaría a cabo en la ciudad de Karlsruhe en Alemania (Kauffman, 2010).

3.3.1 Convocatoria al congreso

Los tres organizadores del congreso se reunieron en la ciudad de París, Francia, a finales de marzo de 1860 e iniciaron la distribución una circular en francés invitando a los químicos más prominentes de esta época a reunirse para discutir las diferencias que existían entre los diversos puntos de vista teóricos y la urgencia para ponerle un final a éstas y llegar a un acuerdo en común.

Posteriormente a esta primera circular, se realizó una invitación formal a la ciudad de Karlsruhe que se encontraba cerca de la frontera de Francia y fue escogida por su carácter internacional. El congreso se llevaría a cabo del 3 al 5 de septiembre. La circular fue traducida al alemán y al inglés y distribuida entre 45 científicos que ayudaran a comunicar el mensaje a otros colegas interesados (Cid Manzano, 2009) (ver **figura 7**).

Figura 7: Circular enviada a toda Europa de parte de los organizadores del Congreso de Karlsruhe (traducida al español) (Ihde, 1961)

Estimado colega:

La química, nuestra ciencia, se encuentra en un momento muy delicado. A pesar de sus extraordinarios avances los signatarios de esta carta, contando con el apoyo de nuestras comunidades tanto en Alemania como en Francia reconocemos “ las profundas divergencias acerca de las palabras y los símbolos, que dañan la comunicación y la discusión, motores esenciales del progreso científico ” Por ello “la definición de importantes ideas químicas, tales como las expresadas por las palabras: átomo, molécula, equivalente...El examen de la cuestión de equivalentes y fórmulas químicas. El establecimiento de una notación y nomenclatura uniformes ” es impostergable. Para discutir estos asuntos los convocamos el próximo 3 de septiembre, en la ciudad alemana de Karlsruhe, seguros de que unidos, podremos encontrar una solución.

Atentamente:

Karl Weltzein, August Kekulé, Charles Wurtz

La lista de participantes constó de 127 químicos, provenientes de 12 países distintos. De los países participantes 11 de ellos eran europeos y sólo uno era un país americano, es importante mencionar que este país era México y como su representante asistió el químico Louis Posselt (1817-1880).

**Louis Posselt (1817-1880)
(Kohut y colaboradores, 2010)**

Ludwing Friedrich Posselt o Louis Posselt, nació el 22 de noviembre de 1817 en Heidelberg, Alemania. En 1839 obtuvo un diploma de medicina en su ciudad natal y enseguida trabajó como farmacéutico en Heidelberg, pero ya para 1841 ocupó el mismo empleo en el laboratorio de Giessen bajo el mando de Justus Von Liebig investigando varios compuestos de ferrocianuro. Es interesante mencionar que en el mismo periodo de tiempo, el mexicano nayarita Vicente Ortigosa estuvo trabajando con Liebig.

Pero cuando la química se transformaba radicalmente, Louis decidió viajar a América para beneficiarse de las grandes riquezas de metales preciosos que existían en México y en EE. UU. Aunque se sabía que Posselt no era el primer alemán que viajaba a América con esas intenciones; la diferencia radicó en que él no venía contratado por ninguna compañía minera.

En 1849 llega a Zacatecas y se asocia con otro alemán en una mina de plata obteniendo un 50% de la inversión inicial. Pero los convenios se malograron y fracasó, así que decidió buscar

suerte en los EE. UU. Ya para 1851 se encontraba en Brownsville y una compañía lo contrató para estudiar un mineral que si lo hacía con éxito le darían la oportunidad de explotar la mina, pero por desgracia los túneles se encontraban inundados y no pudo lograr su tarea.

Regresó a México, por Matamoros, Monterrey, Galeana y Matehuala pero mencionó que las minas del norte eran muy pobres y que las mejores del sur como Guanajuato estaban acaparadas por grandes compañías con las cuales su capital no podría competir. Sin embargo tras varios esfuerzos logró explotar una mina en Nuevo León.

En 1853 adquirió la botica de un alemán en Nuevo Orleans y en 1855 encontró empleo en la mina McCulloch en Carolina del Norte llegando a volverse el director.

Cuando se llevó a cabo el Congreso de Karlsruhe en 1860, Posselt decidió representar a México, aunque no hay documentación que explique por qué decidió hacerlo. Después de este año ya no se encontraron más artículos publicados por Louis Posselt, sólo se sabe que falleció en 1880.

3.3.2 El desarrollo del congreso (Kauffman y Adloff, 2010)

El 3 de septiembre de 1860 Weltzein dio por iniciada la primera sesión del congreso en el *Ständehaus* ^[14] (edificio del Parlamento) de Karlsruhe, exponiendo las razones de la reunión: “Debido al desarrollo extraordinariamente rápido de la química, y sobre todo debido a la acumulación masiva de hechos materiales, los puntos de vista teóricos de los investigadores y sus medios de expresión, tanto en palabras y símbolos, han comenzado a divergir más de lo oportuno para la comprensión mutua, especialmente en aquello conveniente para la instrucción. Considerando la importancia de la química siendo indispensable para otras ciencias naturales y la tecnología, parece sumamente deseable y aconsejable llevar nuestra ciencia de una forma más rigurosa de modo que será posible comunicarla de una manera relativamente más concisa”.

Posteriormente el químico alemán Hermann Kopp (1817-1892), de la Universidad de Giessen, presidió la primera sesión de la comisión la cual estuvo de acuerdo sobre tres asuntos principales para ser sometidos a la asamblea:

- a) Las diferencias entre los conceptos de molécula y átomo. Definiendo molécula como la partícula más pequeña que puede participar o ser resultado de las reacciones químicas, y átomo como la partícula más pequeña que puede contener una molécula.
- b) La noción de “átomo compuesto” debe ser suprimida y sustituida por “radical”.
- c) La noción de “equivalente” es empírica e independiente de los conceptos de átomo y molécula.

La segunda sesión del congreso fue presidida por el químico francés Jean-Baptiste Boussingault (1801-1887) quien estaba más interesado en la química aplicada (“antigua”) que en la creciente química insondable (“nueva”). Kekulé intentó explicar las diferencias entre una “molécula física” y una “molécula química”, la cual podía ser dividida por medios químicos hasta partículas más divisibles, esta idea fue discutida por el químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) quien mencionó que no estaba clara la diferencia entre molécula física y molécula química.

La tercera y última sesión fue presidida por el químico francés Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) quien pensaba que la química orgánica e inorgánica eran totalmente distintas y por lo tanto cada campo de estudio debería tener sus propios pesos atómicos ^[20]. Pero a pesar de la explicación, casi nadie estaba convencido de esta idea, entonces el químico italiano Angelo Pavesi (1830-1896) profesor de la Universidad de Pavia, y compatriota de Cannizzaro distribuyó el panfleto de éste último, el *Sunto* de 1858 donde declaraba como los trabajos de Avogadro, Gay-Lussac y Dulong aclararon y lógicamente reconciliaron varios sistemas inconsistentes de pesos atómicos. También Cannizzaro agregó al congreso: “Porque dos volúmenes de hidrógeno reaccionan con un volumen de oxígeno para producir dos volúmenes de agua gaseosa, las fórmulas químicas del hidrógeno debería ser H_2 , la del oxígeno O_2 y la del agua H_2O ”. Él reasignó los pesos atómicos que fueran necesarios utilizando las leyes de Dulong y Petit, este razonamiento convenció a la mayoría de los asistentes.

Así, el 5 de septiembre de 1860, fue el último día del congreso y aunque de momento no llegaron a ningún acuerdo, dejaría reflexionando a varios químicos sobre este acontecimiento, de tal manera que la mayoría se volvería más cuidadoso a la hora de tratar de explicar lo que sucede con la materia (ver **figura 8**).

NACHRICHT AUS KARLSRUHE

Karlsruhe, Alemania

6 de septiembre de 1860

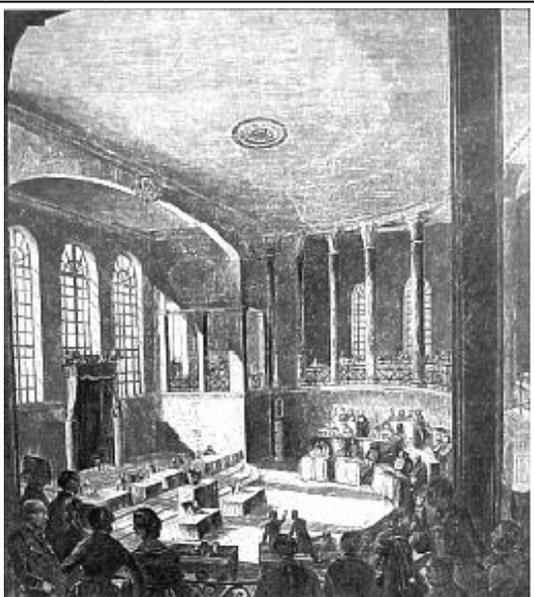
¿Puede decidirse la naturaleza de los átomos y las moléculas por un congreso, por una votación en una asamblea? Decimos que no y no, la ciencia en ese sentido no es democrática. A pesar de que todos veamos que la Tierra es plana, sabemos contra el sentido común que es redonda. Tampoco el Sol gira alrededor de la Tierra aunque la mayoría de las personas votaran a favor de ello. Volviendo al congreso que ha dado lustre a nuestra ciudad, tres días de discusión no llevaron a ningún acuerdo en los asuntos antes mencionados. La única medida aprobada fue la adopción de los símbolos barrados del gran Berzelius. Por otro lado causó gran impacto la presencia del italiano Stanislao Cannizzaro, profesor de la Universidad de Génova. El alegato que hizo a favor de las investigaciones de su coterráneo,



Ständehaus de Karlsruhe (derecha) y la Stephankirche (izquierda).

ya fallecido, Amadeo Avogadro, fueron por demás elocuentes e inolvidables. Más aún como distribuyó copias por escrito de su texto en el que hace una clara distinción entre átomos y moléculas (en ese documento se puede leer, por ejemplo, que "la molécula de agua estaría formada por media molécula de oxígeno y por una o, lo que es lo mismo, por dos medias moléculas de hidrógeno") su trascendencia será todavía mayor. Compartimos el escepticismo generado entre los asistentes al congreso a la afirmación de Cannizzaro, de que la unidad de referencia para el peso atómico debe ser el de media molécula de hidrogeno. El tiempo dará su inapelable veredicto.

Por otro lado, al terminar el congreso destacó en el banquete final el químico y músico ruso Aleksandr Borodin quien interpretó en el piano la obra musical "El marinero del Volga" acompañado de las voces de algunos de sus compatriotas rusos, dándole al evento un aire festivo.



Interior del Ständehaus durante el congreso

Stanislao Cannizaro (1826-1910)

(Román, 2009)



Nació en Palermo (Sicilia, actualmente Italia) el 13 de julio de 1826 y falleció el 10 de mayo de 1910 en Roma (Italia). Una de sus contribuciones principales fue la determinación precisa de los pesos atómicos. Stanislao comenzó sus estudios en

el Colegio Carolina Calasancio estudiando humanidades, algebra, geometría elemental, filosofía, lengua italiana y latina, lengua francesa, historia griega y romana. Posteriormente a la edad de 15 años ingresó a la Universidad de Palermo para estudiar Medicina en la única facultad científica, a pesar de sobresalir en esta área, no terminó la carrera para ingresar después a estudiar Química Filosófica y Farmacéutica con el profesor Felipe Casasoria. En 1845 participó en el 7^o Congreso de Científicos Italianos, donde presenta tres trabajos relacionados con fisiología y termina siendo recomendado al químico italiano más ilustre de la época: Rafael Piria, permitiéndole terminar su formación química

junto a él en la Universidad de Pisa. Posteriormente llega a París con ayuda de una carta de recomendación por parte de Piria, siendo recibido en un laboratorio químico en donde conoció a grandes científicos como Chevreul, Frémy, Wurtz y Dumas.

En 1851 publica su primer trabajo científico en química y regresa a su patria a incorporarse como profesor en el Colegio Nacional de Alejandría (Piamonte). Durante su estancia, descubrió la reacción que actualmente lleva su nombre en donde el benzaldehído lleva a cabo una reacción de óxido-reducción para generar ácido benzoico y alcohol bencílico, cabe mencionar que este es el primer alcohol que se obtuvo a partir de un compuesto aromático.

Pero no es hasta 1860 que en Congreso de Karlsruhe llama la atención con sus ideas basadas en estudios previos realizados por Avogadro, Ampere y Dumas; donde construye una tabla que contiene una relación de pesos atómicos y moleculares calculados a partir de los pesos atómicos del hidrógeno, el carbono, el oxígeno y el azufre, interesando mucho a la comunidad científica y en especial a un joven ruso de apellido Mendeleyev

4 La Química a finales del siglo XIX (1875-1904)

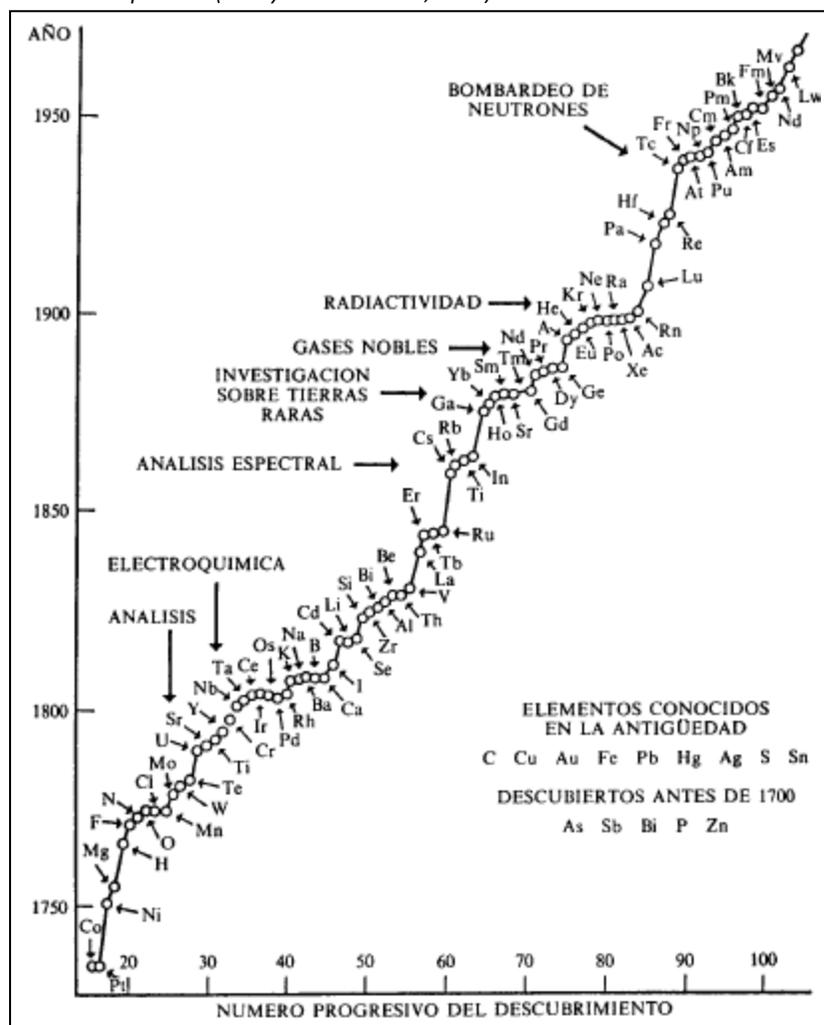
Después del Congreso de Karlsruhe, al fin los químicos del mundo pretendieron ponerse de acuerdo para ponerle un orden a la química y aunque no llegaron a una resolución clara en aquel momento, las soluciones llegarían con el paso de lo que restaba del siglo.

4.1 La tabla periódica

Ya para el siglo XIX se había descubierto una cantidad considerable de elementos químicos (ver *figura 9*). Debido a las experimentaciones realizadas sobre éstos, los químicos empezaron a notar la presencia de varios grupos de elementos que tenían propiedades semejantes.

Así que comenzaron a preguntarse cómo es que ciertos elementos se relacionaban entre sí y que características deberían de tener para manifestar sus tan representativas propiedades.

Figura 9: Diagrama cronológico que representa el descubrimiento de diversos elementos químicos (Cruz y colaboradores, 1986)



4.1.1 Pesos atómicos (Cruz y colaboradores, 1986)

Ya que la primera idea de la periodicidad considera el valor de las masas atómicas conviene explicar un poco cómo fueron determinados.

La primera tabla de pesos atómicos fue propuesta por Dalton en 1803, la cual recalculó posteriormente en 1808.

Lo primero que salta a la vista es que en esta tabla se reportan muchas especies que se sabe que actualmente no son elementales, sino compuestos. Lo que pasa es que apenas un año antes el químico británico Davy había logrado descomponer algunos álcalis como la sosa y la potasa, en sodio y potasio elementales. Así pues el primer problema para la asignación de los pesos atómicos consistió en la identificación de las sustancias elementales, destacando la colaboración de dos científicos alemanes: Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) y Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) quienes fueron pioneros en el desarrollo de la espectroscopia, ayudando a identificar diversos elementos por medio de la luz emitida de éstos al ser calentados, ya que cada uno de los elementos daba un espectro de luz característico (Ver **Actividad 7:** La llama espectroscópica).

Para desarrollar su tabla, J. Dalton empleó las herramientas del análisis químico disponible en aquel entonces. Por ejemplo para determinar el peso atómico del oxígeno, tomó cierta cantidad de agua y llevó a cabo una electrólisis de la cual encontró que se formaban 98 partes de oxígeno por 14 partes de hidrógeno. En la época se consideraba que el agua estaba compuesta por un átomo de hidrógeno y uno de oxígeno (idea proveniente de la tabla atómica de Dalton) así que, utilizando la proporción que obtuvo: $98/14=7$ concluyó que el oxígeno pesaba siete veces más que el hidrógeno. De manera similar fueron desarrollados los demás valores de la tabla.

Berzelius varios años después de Dalton, recalculó las masas atómicas empleando dos reglas generales: “La ley de Dulong y Petit” y “La ley del isomorfismo”.

La ley de los químicos franceses Pierre Dulong (1785-1835) y Alexis Petit (1791-1820) explicaba que cualquier masa atómica (A) multiplicada por su calor específico (C) siempre da un factor de 6.3, es decir, $AC=6.3$

La ley del isomorfismo fue propuesta por el químico alemán Eilhard Mitscherlich (1794-1863) quien era discípulo de Berzelius y propuso que cuando dos sustancias cristalizan de la misma forma, deben tener fórmulas químicas análogas. Ya conocida la fórmula, se puede hacer un análisis elemental y de ahí determinar las masas atómicas de los elementos que la conforman.

De gran importancia para la determinación de los pesos atómicos fue la propuesta de Cannizzaro quien a partir de la hipótesis de Avogadro concluyó que: “el peso molecular de un compuesto gaseoso es aproximadamente el doble de su densidad relativa con respecto al hidrógeno”

4.1.2 Primeras clasificaciones de los elementos

Después de identificar algunos grupos de elementos con propiedades parecidas, el químico alemán Johann W. Döbereiner (1780-1849) emprendió la tarea de sistematizar un poco más estas observaciones. Colocó los elementos con comportamiento similar en grupos de tres y se dio cuenta que la masa atómica del elemento intermedio, era aproximadamente, el promedio de aquellos de los extremos. Este descubrimiento se conoce como “Ley de las tríadas”.

Posteriormente en 1862, el geólogo francés Béguyer de Chancourtois (1819-1886) colocó los elementos ordenados por sus pesos atómicos en una línea enrollada helicoidalmente a un cilindro e hizo notar que aquellos que tenían propiedades semejantes quedaban colocados en una misma línea vertical y efectivamente las tríadas propuestas por J. Döbereiner se hallaban en dichas líneas (ver **figura 10**). Desafortunadamente, este trabajo permaneció ignorado durante muchos años.

Dos años después el químico inglés John Alexander Reina Newlands (1837-1898) propuso la llamada “Ley de las octavas”, la cual trataba de que si se colocaban los elementos por su peso atómico, el octavo elemento en número es una repetición del primero tal y como si fuera una escala musical. (ver **figura 11**). Esta propuesta tuvo mucho más éxito que la de sus antecesores difundiendo sus ideas más ampliamente.

Figura 10: Hélix telúrica de B. Chancourtois, si se observa con atención se pueden ver las tríadas de J. Döbereiner en las mismas líneas verticales (Cruz y colaboradores, 1986)

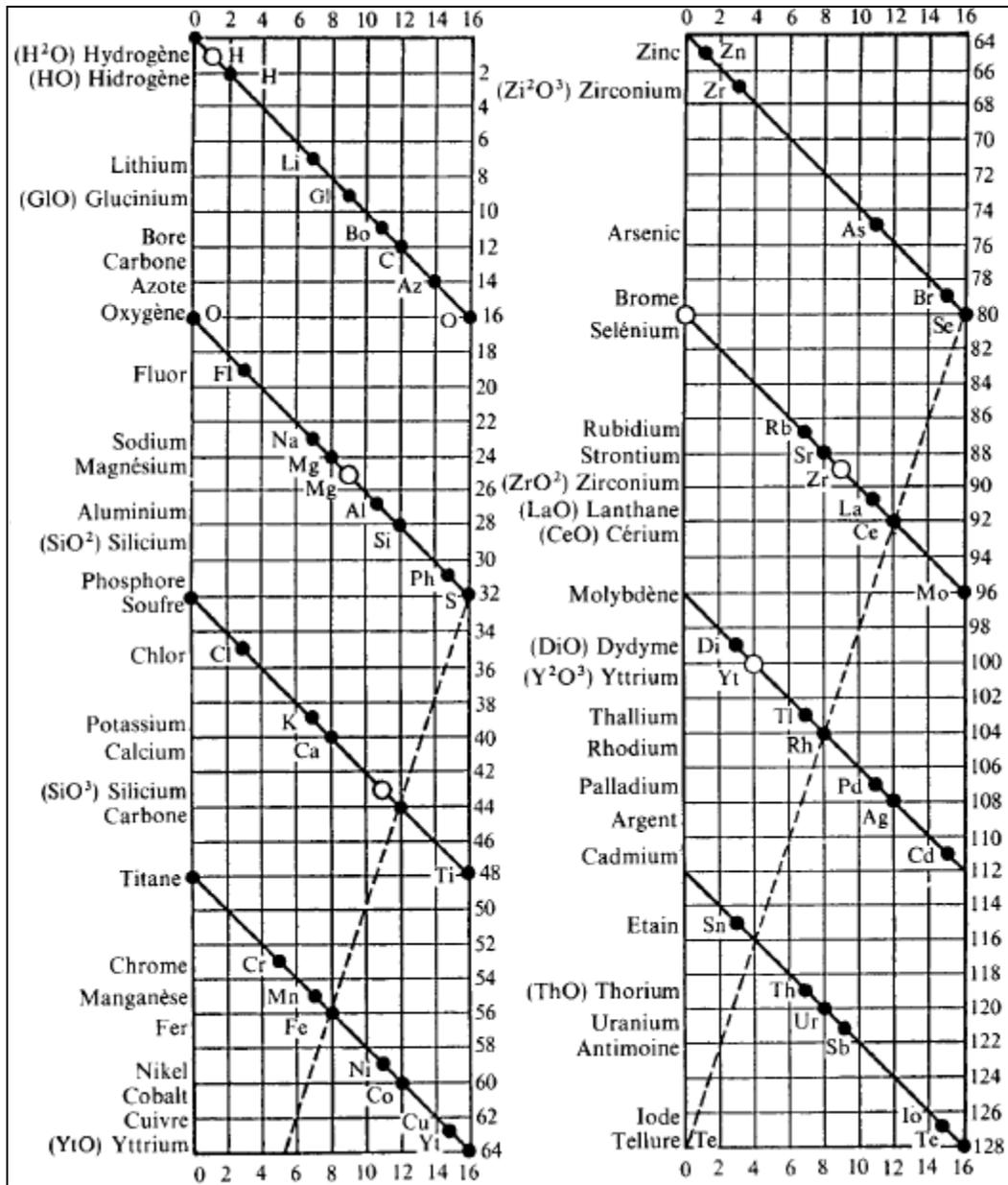


Figura 11: Ley de las octavas propuesta por J. Newlands
(Cruz y colaboradores, 1986)

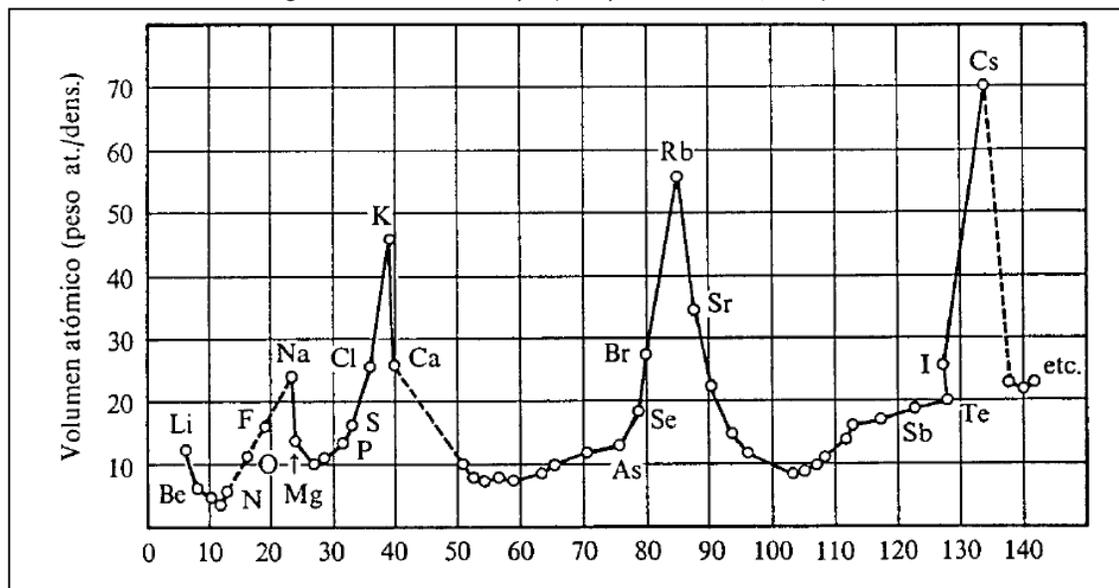
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.			
H	1	F	8	Cl	15	Co } Ni }	22	Br	29	Pd	36	I	42	Pt } Ir }	50
Li	2	Na	9	K	16	Cu	23	Rb	30	Ag	37	Cs	44	Tl	53
Ga	3	Mg	10	Ca	17	Zn	25	Sr	31	Cd	38	Ba } V }	45	Pb	54
B	4	Al	11	Cr	19	Y	24	Ce } La }	33	U	40	Ta	46	Th	56
C	5	Si	12	Ti	18	In	26	Zr	32	Sn	39	W	47	Hg	52
N	6	P	13	Mn	20	As	27	Di } Mo }	34	Sb	41	Nb	48	Bi	55
O	7	S	14	Fe	21	Se	28	Rh } Ru }	35	Te	43	Au	49	Cs	51

4.1.3 La ley periódica

La ley periódica fue enunciada como consecuencia de la labor independiente de dos hombres: el químico ruso Dmitri Mendeleiev y el alemán Julius Lothar Meyer (1830-1895). Mientras D. Mendeleiev escribía "Principios de Química", L. Meyer redactaba: "Modernas teorías de la química. Pero a pesar de ambas investigaciones, D. Mendeleiev tuvo una mayor aceptación conforme se fueron cumpliendo algunas predicciones de las propiedades de elementos desconocidos de la época.

El trabajo de Meyer se basó en el estudio de los llamados volúmenes atómicos (volumen que ocupaba un mol de un elemento en estado líquido o gaseoso). Y al comparar éstos con las masas atómicas obtuvo su famosa curva (ver **figura 12**).

Figura 12: Curva de L. Meyer (Cruz y colaboradores, 1986)



En la curva trazada, se observa la formación de algunas de las octavas propuestas por J. Newlands, sin embargo no se cumplía así para todos los casos, Meyer también señaló que los elementos en estado gaseoso o sólido que tenían los menores puntos de fusión se encontraban en las partes ascendentes de la curva, mientras que aquellos que tenían un alto punto de fusión se encontraban en las partes descendentes de la curva.

Mendeleiev por su parte se basó en el concepto de valencia, utilizando la información para realizar una tabla como Newlands pero evitando forzar los elementos en octavas como lo había hecho éste años atrás. Posteriormente y con nuevos datos colocó los elementos de una manera un poco diferente, donde los identificaba por grupos y series (ver **figura 13**); en estos arreglos presentaba algunos huecos y Mendeleiev mencionó que eran para elementos que aún no se había descubierto.

Figura 13: Tabla de Mendeleiev (Cruz y colaboradores, 1986)

Grupo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Oxidos e hidruros típicos	R_2O —	RO —	R_2O_3 —	RO_2 H_4R	R_2O_5 H_3R	RO_3 H_2R	R_2O_7 HR	RO_4 —	
Serie	1	H(1)							
	2	Li(7)	Be(9.4)	B(11)	C(12)	N(14)	O(16)	F(19)	
	3	Na(23)	Mg(24)	Al(27.3)	Si(28)	P(31)	S(32)	Cl(35.5)	
	4	K(39)	Ca(40)	—(44)	Ti(48)	V(51)	Cr(52)	Mn(55)	Fe(56), Co(59), Ni(59), Cu(63),
	5	[Cu(63)]	Zn(65)	—(68)	—(72)	As(75)	Se(78)	Br(80)	
	6	Rb(85)	Sr(87)	?Yt(88)	Zr(90)	Nb(94)	Mo(96)	—100	Ru(104), Rh(104), Pd(106), Ag(108)
	7	[Ag(108)]	Cd(112)	In(113)	Sn(118)	Sb(122)	Te(125)	I(127)	
	8	Cs(133)	Ba(137)	?Di(138)	?Ce(140)	—	—	—	
	9	—	—	—	—	—	—	—	
	10	—	—	?Er(178)	?La(180)	Ta(182)	W(184)	—	Os(195), Ir(197), Pt(198), Au(199)
	11	[Au(199)]	Hg(200)	Tl(204)	Pb(207)	Bi(208)	—	—	
	12	—	—	—	Th(231)	—	U(240)		

Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834-1907)

(Garritz, “[...]Mendeleiev[...]”, 2007)



Nació en Tobolsk, Siberia (actualmente en Rusia) el 8 de febrero de 1834 y falleció en San Petesburgo (Rusia) el 2 de febrero de 1907. De entre los trabajos que realizó, destaca la creación de un libro de texto para el aprendizaje de la química, pero sin

lugar a dudas su mayor aporte fue su tabla periódica.

De joven nunca tuvo interés por aprender, pero gracias a la insistencia de sus padres y a la ayuda de un tutor privado logró apasionarse por la ciencia.

Cuando Dimitri tenía trece años de edad su padre falleció y a su madre se le quemó su fábrica por lo tanto emigraron desde Tobolsk hasta Moscú, sin embargo debido a su origen siberiano no fue aceptado en la escuela, así que junto con su familia recorrió un poco más de distancia hasta llegar a San Petesburgo y con ayuda de un amigo de su padre logró entrar en el Instituto Pedagógico Central.

Ya después de terminada su educación en el Instituto se volvió maestro y conferencista no pagado de la Universidad de San Petesburgo, dependiendo únicamente de las cuotas de estudiantes privados.

A los veintidós años de edad consiguió una beca para estudiar en el extranjero, yéndose primeramente a París (Francia) y luego a Heidelberg (Alemania) en donde conoció a Bunsen y a Kirchoff, los cuales sentarían sus bases para sus futuros estudios en espectroscopía. En 1860 asistió al Congreso de Karlsruhe (Alemania) interesándose principalmente en los discursos de Cannizaro.

Con toda la información que ya tenía, leyó un poco sobre la hipótesis de un científico llamado Newlands acerca de que los elementos químicos compartían algunas características similares en intervalos regulares, sin embargo a Mendeleiev no le agradaba la manera en que este científico los había acomodado ya que varios de los elementos parecían metidos en su ordenación como si los hubieran puesto con un calzador.

En la nueva propuesta de la organización de los elementos por parte de Dimitri tomó en cuenta los pesos atómicos crecientes y las cualidades químicas que contenían cada uno de los elementos, incluso dejó huecos para elementos que aún no habían sido descubiertos.

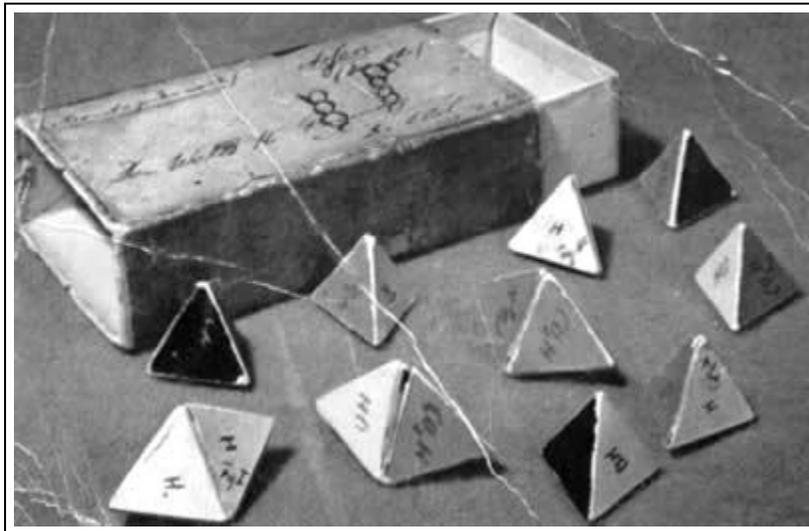
4.2 Estructura tridimensional de enlace

(Cruz y colaboradores, 1986)

4.2.1 El carbono tetraédrico

La respuesta a la incógnita planteada por Pasteur en 1848 sobre la isomería óptica, fue resuelta casi simultáneamente en 1874 por los químicos daneses Jacobus Van't Hoff (1852-1911) y Joseph Le Bel (1847-1930). Para ello, sugirieron que los cuatro enlaces del carbono estaban distribuidos en las tres dimensiones del espacio hacia los cuatro vértices de un tetraedro (ver **figura 14**), y que la existencia de la isomería óptica se presentaba cuando sobre los cuatro vértices se encontraban dispuestos diferentes átomos o grupos de átomos. Estas ideas fueron popularizadas por el químico alemán Johannes Wislicenus (1835-1902), las cuales después serían conocidas como “estereoquímica”.

Figura 14: Modelos del carbono tetraédrico fabricados por J. Van't Hoff
(Bradshaw, 2002)



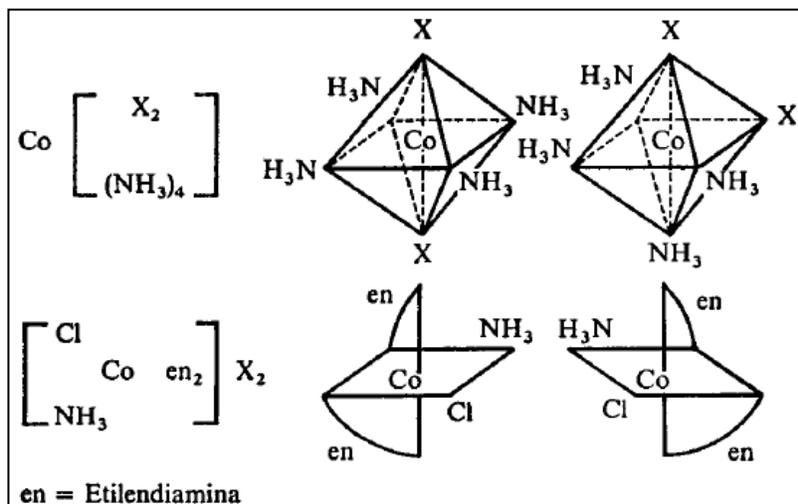
4.2.2 La teoría de coordinación

En las últimas décadas del siglo XIX, la concepción tridimensional de los enlaces se extendió más allá de los átomos de carbono ya que el químico inglés William J. Pope (1870-1939) demostró que se podían preparar compuestos asimétricos con azufre, selenio y estaño. Por otro lado, el químico alemán Vïctor Meyer (1848-1897) y el químico suizo Alfred Werner (1866-1919) demostraron la existencia del mismo fenómeno para el nitrógeno.

Werner propuso la teoría de coordinación, la cual habla de lo que él llamó compuestos moleculares, descubriendo que éstos presentaban valencias secundarias y terciarias aparte de la principal que formaba el enlace entre los átomos, estas valencias dependían del cómo se acomodaban las moléculas en un espacio de tres dimensiones (ver **figura 15**).

Para sus pruebas utilizó los experimentos eléctricos del químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927), quien señaló la existencia de iones en disolución; demostrando que sus compuestos tenían una naturaleza orgánica debido a los efectos ópticos y que también tenían una naturaleza inorgánica debido a que permitían el paso de corriente eléctrica en una disolución.

Figura 15: Modelos tridimensionales propuestos por A. Werner
(Cruz y colaboradores, 1986)



5 Actividades

Para las actividades se propone la utilización de un registro de aprendizaje para su evaluación en donde cada actividad puede ser evaluada de 0-3 puntos de acuerdo al aprendizaje adquirido (ver **tabla 1**), así como la utilización de un registro de evaluación de la unidad didáctica, la cual consta de un total de 21 puntos (ver **tabla 2**).

Tabla 1: Registro de aprendizaje de cada actividad

Aspecto evaluado	Puntos
No se realiza la actividad.	0
Se realiza correctamente la actividad relacionada con el conocimiento químico.	1
Se realiza correctamente las actividades relacionadas con el saber químico e histórico.	2
Se realiza correctamente las actividades químicas e históricas y se logra una integración de conocimiento entre ambas disciplinas.	3

Tabla 2: Registro de aprendizaje de la unidad didáctica

Actividad	Autoevaluación (Puntos)	Apoyo en el Internet
1 ¿Vanadio o eritronio?	/3	http://www.youtube.com/watch?v=sFAGQLokym4
2 Modelando átomos	/3	http://www.youtube.com/watch?v=mXMFSVowbSc
3 Química gaseosa	/3	http://www.iesaquilarycano.com/dpto/fyq/avogadro.html
4 La nicotina	/3	http://www.youtube.com/watch?v=_OnJBZ3aomA
5 ¿Qué tipo es?	/3	
6 Arquitectura molecular	/3	http://www.youtube.com/watch?v=2NRwd-JJFm4
7 Ensayo a la flama	/3	http://www.youtube.com/watch?v=QNojS6ZZ4og
Total	/21	

6 Notas

A continuación se presenta la recopilación de notas y comentarios prudentes para entender mejor el texto, todas estas indicadas en éste por medio de un superíndice después de la palabra, frase o concepto que se desea complementar.

[1] La división de la historia en n.e. (nuestra era) está de acuerdo al consenso académico sobre la división en periodos determinantes en la civilización occidental. Aunque en esta división se propone la utilización de los términos: a. C. (antes de Cristo) y d. C. (después de Cristo), prefiero mantenerme neutral en cuanto al uso de expresiones religiosas.

[2] Aquí la expresión “eléctrico” proviene de la traducción del inglés del vocablo “*electric*”, el cual se refiere a la propuesta del concepto de “electrón”.

[3] La química neumática es aquella que se encargaba del estudio químico de los gases.

[4] Tradicionalmente el descubrimiento se le asigna al químico inglés Joseph Priestley (1733-1804), pero de manera independiente el químico sueco Wilhelm Scheele (1742-1786) lo había descubierto antes que J. Priestley. Ambos reportaron el descubrimiento de un nuevo gas, pero no fue hasta que A. Lavoisier propuso el nombre de oxígeno que se conoció como tal. A. Lavoisier lo nombró así por las raíces griegas: *oxýs* que significa “ácido” y *génes* que significa “generador”, ya que él consideraba que era un constituyente esencial de los ácidos.

[5] Los números primos de Germain son aquellos números primos que al elevarse al cuadrado siguen siendo números primos.

[6] J. Dalton padecía un defecto genético de confundir el color rojo con el verde, el cual descubrió el mismo, y posteriormente éste se conoció con el nombre de “daltonismo”.

[7] Actualmente los “átomos compuestos” los conocemos con el nombre de moléculas.

[8] Posteriormente se le conocería a esta propuesta como “hipótesis de las proporciones múltiples”

[9] El nombre “*potassium*” es un derivado de un producto que durante en siglo XIX se conocía como “*potasa*” el cual tiene sus raíces en el alemán *pottasche* de las voces “*pott*” que significa “olla” y “*asche*” que significa “ceniza”, indicándonos su origen, ya que se obtenían de cenizas vegetales que eran muy higroscópicas y por lo tanto se tenían que mantener cerradas en una olla.

[10]El nombre “*sodanum*” proviene de un producto comercializado que durante el siglo XIX se le conocía como “*soda*”, aunque su origen es aún más antiguo ya que derivaría del árabe “*sauda*” que es un adjetivo para “negro” que a su vez proviene de las voces “*sawnad*” y “*suwnad*” usadas en Arabia, Palestina y Egipto para referirse a ciertas plantas que forman residuos negruzcos de los cuales se obtenía la lejía o sosa.

[11] La clasificación de las sustancias en ácidos y bases es antiquísima, sin embargo, en 1664 R. Boyle identificó una serie de propiedades generales que poseen ácidos y bases,

como su sabor o los colores que toman al agregarles flores a las soluciones que los contienen.

[12] De este químico mexicano se sabe muy poco, nació el 5 de abril en la ciudad de Tepic en Nayarit, México. Hasta el momento no se ha encontrado registro de su fallecimiento.

[13] Por la palabra “tipo” me refiero a los diferentes *tipos* que había propuesto C. Gerhardt con su teoría.

[14] Este edificio fue conseguido por el archiduque Friedrich de Baden (1826-1907), quien era uno de los principales bienhechores de la ciencia de la época y ayudó contribuyendo financieramente al congreso.

7 Comentarios finales

La historia aquí escrita tiene como objetivo que el estudiante aprenda no sólo química, sino también su historia ya que esto le permite tener una identidad con esta rama tan maravillosa de la ciencia y que a pesar de que en la vida cotidiana, todos tenemos relación directa con sus fenómenos, a veces se siente lejana del público en general. Por eso utilizando la historia de la química nos permite observar la parte más humana y menos dura de ésta.

Por otro lado, la historia de la química está centrada principalmente en el continente Europeo, esto no quiere decir que durante el siglo XIX no se haya hecho ciencia en otros continentes como América o Asia; pero definitivamente la revolución química de esta época se centró en la vida occidental del mundo.

5.2.- Actividades:

Esta sección habla de las actividades relacionadas con la Unidad Didáctica y que aparecen en el capítulo 5 de la unidad didáctica. Hay que recordar que es importante evaluar el conocimiento ya que la finalidad principal es aumentar la calidad del aprendizaje, dándole a los alumnos información sobre su propio aprendizaje (Morales, 2009).

Por otro lado la evaluación es esencial para tomar las decisiones pedagógicas que corrijan el proceso educativo, de manera que la población pueda alcanzar los niveles de conocimientos adecuados en ciencia y tecnología (Chamizo, 1995).

Por ello se diseñaron actividades que les ayudaran a los estudiantes a evaluar su proceso de aprendizaje, así como afianzar los conocimientos adquiridos a lo largo del desarrollo de la Unidad Didáctica. A continuación se muestran y explican cada una de las actividades:

5.2.A.- Actividad 1: ¿Vanadio o eritronio?

En esta actividad se plantea el caso del químico Andrés Manuel del Río, en el cual existe una confusión si descubrió un nuevo elemento o no lo hizo debido a la tecnología de la época. Previamente a la resolución de la actividad, el estudiante debe de haber consultado el canal de YouTube® y ver un vídeo explicativo sobre ciertas propiedades que tiene el vanadio y el cromo en común, basándose en ello, en la primera parte deben de explicar químicamente la confusión entre ambos elementos.

Posteriormente a ello, se le pide al estudiante que argumente que otros fenómenos hay que tomar en cuenta al momento de evaluar la confusión entre las propiedades de ambas sustancias.

Por último se le solicita que escriba una carta a la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, por sus siglas en inglés) argumentando qué nombre le debe de corresponder a ese elemento si el de eritronio o el de vanadio.

Actividad 1: ¿Vanadio o eritronio?

En 1801 el químico español Andrés Manuel Del Río creyó descubrir en lo que ahora es México un nuevo elemento. A éste lo llamó eritronio (de la raíz griega *erythros* que significa: “rojo”), debido a que éste se tornaba rojo al calentarse.

La muestra fue llevada a Europa para que fuera analizada por el químico francés Hippolyt Collet-Descotils (1773-1815), quien anteriormente había descubierto el iridio y había comprobado la existencia del cromo. Tras los análisis concluyó que no era un nuevo elemento sino que se trataba de cromo.

Treinta años después el sueco Nils Gabriel Seftröm (1787-1845) descubrió un nuevo elemento químico al que llamó vanadio debido a Vanadis, la diosa escandinava de la belleza; pues éste mostraba una gran gama de colores.

Al poco tiempo el químico alemán Friedrich Wöhler quien logró sintetizar la urea a partir de minerales; leyó los trabajos de A. Del Río y de N. Seftröm, y concluyó que ambos habían descubierto el mismo elemento.

Utilizando tus conocimientos de química explica por qué el eritronio fue confundido con cromo. ¿Qué otro motivo pudo causar esta confusión? Escribe una carta dirigida a la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), argumentando porque el nombre debe ser vanadio o eritronio.

Explicación química de la confusión entre cromo y eritronio:

Otros motivos por los cuales se pudo confundir el eritronio con el cromo:

Carta a la IUPAC:

A scroll of parchment with horizontal lines for writing. The scroll is unrolled and has a rough, aged appearance with some fraying at the edges. It is positioned vertically and occupies most of the page's width.

Actividad 1. Calificación estimada: _____/3 puntos

Si se observa en la actividad, está dividida en tres secciones: La primera requiere un conocimiento previo sobre química. La segunda parte requiere entender un poco de

historia de la química, la cual viene explicada en el desarrollo de la Unidad Didáctica y la última parte requiere que haya una sinergia entre la química y su historia para poder argumentar su opinión. Cada actividad viene relacionada con la rejilla de evaluación, los estudiantes deben de autoevaluar su desempeño y así mostrar si tienen o no conciencia sobre sus procesos de resolución de problemas.

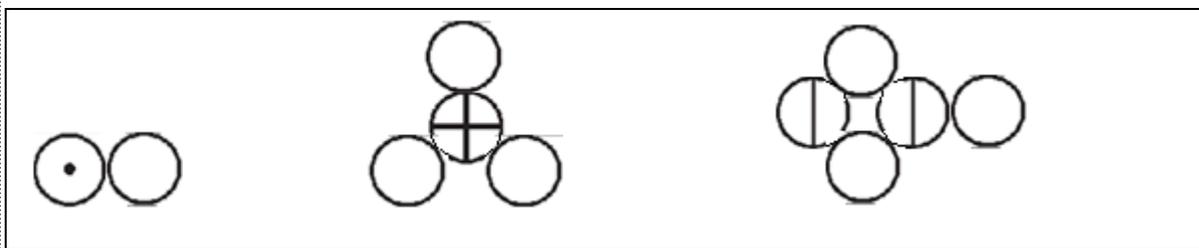
5.2.B.- Actividad 2: Modelando átomos

En este caso, utilizando la idea atómica de Dalton, se le pide al estudiante reconocer qué compuestos están representados, a su vez que proponga cómo escribiría un compuesto conocido utilizando ese modelo atómico de representación. De igual manera que la primera actividad contiene sus tres respectivas divisiones. En este caso auxilia a entender la naturaleza corpuscular de la materia.

Actividad 2: Modelando átomos

Dalton te ha dejado escritas las fórmulas de distintas sustancias ¿De cuáles se trata? Elige un compuesto que conozcas y trata de dibujarlos con los símbolos propuestos por Dalton. ¿En qué difiere el modelo de Dalton con el que conoces? ¿Qué ventajas o desventajas tiene el uso de los símbolos propuestos por Dalton para describir a una sustancia? Utiliza la **figura 4** para ayudarte.

¿De qué sustancias se trata?



Dibuja y escribe el nombre de su compuesto:

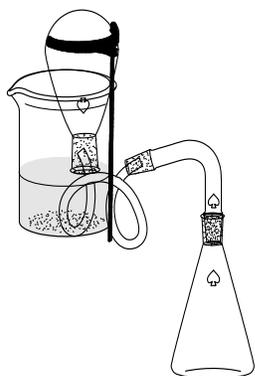
Ventajas o desventajas de usar los símbolos propuestos por Dalton:

Actividad 2. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.2.C.- Actividad 3: Química gaseosa:

Aquí se le pide al estudiante que determine la fórmula de un óxido de bromo utilizando el modelo de Dalton y la hipótesis de Avogadro, con ello que justifique cual de los dos modelos explica mejor la cantidad obtenida del óxido de bromo, por lo tanto; ayuda a que los estudiantes entiendan mejor la estequiometría, así como que la ciencia es resultado de la confrontación de distintos modelos y teorías, concepto que muchas veces no es comprendido por los estudiantes (Cachapuz, 2002).

Actividad 3: Química gaseosa



Te encuentras ayudando al químico Ampère en su laboratorio con un óxido de bromo. Manteniendo las mismas condiciones de presión y temperatura observan que 3,2L de bromo reaccionan con 8L de oxígeno para formar 3,2L de un óxido de bromo gaseoso. ¿Cuál es la fórmula de este óxido? ¿Si la temperatura se aumentara al doble, cuál sería el volumen final del óxido formado? Determina la fórmula considerando ambos elementos como átomos solos (modelo de Dalton) y determínala considerando que ambos elementos forman moléculas diatómicas (hipótesis de Avogadro). ¿Qué modelo explica mejor la cantidad producida del óxido de bromo? Justifica tu respuesta

Fórmula del óxido de bromo: _____

Justificación: _____

Actividad 3. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.2.D.- Actividad 4: La nicotina

En este caso se presenta el trabajo doctoral del químico mexicano Vicente Ortigosa, quien trabajó con Justus Von Liebig y se le pide al estudiante que determine el porcentaje de cada elemento en la nicotina, ayudándole a darse cuenta que no es necesario saber la estructura para determinarla; sin embargo, al conocer la forma de la molécula nos ayuda a determinar exactamente cuánto hay.

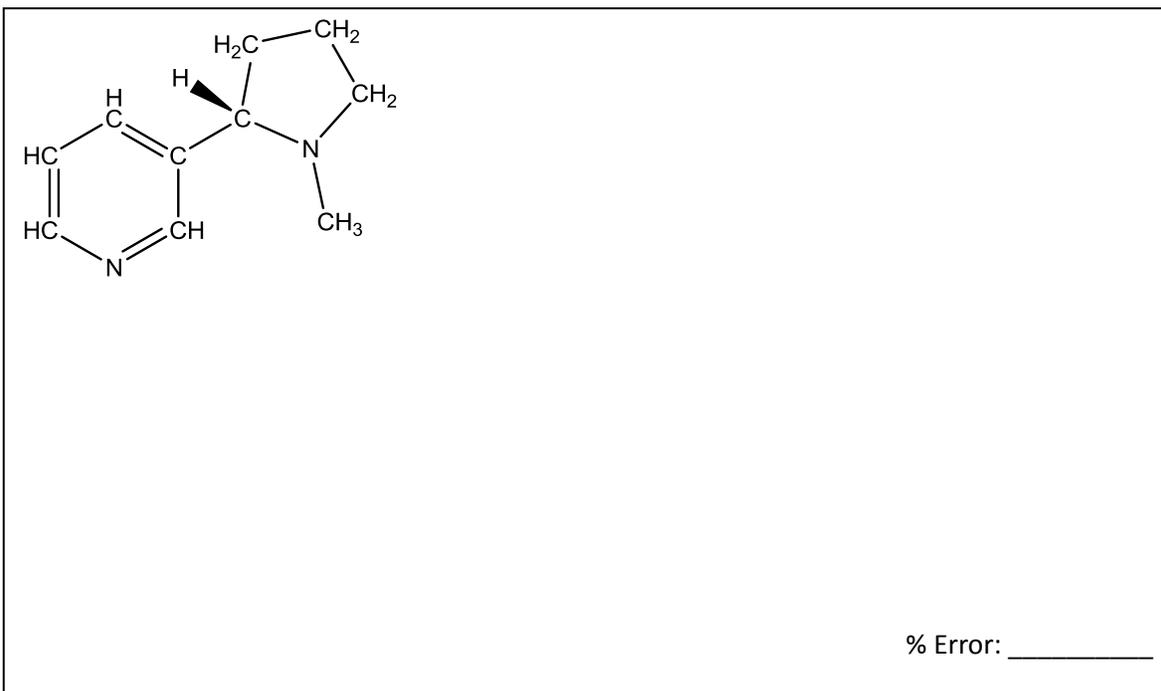
Actividad 4: La nicotina



Vicente Ortigosa ayudó al Dr. Justus Von Liebig a determinar la fórmula de un compuesto proveniente de la planta de tabaco (actualmente se conoce como nicotina). Si Ortigosa determinó que el 73.355% es carbono, el 9.6% es hidrógeno y el 17.1% es azoe ¿Cuál sería la fórmula de este compuesto? Busca la fórmula actual de la nicotina y compárala con la fórmula obtenida a partir de los resultados de Ortigosa. ¿Cuál es el porcentaje de error entre la fórmula obtenida con los resultados de Ortigosa en comparación con la fórmula actual? Con los resultados explique en que ayudó el aporte de un laboratorio para la enseñanza de la química.

Fórmula de la nicotina con los resultados de Ortigosa: _____

A continuación se muestra la fórmula química actual de la nicotina:



¿Qué ventaja tuvo que se aportara la utilización de un laboratorio para la enseñanza de la química?

Actividad 4. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.2.E.- Actividad 5: ¿Qué tipo es?

En este caso se presenta una actividad en la que se pide clasificar qué tipo son ciertos compuestos utilizando la llamada “teoría de tipos” de Gerhardt. En este caso se hace hincapié en el intento de los químicos por explicar los fenómenos que observaban y además afianzar la teoría atómica de Dalton.

Actividad 5: ¿Qué tipo es?

C. Gerhardt propuso clasificar los distintos compuestos orgánicos por el tipo al que pertenecían. Si usted tiene los siguientes compuestos: glicerina ($C_3H_8O_3$), etilendiamina ($C_2H_8N_2$) y ácido cloroacético ($C_2H_3ClO_2$) ¿A qué tipo pertenecen? ¿Se pueden clasificar en un sólo tipo? ¿Por qué la teoría de los tipos no es suficiente para explicar la estructura molecular? Explique cómo esta teoría apoyó la idea de la existencia de los átomos propuesta por J. Dalton.

¿A qué tipo pertenecen?

Glicerina	Etilendiamina	Ácido cloroacético
}	}	}
}	}	}
}	}	}

¿Por qué la teoría de los tipos no es suficiente para explicar la estructura molecular?

¿Cómo la teoría de los tipos apoyó la idea de la existencia de los átomos?

Actividad 5. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.2.F.- Actividad 6: Arquitectura molecular:

En este caso, se sigue reforzando el concepto de la naturaleza corpuscular de la materia al pedirle al estudiante que determine la estructura del benceno.

Actividad 6: Arquitectura molecular



En 1861 August Kekulé publicó el tratado en química orgánica: “*Lehrbuch der organischen Chemie*” donde hablaba acerca de la tetravalencia del carbono, es decir; un átomo de carbono se puede unir a cuatro átomos para formar una molécula. En esta época había un compuesto que se obtenía a partir de la goma benjuí cuyo peso molecular es aproximadamente 78 y contenía un 92,3% m/m de carbono y el resto de hidrógeno. ¿Cuál sería la fórmula molecular de este compuesto?

Si toma en cuenta la propuesta de Kekulé sobre el átomo de carbono tetravalente, ¿Cuál es la estructura molecular de este compuesto? ¿Habría más de una forma de acomodar los átomos en una molécula? Justifique su respuesta (tal vez la figura, que representa a una serpiente mordiéndose la cola^[23], le podría ayudar)

Fórmula molecular del compuesto: _____

Estructura molecular del compuesto:

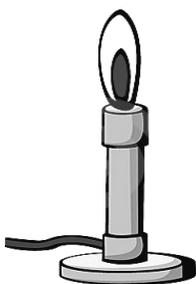
¿Hay más de una forma de acomodar los átomos en una molécula? ¿Por qué?

Actividad 6. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.2.G.- Actividad 7: Ensayo a la flama

Esta actividad se relaciona con el cambio en la forma de trabajar de los químicos, por lo que se puede hablar de una revolución científica. Así que se propuso este experimento muy conocido en el laboratorio de enseñanza de la química. Sin embargo, debido a que no todos tienen acceso a éste se complementa por medio de un vídeo en Youtube® con subtítulos en español para la facilidad del estudiante.

Actividad 7: Ensayo a la flama



En 1857 R. Bunsen inventó un mechero que lleva su nombre y se sigue utilizando en los laboratorios actuales de enseñanza de la química. Junto con G. Kirchhoff descubrieron la presencia de dos nuevos elementos: el rubidio y el cesio. El proceso consistía en quemar sustancias que tuvieran cierto elemento y hacer pasar la luz generada a través de un prisma, éste dividía la luz la cual se proyectaba en una pantalla y daba un espectro electromagnético característico.

Sin embargo, también se podía identificar los distintos elementos simplemente por el color que éstos presentaban en la flama. Realice este experimento con cloruro de litio (LiCl), cloruro de sodio (NaCl) y cloruro de potasio (KCl) ¿Qué colores se observaron en la flama? ¿Qué sucede con los elementos presentes en cada compuesto para que se vea un color característico? ¿Qué aportó la utilización de la espectroscopia al conocimiento químico posterior?

Compuesto	Color a la flama
Cloruro de litio (LiCl)	
Cloruro de sodio (NaCl)	
Cloruro de potasio (KCl)	

¿Qué sucede con los elementos presentes en cada compuesto al quemarlos en la flama?

¿Qué aportó la utilización de la espectroscopia al conocimiento químico posterior?

Actividad 7. Calificación estimada: _____/3 puntos

5.3.- Validación

Como ya se explicó en el inciso 2.2 de esta tesis, se requiere validar el material didáctico para saber si cumple los objetivos didácticos. Los resultados que se presentan a continuación son resultado de la aplicación de la escala de Likert y el diferencial semántico de Osgood descritos en el inciso 4.3.

La muestra poblacional fueron 20 estudiantes del curso “Historia y Filosofía de la Química” que se imparte en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En el siguiente cuadro se muestra el resultado promedio de la aplicación de la escala de Likert por cada pregunta. En la escala se da valores de 1 a 4, siendo el 1 el valor más bajo.

¿Qué tan legible es la unidad didáctica?	3.4
¿Qué tanto las actividades le permitieron profundizar en el conocimiento del tema?	3.7
¿Qué tan comprensible es la unidad didáctica?	3.3
¿Qué tanto la presentación del contexto histórico le permitió comprender el tema de mejor manera?	3.4
¿Qué tanto le ayudaron los videos de internet para resolver las actividades?	3.0
¿Qué tanto considera que su conocimiento químico sobre el tema mejoró en comparación al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?	3.0
¿Qué tan familiar le es el vocabulario utilizado en la unidad didáctica?	3.8
¿Qué tanto considera que su conocimiento acerca de la historia de la química sobre el tema mejoró al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?	3.6
¿Qué tan agradable le es el diseño de la unidad didáctica?	3.3

A continuación se muestran los resultados del diferencial semántico de Osgood, separando las tres dimensiones o ejes propuestos por Osgood. En esta escala se dan valores de 1 a 7, siendo el 1 el valor más bajo:

ADJETIVOS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
EVALUACIÓN		
BUENO/MALO	6.3	0.716
ÚTIL/INÚTIL	6.6	0.759
AGRADABLE/DESAGRADABLE	6.4	0.883
FAVORABLE/DESFAVORABLE	6.2	0.745
ACTIVIDAD		
ACTIVO/PASIVO	4.6	1.273
EXCITANTE/ABURRIDO	5.6	0.598
FÁCIL/DIFÍCIL	6.0	0.999
RÁPIDO/LENTO	5.2	1.226
POTENCIA		
FUERTE/DÉBIL	4.9	0.933
PODEROSO/IMPOTENTE	5.0	1.191
PROFUNDO/SUPERFICIAL	5.0	1.522
CIENTÍFICO/ARTÍSTICO	5.1	0.945

Si se observa, el promedio de cada par de adjetivos se mantiene por arriba de la mitad. A pesar de la desviación estándar de algunos pares de adjetivos, este valor no es lo suficientemente grande para que los valores sean menores a 4 (punto medio del diferencial semántico).

El eje más importante es la “evaluación” ya que permite observar la aceptación por parte de los evaluadores de la unidad didáctica. En este caso los evaluadores fueron los estudiantes. Del total máximo de 7 puntos, el promedio de la evaluación es de 6.4 con una desviación estándar de 0.171, es decir, la evaluación se encuentra entre los valores de 6.3 y 6.5.

El siguiente eje a analizar es la “potencia” que dice con qué certeza los evaluadores le dieron los valores al eje de la evaluación. El promedio es de 5.4 con una desviación estándar de 0.597, es decir, la potencia se encuentra entre los valores de 5.1 y 5.7.

El eje de la “actividad” es el eje más ambiguo, y se relaciona con la actitud con la que los evaluadores validaron la unidad didáctica. El promedio es de 5.0 con una desviación estándar de 0.082, es decir, la actividad se encuentra entre los valores de 4.9 y 5.0.

Por último, se muestra a continuación la recopilación de los comentarios a algunas preguntas relacionadas con la escala de Likert:

¿Qué tanto las actividades le permitieron profundizar en el conocimiento del tema? ¿Por qué?

Mucho: 4, Igual que la lectura: 3, Poco: 2, Nada: 1.

A1, 3: Las actividades que se realizaron sólo fueron como actividades que me permitían saber si entendí o no el tema de la lectura.

A2, 3: Se reafirmaban los temas tratados en la lectura aunque a veces tenía el conocimiento de otros temas por el comentario que se les hacía a las lecturas.

A3, 4: Porque me obligaron a utilizar los conocimientos proporcionados previamente.

A4, 3: Son conceptos ya conocidos sin dificultad extra técnica y conceptual.

A5, 4: Es más fácil involucrarnos en el tema mediante los ejercicios que limitándonos al texto, pues nos permite acercarnos a las ideas originales y por encima de todo, nos obliga a intentar entenderles.

A6, 3: Para realizar las actividades sólo existía la lectura como apoyo, además de los conocimientos previos.

A7, 3: Más que profundizar, ayudaron a reflexionar sobre el tema visto durante la lectura, nos ayudó a comprender mejor.

A8, 3: El contenido de ambos se parecía en mucho, tenía mucha similitud, aunque si se hacía alguna profundización del tema en las actividades.

A9, 4: Contempla lo que se ha leído y se puede poner a la práctica el conocimiento adquirido y resolución de ciertas dudas.

A10, 4: Las actividades te obligan a revisar las teorías que estaban vigentes en ese momento y verificar la validez y errores de las mismas, de manera clara, más allá de lo que cualquier texto pueda platicar.

A11, 4: Es diferente leerlo, que aplicarlo. Como en lo de Dalton, quedó mucho más claro el concepto al hacer la actividad.

A12, 4: Porque la discusión con los compañeros amplía el panorama.

A13, 4: La lectura mostraba las bases teóricas que las actividades dilucidaban al poner en práctica y con los fundamentos químicos que se mostraban en la lectura para realizar ejercicios sobre lo que se mostraba y ejemplificaba.

A14, 4: Porque al leer sentí que comprendí los temas, pero al hacer las actividades resolví dudas inexploradas que aún tenía.

A15, 4: Ayudaron a entender mejor las ideas y la forma en que abordaban los problemas, así como aplicar conocimientos previos de química.

A16, 4: Porque tiene mucha relación, sin embargo las actividades me ayudaron a entender el tipo.

A17, 4: Porque permite ver los aportes de esta Revolución Química en contextos humano-científicos que comúnmente no son asociados a la química.

A18, 4: Ya que se expresan ejemplos, no basta con la teoría, se necesitan actividades que relacionen y apliquen la nueva enseñanza.

A19, 4: Se ponía en práctica el conocimiento adquirido a partir de la lectura.

A20, 4: Porque al realizar un problema uno se da cuenta si se logró o no entender el tema y ve las dudas que se tienen.

¿Qué tanto la presentación del contexto histórico le permitió comprender el tema de mejor manera?

Mucho: 4, Adecuadamente: 3, Poco: 2, Nada: 1.

A1, 3: Permite entender bajo qué situación mundial se produce cierto avance.

A2, 3: Si se hacía mención de los interrogantes que se tenían en esa época y del porque de sus investigaciones y las deducciones a las que llegaron mediante la observación.

A3, 3: Me ayudó a entender la clase de problemas que tenían que resolver.

A4, 4: Todo lo relacionado con las actividades venía presente en la lectura, aunando el conocimiento previo antes visto.

A5, 4: Porque sin el contexto histórico es imposible comprender la motivación de los cambios y las teorías anteriores; sin considerar la época de la que provienen, las teorías resultan absurdas y sin sentido.

A6, 3: Ayudó a relacionar conceptos de acuerdo con el contexto histórico.

A7, 3: Porque nos dimos cuenta bajo que circunstancias se desarrollaron los descubrimientos y el impacto que tuvieron en su época.

A8, 3: Hay una relación muy amplia entre el contexto histórico con el tema.

A9, 3: Aún hizo falta explicar otros detalles ya que de ahí fue donde las dudas entraron.

A10, 3: El contexto político y económico del mundo es de ayuda para entender que no asistieran químicos de América al congreso, además de que eran tiempos de innovación dadas las revoluciones industriales.

A11, 3: Pues no dice tanto contexto histórico, sólo te da la idea de que pues en que siglo y así relacionar que herramientas tenían o la rivalidad entre países.

A12, 4: Porque ayuda a resaltar esos asuntos “evidentes” que nosotros damos por hecho que siempre existieron y realmente no siempre fue así.

A13, 4: Fue la cultura y desarrollo en la humanidad de la Química la que permitió aprender del contexto bajo el cual se desarrolla la química tal como hoy es y se desenvuelve.

A14, 4: Porque al conocer los recursos y limitaciones que tenían los científicos a la hora de hacer sus descubrimientos se vuelve más sólida la estructura de los conocimientos cuales fueron primero y cuales tuvieron que esperar a nuevos enfoques o técnicas más elaboradas. Saber CÓMO se hizo conocimiento ayuda a saber cómo hacer nuevo conocimiento.

A15, 4: Ayuda a entender mejor las circunstancias que acontecieron a los científicos así como a comprender la importancia de los factores sociales e históricos en el desarrollo de la ciencia.

A16, 4: Me dio una explicación cronológica de las intervenciones de cada científico.

A17, 3: Porque mencionaba el tema en cuestión y posteriormente se mencionaba una biografía concreta y consiente de algunos personajes.

A18, 3: Ya que nos reditúa en un tiempo y espacios saber lo que acontecía permite entender porque se pensó en esa solución y si no es correcta manifiesta posibles cuestiones y soluciones.

A19, 3: Al saber el conocimiento con el que se contaba en esa época nos dábamos cuenta de las limitaciones y del porque de sus fallas.

A20, 3: Porque uno utiliza los conocimientos enseñados que no dependen del contexto histórico.

¿Qué tanto considera que su conocimiento químico sobre el tema mejoró en comparación al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?

Mucho: 4, Aumentó: 3, Poco: 2, Nada: 1.

A1, 2: El conocimiento que ya tenía fue el que tuve que aplicar para contestar las actividades, algunas fueron más de aplicar razonamiento y no conocimiento químico.

A2, 4: Explica de una manera breve y concisa los personajes y resultados a los que los llevó sus investigaciones.

A3, 3: Mejoró porque al tomar en cuenta la Historia los ejercicios tuvieron un significado químico, cuando antes sólo eran ejercicios.

A4, 3: Francamente no tenía mucho conocimiento sobre la historia de la química y el contexto de cada etapa o revoluciones químicas que se dieron y esta lectura como muchas otras me han ayudado a la comprensión de esta “historia de la Química”.

A5, 3: Porque había una cierta cantidad de detalles que comúnmente no se nos enseñan y que resulta útil aprender.

A6, 3: Contenía conceptos que no habían sido utilizados por mí hacía algún tiempo y sirvió como repaso, aunque fueran una forma superficial. El contenido histórico me pareció más importante en este caso.

A7, 3: Porque las actividades permitieron adentrar más en el tema, reflexionar y hacer ejercicios sobre el tema.

A8, 4: Algunas cosas no las sabía, ni enterado.

A9, 3: Ayudó a tomar en cuenta otros factores para realizar las operaciones o ideas necesarias.

A10, 3: Las actividades exponen las debilidades del modelo de Dalton y el de “tipos” al tratar de usarlos en compuestos actualmente conocidos.

A11, 3: No sabía bien la teoría de Dalton, no como fue que se dio la “modificación” de la química con el congreso.

A12, 2: Porque más que aumentar el conocimiento nos ayuda a diferenciar con más claridad, nos evidencia. La información resalta la idea general haciéndola más familiar a nosotros.

A13, 3: La enseñanza de la historia de la Química fue fundamental para entender porque es como se desarrolla la ciencia en la actualidad.

A14, 3: Porque reforcé muy fuertemente bases que tenía tiempo no estudiar y entendí como realmente se iban descubriendo los “secretos” de la materia. Un enfoque más real (en el contexto de recursos disponibles para resolver problemas) permite conocer más plenamente las bases de la teoría.

A15, 2: Es un poco elemental así que realmente no aprendí cosas nuevas en el sentido químico. Lo que aprendí fueron los contextos y que la historia en que se dieron los avances de la química.

A16, 4: Porque me dio una perspectiva relacionada de la historia de la química.

A17, 4: Porque descubrí cosas nuevas sobre los autores de aportaciones a la química y sobre sus vidas y mejoras científicas.

A18, 3: Lo que aumentó fue la cuestión de la historia, me ayuda a comprender el porqué se tuvieron esas soluciones, me da origen a lo que conozco y me ayuda a no olvidar y aplicar mejor.

A19, 3: Eran temas que ya se habían revisado con anterioridad en otros cursos, pero no se había abordado con tal profundidad.

A20, 2: Porque son cosas que se enseñan a lo largo de la carrera, pero hay ciertas cosas como la teoría de los tipos que no se enseña.

¿Qué tanto considera que su conocimiento acerca de la historia de la química sobre el tema mejoró al que tenía antes de utilizar la unidad didáctica?

Mucho: 4, Mejoró: 3, Poco: 2, Nada: 1.

A1, 3: Conocí aspectos históricos de ciertas teorías que aún son utilizadas y de como éstas fueron desplazadas.

A2, 3: Tengo que seguir documentándome y reafirmar el conocimiento que obtuve de la lectura de la historia de la química

A3, 4: Porque debí esforzarme por entender los modelos químicos utilizados antes, de esta forma noté cuanto ha cambiado la forma de entender la química.

A4, 4: Por el aprendizaje de conocimientos históricos e importantes relacionados con la química que antes no había abordado.

A5, 3: Mejoró bastante dado que ayudó a clarificar muchos conceptos que comúnmente damos por sentado y no comprendemos su origen en realidad.

A6, 3: Sirvió como refuerzo a conocimientos ya adquiridos y contenía información nueva para mí.

A7, 4: Realmente no sabía bajo que contexto se realizaron esos descubrimientos.

A8, 3: Ni idea de algunas cosas en la historia de la química (No las sabía).

A9, 4: Se tenía en cuenta el tipo de vida (social, económico, cultural, etc.) de aquel tiempo para más o menos comprender a los creadores de estas teorías.

A10, 4: Muchos de los datos no los conocía, además de que los recuadros con información bibliográfica ayudan a conocer la trayectoria del científico para darse una idea (aunque vaga) de sus habilidades y quizás personalidad.

A11, 3: La mayoría lo vimos en clase u otras, lo que más me aportó fueron las biografías.

A12, 3: Porque hay muchos datos que implican más cosas de las que nos muestran, es un texto muy sintetizado, considero que para explotarlo aún más es necesario desmenuzarlo.

A13, 4: Los detalles históricos bajo las que se desarrollaron los principios que hoy estudiamos y la explicación de cómo surgen las teorías y como los personajes de la Química, hicieron y formaron el pensamiento que hoy se consolida.

A14, 4: Mucho, porque antes no sabía nada. Sólo sabía (y muy poco) de la existencia de Lavoisier y no tenía ni idea de en qué siglo había vivido.

A15, 4: Porque en muchos ejercicios, se aporta información histórica y eso ayuda a comprender mejor el desarrollo de la química.

A16, 4: Mucho, ya que lo entendí. Prácticamente me ayudó a ver como veían la química los científicos de esa época.

A17, 4: Porque la pasa del modelo rígido de: “todo ya está hecho”, y de hecho a una visión humanista y de progreso con altos y bajos.

A18, 4: Porque realmente durante el paso en la enseñanza de la Química no se utiliza la historia, sólo te enseñan lo que es, un porque lógico y frívolo, dejando atrás la bella historia y filosofía que lo acompaña.

A19, 3: Se comprendió el porqué de los descubrimientos o de teorías propuestas, simbología, etc. Y cómo se veían limitados por el contexto en el que se desarrollaban.

A20, 4: Porque casi ***** se enseña utilizando los contextos históricos de la química y por eso *i conocimientos esa época. (Nota: en este caso se utilizan asteriscos ya que la letra de la persona que escribió es ilegible).

De los comentarios hechos por los estudiantes al momento de validar la Unidad Didáctica, se subrayaron aquellos que de alguna manera cumplieron los objetivos que se plantearon desde que se diseñó la Unidad Didáctica. Otros comentarios ayudaron a mejorar la versión posterior de la Unidad Didáctica, las modificaciones se muestran al final de este capítulo.

5.4.- Evaluación

Como ya se mencionó en la sección 3.8, la evaluación es importante para que el estudiante conozca sobre su propio aprendizaje. A continuación se muestran los resultados de evaluación comparando el valor obtenido al momento de la calificación con la autoevaluación de cada equipo, se utilizó la misma muestra de la validación (sección 5.3):

AUTOEVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
10	10
10	10
9.5	8.6
9.0	7.1
6.7	5.2
9.5	4.3
9.5	3.8

Si se observa, los primeros dos equipos coincide su autoevaluación con la calificación obtenida. Sin embargo los últimos dos equipos no coincide la autoevaluación con la calificación obtenida, esto tal vez se debe a que al saber que iban a ser evaluados, quisieron aumentar su calificación estando conscientes de que no estudiaron.

Por otro lado, observando con atención las opiniones de los estudiantes en la sección 5.3, cuando se les preguntó: “¿Qué tanto las actividades le permitieron profundizar en el conocimiento del tema?”, sus respuestas indican que se dieron cuenta que aprendieron cosas nuevas, a continuación cito algunas: *“Es más fácil involucrarnos en el tema mediante los ejercicios [...] nos obliga a intentar entenderles”, “Las actividades te obligan a revisar las teorías [...] de manera más clara”, “[...] al hacer las actividades resolví dudas inexploradas que aún tenía” y “Porque al realizar un problema uno se da cuenta si se logró o no entender el tema [...]”.*

También las opiniones acerca de la utilización del contexto histórico comprueba que el contexto ayuda a simplificar el contenido de los conocimientos (ver sección 3.3). A continuación cito algunos comentarios: *“Porque sin el contexto histórico es imposible comprender la motivación de los cambios [...] resultando teorías absurdas y sin sentido” y*

“Porque al conocer los recursos y limitaciones que tenían los científicos a la hora de hacer sus descubrimientos se vuelve más sólida la estructura de los conocimientos”.

5.5.- Correcciones a la Unidad Didáctica:

Como primer cambio al material didáctico, se decidió explicar más acerca de los cambios experimentales que se llevaron a cabo en este periodo; pues las revoluciones científicas también se manifiestan en la manera de trabajar de los científicos. Así que al tercer capítulo se le agregó la sección llamada “La revolución experimental” que se encuentra a continuación:

La revolución experimental

Aunque Kuhn propone que las revoluciones científicas se dan sólo en un cambio de paradigmas teóricos, se consideró que hay que tomar en cuenta las modificaciones en la forma de trabajar de un científico (esta propuesta se encuentra en Chamizo, 2011). Por ejemplo, en el caso de la química encontramos la utilización de los laboratorios para la enseñanza, propuestos por Von Liebig.

Sin lugar a dudas, la química es una ciencia en donde la experimentación es muy importante y en este periodo de tiempo se notaron cambios importantes en la forma de trabajar. Pero no sólo eso, sino que gracias a estos cambios se descubrieron técnicas y compuestos que marcaron la historia del ser humano.

Justus Von Liebig (1803-1873)

(Alonso, 2010)



Nació en Darmstadt el 12 de mayo de 1803 y falleció en Munich el 18 de abril de 1873 (Ambos lugares en Alemania). Uno de sus trabajos mas significativos fue el descubrimiento del isomerismo (junto con F. Whöler y L. Gay-Lussac),

es decir, que existen compuestos distintos con la misma fórmula molecular. También realizó diversos estudios químicos relacionados con la agricultura, popularizando la Ley del Mínimo enunciada antes por Carl Sprengel (1787-1859), la cual menciona que por más cantidad de fertilizante que se le agregue a una cosecha, ésta llegará a un límite en su crecimiento. Pero uno de sus más grandes aportes lo realizó como docente, ya que propuso el uso de laboratorios para la educación, cuestión que actualmente es muy normal en el estudio de cualquier carrera del área química.

Desde pequeño tuvo influencia de la química ya que su padre trabajaba con sales y pigmentos, debido a esto; J. Von Liebig realizó experimentos químicos como aficionado. Posteriormente a los 15 años de edad entró a trabajar como aprendiz de boticario pero no se rindió hasta entrar a la Universidad de Bonn en 1820, en esta época la

química era una materia meramente especulativa, así que él siguió formándose de manera autodidacta fundando y presidiendo la Sociedad de Ciencia Natural.

Después con ayuda del químico francés Louis-Jacques Thénard (1777-1857), J. Von Liebig fue admitido en un laboratorio privado dándole la oportunidad de realizar numerosos experimentos que reportó a la Academia Francesa el 22 de marzo de 1824, sus progresos habían sido tan sorprendentes que dos días después con la edad de tan sólo veintiún años fue nombrado profesor extraordinario de la Universidad de Giessen (Alemania), lo cual era poco común, ya que este tipo de nombramiento nunca se le había dado a un científico tan joven.

Posteriormente en 1840 Liebig se interesó en gran parte por la agricultura realizando importantes descubrimientos en el uso de fertilizantes, también fabricó un extracto de carne conocido como “extracto de Liebig” el cuál contaba con todos los nutrientes necesarios para una comida completa y se podía fácilmente disolver en agua para hacer una sopa.

Al final de sus días Liebig se dio a conocer por contraponerse a la hipótesis de L. Pasteur acerca de la importancia que tenían los microorganismos en la fermentación y por aceptar la teoría atómica de J. Dalton.

3.4.1 Espectroscopia

El primer problema para la asignación de los pesos atómicos consintió en la identificación de las sustancias elementales, varias de éstas ya se conocían desde la antigüedad; por ejemplo: oro, plata, estaño, cobre, plomo y mercurio. Otras se descubrieron por medio de reacciones químicas como el hidrógeno o el fósforo. Y otros elementos más por electrólisis; como el sodio o el potasio. Ya para mediados del siglo XIX se conocían cerca de 58 elementos químicos distintos pero ¿serían todos los que existían o habría más?

En este trabajo destacó la colaboración de dos científicos alemanes: Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) y Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), ver **figura 10**. En una ocasión en que observaban un incendio en el puerto de Hamburgo, se les ocurrió pasar la luz emitida a través de un prisma y

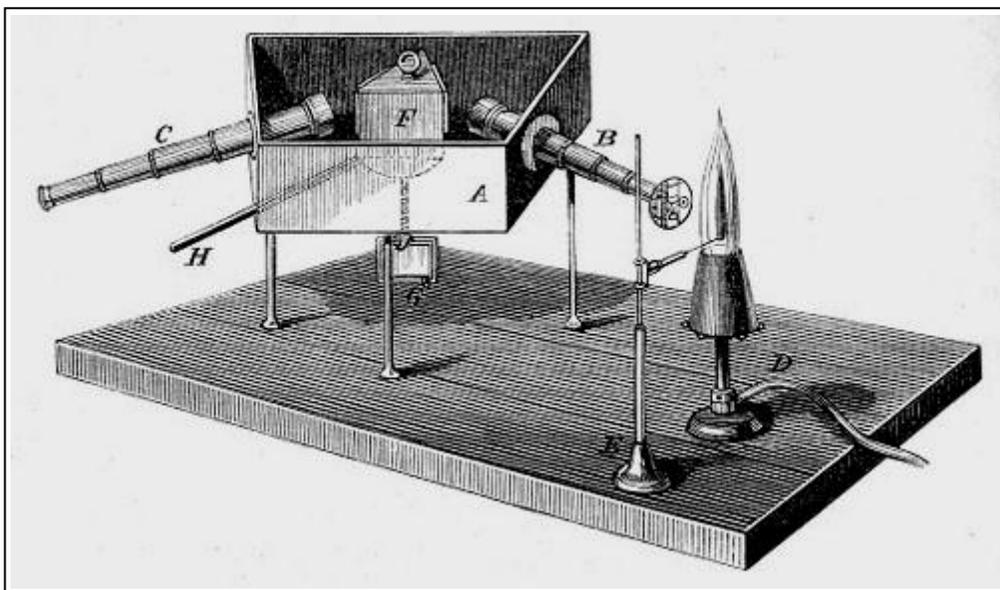
Figura 10: Fotografía de G. Kirchhoff (izquierda) y R. Bunsen (derecha) (Costello y Thacker, 2011)



observaron una coloración amarilla similar al color que tomaba una flama cuando se quemaba sodio; la respuesta: se estaba quemando una fábrica de salazones^[15]. Con esto concluyeron que se podían identificar sustancias elementales en diversos compuestos.

Posteriormente decidieron inventar un instrumento que les permitiera observar los espectros de luz de distintos compuestos, a este aparato lo nombraron *espectroscopio*, con el cual podían observar los diversos espectros de distintos elementos. Éste consistía en una caja cerrada y elevada (A) que contenía un prisma (F) que podía ser controlado por una palanca (H) y un contrapeso (G) lo mantenía en su lugar. A su vez, unidos a la caja había dos telescopios, en uno se colocaba el observador (C) y el otro (B) se ubicaba a la vista de la llama provocada por el mechero inventado por Bunsen (D). Por último, la muestra se instalaba en una aguja sostenida por un soporte (E), para que fuese quemada. (ver **figura 11**). Para quemar las sustancias necesitaron también inventar su propio mechero, ya que la temperatura que alcanzaba el mechero de alcohol que era utilizado en la época no era suficiente para quemar algunos compuestos. Bunsen propuso la utilización de gases como metano, propano o butano para quemar las sustancias, ya que éste alcanzaba una mayor temperatura que el mechero de alcohol; su diseño consistió en un tubo metálico por el cual pasa el gas hacia la parte superior creando una flama constante y de alta temperatura, actualmente éste se sigue utilizando en los laboratorios de enseñanza y lleva el nombre de su inventor.

Figura 11: Espectroscopio de Kirchhoff y Bunsen.
(Bunsen y Kirchhoff, 1860)



(Ver **Actividad 7:** La llama espectroscópica).

Gracias al invento del espectroscopio, Kirchhoff y Bunsen lograron descubrir en ese mismo año dos elementos nuevos: el cesio y el rubidio. Posteriormente con su invento otros químicos lograron descubrir más elementos distintos.

3.4.2 Industria explosiva (Nobel prize org, 1996)

A principios del siglo XIX el explosivo por excelencia era la pólvora: mezcla de carbono, azufre y salitre cuyo secreto fue guardado por mucho tiempo por los alquimistas chinos hasta que en 1200 fue llevada a Europa por los árabes y los bizantinos. Las aplicaciones para la pólvora tenían en principio fines bélicos, aunque también era utilizada para los juegos pirotécnicos.

Durante el año de 1847, el químico italiano Ascanio Sobrero (1812-1888) había descubierto en Turín una sustancia mucho más poderosa que la pólvora, sin embargo; era igual de inestable y difícil de manipular. A esta sustancia la llamó *piroglicerina* (después su nombre sería el de “nitroglicerina”).

Posteriormente el químico ruso Nikolai Zinin (1812-1880) demostró la fuerza de la sustancia descubierta por Sobrero vertiendo algunas gotas de ésta sobre un yunque y golpeándola fuertemente con un martillo, lo que produjo una fuerte detonación. Y eso que, lo que estalló, fue sólo la parte del líquido que estuvo en contacto con el martillo; el resto no se vio afectado. Los problemas eran de dos tipos: por una parte, era peligroso producir la sustancia, ya que, si la temperatura era demasiado alta, explotaba toda la dosis; por otra, una vez producida, era igual de peligroso hacerla estallar en condiciones controladas.

Sobrero era alumno de un reconocido químico de la época: el francés Jules Pelouze (1807-1867), quien tiempo antes había estado investigando sobre explosivos como el algodón de pólvora (actualmente conocido como nitrocelulosa). De entre los alumnos de Pelouze, había un joven en especial que se interesó ampliamente por las propiedades explosivas de las sustancias; el sueco Alfred Nobel (1833-1896).

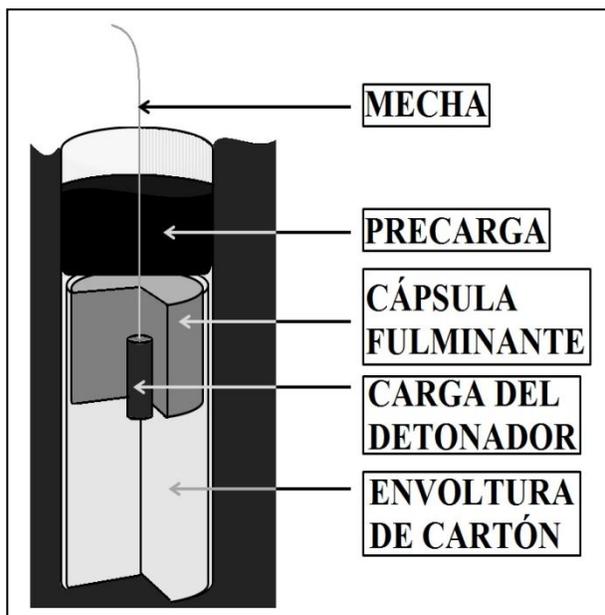


Figura 12: Modelo que representa el detonador diseñado por Alfred Nobel.

Nobel repitió los experimentos de Sobrero con grandes cantidades de nitroglicerina sin que ocurriera ningún accidente. Después vertió la nitroglicerina en un tarro de vidrio el cual puso en un bote con pólvora negra, encendiéndola luego con una mecha ordinaria; inventándose una forma primitiva de detonador. Con ayuda de su padre consiguió la patente para el nuevo compuesto en 1863 y lo bautizó “aceite explosivo”, posteriormente consiguió más patentes relacionadas a la producción y la utilización de la nitroglicerina. Cabe destacar que para la utilización de ésta,

inventó un detonador que consistía en un taco hueco de madera que se llenaba de pólvora negra, éste fue mejorado después cambiando el taco de madera por un casquillo de metal. El invento de su detonador, el cual él llamó “cápsula fulminante” constituyó una revolución en la técnica de la manipulación de explosivos (ver **figura 12**).

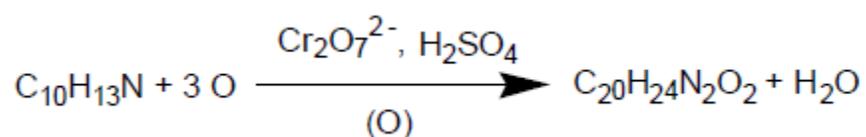
Sin embargo, a pesar de los avances en el manejo de la nitroglicerina, observó que era muy difícil transportarla y almacenarla, resultado de que varias ocasiones sus fábricas de explosivos se incendiaban por la inestabilidad de este aceite. Tratando de resolver el problema buscó un material poroso que pudiera absorber la sustancia. Tras varios intentos con carbón vegetal, serrín y cemento; encontró lo que buscaba en las landas alemanas: la tierra de diatomeas. Cuando Nobel hizo que la nitroglicerina fuera absorbida por la tierra se formaba una pasta amasable, a la cual se le podía dar forma de barras. Éstas se podían meter con facilidad en el agujero taladrado, ser transportadas, sometidas a golpes e incluso se les podía exponer al fuego sin que ocurriera ninguna explosión. Era el detonador el que hacía explotar la masa. La desventaja de este nuevo invento era que disminuía la fuerza explosiva de la nitroglicerina. Nobel llamó a esta invención dinamita, por el vocablo griego “*dynamis*” que significa “fuerza”.

Este invento rápidamente se utilizó para grandes proyectos que necesitaban explosiones como la instalación de ferrocarriles, puentes, puertos, minas y sobretodo túneles. La dinamita provocó un notable avance en la tecnología de la humanidad.

3.4.2 Fabricación de tintes (Holme, 2006)

Después del descubrimiento de la urea por F. Whöler en 1828, la investigación de síntesis de compuestos orgánicos aumentó. Así pues, la quinina que era la única cura conocida en ese tiempo para la malaria; estaba siendo investigada por el químico alemán August Wilhelm von Hofmann (1818-1892) ya que la medicina se extraía de la corteza de un árbol conocido como quino, originario de Suramérica y de éste se obtenía muy poca cantidad además de la escasez del árbol.

En ese entonces un joven inglés era estudiante de Hofmann, su nombre era William Henry Perkin (1838-1907) y por órdenes de su maestro quiso sintetizar la quinina ($C_{20}H_{24}N_2O_2$) a partir de la oxidación de la aliltoluidina ($C_{10}H_{13}N$), cuya propuesta de síntesis era la siguiente reacción^[16]:



Después de la reacción, W. Perkin lo único que obtuvo fue un precipitado café. Pero no se dio por vencido para buscar la manera de sintetizar la quinina, así que un día mientras su maestro se encontraba de viaje; decidió experimentar oxidando el sulfato de anilina con dicromato de potasio, lo que obtuvo ahora fue un precipitado de color negro. Cuando W. Perkin agregó metanol, posiblemente para lavarlo; notó que el líquido se coloreaba de un curioso color púrpura. Tras esto, W. Perkin concluyó que ese compuesto se podría utilizar

como un tinte ^[17]. Para esto, coloreó un pedazo de seda con este color y lo envió a la casa de tintes “Pullar & Son” que aprobaron el uso de este atractivo tinte.

En 1857 fue aprobada la patente de este nuevo tinte conocido como “mauva”, “mauveina” o anilina púrpura. La mauveina tuvo gran éxito ya que los únicos tintes conocidos hasta la época se extraían de fuentes naturales de países como India (color azul de la planta de índigo) o México (color carmesí de la grana cochinilla) resultando costosos y por lo tanto de uso exclusivo de los monarcas.

En parte el éxito de la mauva se debió a que fue el color preferido por la emperatriz Eugenia, esposa de Napoleón III de Francia, así que las damas querían imitar vestidos con ese color.

Posteriormente al éxito de la anilina púrpura, se descubrieron más colorantes con el paso de los años, abriendo una nueva rama de investigación en la química orgánica además del éxito de la industria química, olvidando los quehaceres químicos de antaño en donde los descubrimientos no tenían una aplicación aparente.

Otro cambio que se realizó fue agregarle textos originales traducidos al español. Estos textos ayudan a una mejor comprensión del tema ya que explican como surgieron algunas nuevas teorías que aún son utilizadas:

5 Textos originales

Debido a que esta unidad didáctica tiene un contexto histórico, se consideró importante poner fragmentos significativos de textos originales escritos por los principales representantes de la Segunda Revolución Química ya que complementan el aprendizaje.

5.1 Estudio de los compuestos aromáticos (August Kekulé)

El siguiente extracto fue tomado del artículo original de A. Kekulé en donde propone la estructura del benceno: Annalen der Chemien, 137:129-196 (1865).

La teoría de la atomicidad^[18] de los elementos, especialmente en el conocimiento del carbono como un elemento tetratómico^[19], hizo posible que en los últimos años una explicación satisfactoria para entender la constitución atomística^[20] de varios compuestos de carbono, particularmente aquellos que nombré *cuerpos grasos*^[21]. Hasta ahora, en lo que tengo conocimiento, nadie ha intentado aplicar estas reglas a los compuestos aromáticos. Cuando desarrollé mis puntos de vista acerca de la naturaleza tetratómica del carbono hace siete años, indiqué en una nota que ya me había hecho una opinión en este tema, pero no lo había considerado apropiado para desarrollar la idea. Varios químicos que escribieron las cuestiones teóricas dejaron el tema sin tocarlo; algunos dijeron directamente que la composición de los compuestos aromáticos no se podía explicar con la teoría de la atomicidad; otros asumieron la existencia de un grupo hexatómico formado por seis átomos de carbono, pero no encontraron el método de combinación de estos

átomos de carbono, sin dar las condiciones bajo las cuales este grupo podría tener seis monoátomos.

Considerando la constitución atómicista de los compuestos aromáticos es necesario tomar en cuenta los siguientes hechos:

- 1.- Todos los compuestos aromáticos, desde el más simple, son proporcionalmente más ricos en carbono que sus compuestos análogos en los cuerpos grasos.
- 2.- En los compuestos aromáticos, al igual que en los cuerpos grasos; hay un sinnúmero de sustancias homólogas. Por ejemplo: aquellas que su composición distinta puede ser expresada por $n\text{CH}_2$.
- 3.- El compuesto aromático más simple contiene seis átomos de carbono.
- 4.- Todos los productos alterados de las sustancias aromáticas muestran una similitud familiar, así que colectivamente se les puede llamar el grupo de los "compuestos aromáticos". Es cierto que en reacciones más fuertes una parte del carbono siempre es eliminada, pero los productos resultantes contienen seis átomos de carbono (benceno, quinona, cloranil, ácido carbólico, ácido hidrofénico, ácido pícrico, etc.) La descomposición se detiene cuando la formación de estos productos destruye completamente el grupo orgánico donde ocurre la reacción.

Estos hechos nos conducen a la conclusión de que las sustancias aromáticas contienen el mismo grupo atómico, o si lo desean, un núcleo común que consiste en seis átomos de carbono. Dentro de este núcleo los átomos de carbono están en una combinación cerrada o en un arreglo compacto. A este núcleo se le pueden agregar más átomos de carbono siguiendo las mismas leyes acordes a los cuerpos grasos.

Lo siguiente es considerar la constitución atómica de este núcleo. Ahora esto es fácil siguiendo la hipótesis de que el carbono es tetratómico, explicado de una manera sencilla que el desarrollo es apenas necesario.

Si algunos átomos de carbono se pueden uno con otro, entonces sucede que una unidad de afinidad de un átomo de carbono puede enlazar a otra unidad de su átomo vecino. Como mostré anteriormente, esto explica la homología y la constitución general de los cuerpos grasos.

Ahora, asumiendo que los átomos están unidos unos con otros, también pueden enlazarse tomando una y dos unidades de afinidad de manera alternada. Como se muestran en los siguientes periodos:

1/1, 1/1, 1/1, 1/1, etc.

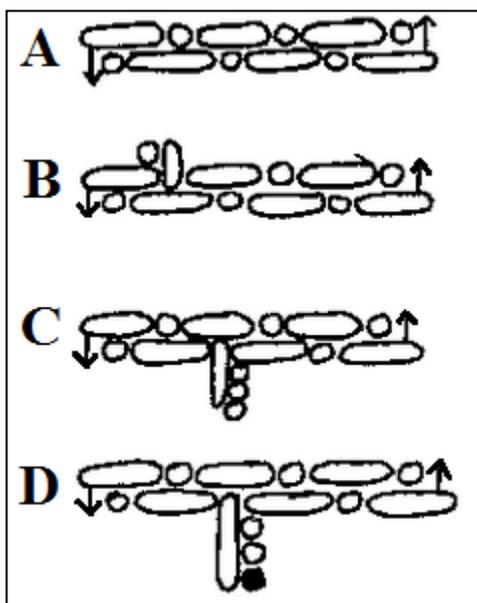
1/1, 2/2, 1/1, 2/2, etc.

El primer periodo (primera ley de simetría) explica la constitución de los cuerpos grasos y la segunda explica la constitución de las sustancias aromáticas, con el núcleo común a todas estas sustancias.

Si se acepta que seis carbonos están unidos de acuerdo a esta ley de simetría, el grupo resultante se considera de *cadena abierta* que contiene ocho unidades de afinidad no

saturadas. En la otra hipótesis, donde los dos átomos de carbono que finalizan la cadena están unidos entre sí, entonces se obtiene una *cadena cerrada* (anillo simétrico) que contiene seis unidades de afinidad libres^[22].

Figura 20: Modelo molecular de A. Kekulé sobre la "cadena cerrada"



Para esta *cadena cerrada*, todas las sustancias que la contengan pueden ser llamados *compuestos aromáticos*. En cambio la *cadena abierta* se encuentra en la quinona, cloroanil, y algunas sustancias en relación con ambos. Hay que considerar que estos cuerpos tienen similitud con las sustancias aromáticas, pero no pueden ser agrupadas con los compuestos aromáticos.

En todas las sustancias aromáticas siempre debe estar el núcleo común de cadena cerrada C_6A_6 (En donde A representa las afinidades insaturadas o unidades de afinidad).

Las seis unidades de afinidad de este núcleo pueden ser saturadas por seis elementos monoatómicos. Que a su vez pueden estar saturados por afinidad con un elemento poliatómico, pero este último puede unirse a otros átomos y se produce una *cadena lateral* con otros elementos.

La saturación de dos unidades de afinidad del núcleo de un átomo de un elemento diatómico o la saturación por tres unidades de afinidad no es posible en esta teoría. Compuestos como C_6H_4O , C_6H_4S , C_6H_3N son imposibles. Si la composición de estos cuerpos existe y la teoría es correcta; las fórmulas de los dos primeros compuestos debe ser doblada y la última triplicada.

7.2 Curso de filosofía química (Stanislao Cannizzaro)

El siguiente texto fue tomado de una carta que Stanislao Cannizzaro le envió al profesor S. de Luca como esbozo de un curso de filosofía de la química. La carta fue recibida en la Universidad Real de Genua en 1858. Actualmente se encuentra en el volumen VII de "Il Nuovo Cimento" pp. 312-366.

Yo creo que el progreso de lo que ha creado la ciencia en los años recientes confirma la hipótesis de Avogadro, Ampère y Dumas acerca de la constitución similar de sustancias en estado gaseoso; esto es, volúmenes iguales de estas sustancias, ya sean simples o compuestas, contienen el mismo número de moléculas: no así el mismo número de átomos, ya que las moléculas de diferentes sustancias, o de la misma sustancia en diferentes estados, contienen un número distinto de átomos de la misma o diversa naturaleza.

Para convencer a mis estudiantes de lo que investigué, deseo colocarlos en el mismo campo al que yo llegué, el cual es, la exploración histórica de las teorías químicas.

Yo comenzaré entonces en la primera lectura mostrándoles a partir la evaluación de las propiedades físicas de los cuerpos gaseosos, de la ley de Gay-Lussac y la relación volumétrica entre componentes y compuestos; de ahí surge espontáneamente la hipótesis que mencioné anteriormente enunciada por Avogadro, y poco tiempo después por Ampère. Analizando la concepción de estos dos físicos, mostraré que lo que contiene no es contradictorio a los hechos conocidos. Probablemente distinguirán moléculas de átomos sin confundir los términos de número y peso que antiguamente se comparaban con el criterio que sirve para deducir el peso después, para que finalmente haya reparado el prejuicio en sus mentes de que las moléculas consisten en números diferentes de átomos, cuando varias moléculas tienen un solo átomo o el mismo tipo de átomos.

En la segunda lectura me dedicaré a la tarea de investigar porque las hipótesis de Avogadro y Ampère no fueron inmediatamente aceptadas por la mayoría de los químicos. Por consiguiente expondré el trabajo y las ideas de aquellos las relaciones entre la cantidad de reactivos no concierne a su volumen en el estado gaseoso. Después explicaré las ideas de Berzelius, con la influencia de porque la hipótesis arriba citada le pareció a los químicos fuera de armonía con los hechos.

Examiné el orden de las ideas de Berzelius y mostraré como desarrolló y completó la teoría dualística de Lavoisier con su propia hipótesis electroquímica que además fue influenciada por la teoría atómica de Dalton (la cual fue confirmada por los experimentos de Wollaston), él aplicó su teoría y la relacionó con la teoría electroquímica, al mismo tiempo extendió las leyes de Richter y las trató de armonizar con los resultados de Proust. Me queda claro que la razón de porque asumió que los átomos eran cuerpos simples es porque utilizó átomos de un compuesto de primer orden uniéndolos en proporciones simples y porque no aceptó la hipótesis de Avogadro y Ampère, que en ambos casos la conclusión hubiera sido la indicada.

Después mostraré cómo Berzelius, sin poder escapar de sus ideas dualísticas, y todavía deseando explicar las relaciones simples descubiertas por Gay-Lussac entre los

volúmenes de compuestos gaseosos, formuló una hipótesis muy diferente a la de Avogadro y Ampère, nombrando, que volúmenes iguales de sustancias simples en estado gaseoso contienen el mismo número de átomos, que en combinación permanecen intactos; después la densidad de vapor de varias sustancias simples fue determinada, el restringió que sólo las sustancias simples en estado gaseoso eran las que obedecían esta ley. No creía que los átomos compuestos mantenían el mismo orden en estado gaseoso a las mismas condiciones, él suponía que las moléculas de ácido hidrocórico, hidroiódico e hidrobromico, agua e hidrógeno sulfurado contenían la misma cantidad de hidrógeno, las diferencias entre estos compuestos confirma las deducciones de la hipótesis de Avogadro y Ampère.

Concluyo que esta lectura mostrará que hay que distinguir átomos de moléculas par reconciliar todos los resultados experimentales conocidos de Berzelius sin necesidad de asumir ninguna diferencia en la constitución entre permanente y coercible o entre gases simples y compuestos, en contradicción a las propiedades físicas de los fluidos elásticos.

En la tercera lectura hice una revisión de varias investigaciones de físicos en los cuerpos gaseosos y muestro las nuevas investigaciones desde Gay-Lussac hasta Clausius confirmando la hipótesis de Avogadro y Ampère que la distancia entre las moléculas es la mayor en el estado gaseoso, no depende de su naturaleza, ni de la masa, ni del número de átomos que contiene, sólo de la temperatura y la presión a la que están sujetas.

En la cuarta lectura realicé una revisión de las teorías de Berzelius, examinando como Dumas se inclinó a la idea de Ampère, químicos que se ocuparon en determinar los pesos moleculares de los compuestos. Entonces exponiendo en continuación de esto dos métodos distintos el de Berzelius y el de Ampère con Dumas que utilizaron para determinar las fórmulas de compuestos en química inorgánica y orgánica (respectivamente) hasta Laurent y Gerhardt que reconciliaron ambas partes de la ciencia explicando claramente como Iso descubrimientos de Gerhardt, Williamson, Hofmann, Wurtz, Berthelot, Frankland y otros en la constitución de los compuestos orgánicos confirman las hipótesis de Avogadro y Ampère, y como parte de la teoría de Gerhardt corresponde en varios hechos la conexión, pero no la extensión de la teoría de Ampère cuya completa aplicación fue realizada por Dumas.

Demostraré como limitado por un prejuicio, Berzelius frecuentemente distorsionaba los hechos. Ya que él no admitía que las moléculas de una sustancia simple se dividieran en un acto de combinación. Gerhardt supuso que todas las moléculas de las sustancias simples eran divisibles en reacciones químicas. Este prejuicio lo forzó a suponer que la molécula de mercurio y de todos los metales consistían en dos átomos como la de hidrógeno. Este error persistió en la mente de los químicos evitando que descubrieran la existencia de radicales diatómicos perfectamente análogos a los últimos que descubrió Wurtz en la química orgánica.

Con una exploración histórica de las teorías químicas y las investigaciones físicas concluyo que puede haber armonía en todas las ramas de la química aplicando las teorías de Avogadro y Ampère comparando los pesos y el número de moléculas. Y propongo mostrar

las conclusiones derivadas de una invariable concordancia entre las leyes físicas y químicas descubiertas.

A continuación presento los resultados obtenidos de aplicar las teorías de Avogadro y Ampère para la determinación y diferenciación de átomos y moléculas. Además de utilizar los símbolos adecuados para representarlos.

	Símbolos de las moléculas de los elementos y fórmulas de los compuestos. Los símbolos y formulas representan los pesos de volúmenes iguales en estado gaseoso	Símbolos de los átomos de los elementos y su fórmula a partir de los compuestos creados con estos símbolos	Números que expresan sus respectivos pesos
Átomo de hidrógeno	H(1/2)	H	1
Molécula de hidrógeno	H	H ²	2
Átomo de cloro	Cl(1/2)	Cl	35.5
Molécula de cloro	Cl	Cl ²	71
Átomo de bromo	Br(1/2)	Br	80
Molécula de bromo	Br	Br ²	160
Átomo de yodo	I(1/2)	I	127
Molécula de yodo	I	I ²	254
Átomo de mercurio	Hg	Hg	200
Molécula de mercurio	Hg	Hg	200
Molécula Ácido hidroclicóric	H(1/2)Cl(1/2)	HCl	36.5
Molécula Ácido hidrobromic	H(1/2)Br(1/2)	HBr	81
Molécula Ácido hidroyódic	H(1/2)I(1/2)	HI	128
Molécula protocloruro de mercurio	HgCl(1/2)	HgCl	235.5
Molécula protobromuro de mercurio	HgBr(1/2)	HgBr	280
Molécula protoyoduro de mercurio	HgI(1/2)	HgI	327
Molécula Bicloruro de mercurio	HgCl	HgCl ²	271
Molécula Bibromuro de mercurio	HgBr	HgBr ²	360
Molécula Binioduro de mercurio	HgI	HgI ²	454

5.3 Relación de las propiedades de los elementos con sus masas atómicas (Dmitri Mendeleiev)

Fragmento sacado de *Zeitschrift für Chemie* 12 405-6 (1989) de D. Mendelejeff de la editorial *Classical Scientific Papers---Chemistry, Second Series, 1970*; traducido del alemán por Carmen Giunta (<http://web.lemoyne.edu/~giunta/>).

Ordenando los elementos de acuerdo a su peso atómico ascendente en columnas verticales se observa que las columnas horizontales contienen elementos análogos acomodados por peso atómico ascendente, de este arreglo se pueden generar varias conclusiones.

		Ti=50	Zr=90	?=180	
		V=51	Nb=94	Ta=182	
		Cr=52	Mo=96	W=186	
		Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4	
		Fe=56	Ru=104,4	Ir=198	
		Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199	
H=1		Cu=63,4	Ag=108	Hg=200	
	Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	J=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

- 1.- Los elementos dispuestos de acuerdo a sus pesos atómicos, exhiben propiedades periódicas.
- 2.- Los elementos químicamente análogos tienen pesos atómicos similares (Pt, Ir, Os) o el peso incrementa de manera equitativa (K, Rb, Cs).
- 3.- El arreglo de acuerdo a su peso atómico corresponde a la *valencia* del elemento y en cierto grado la diferencia de su comportamiento químico, por ejemplo Li, Be, B, C, N, O, F.
- 4.- Los elementos distribuidos ampliamente en la naturaleza tienen pesos atómicos *pequeños*, y esos elementos están marcados por la distinción de su comportamiento. También hay elementos *representativos* y el más ligero es el H correctamente escogido como el más representativo.
- 5.- La *magnitud* del peso atómico determina las propiedades del elemento. Por consiguiente, en el estudio de compuestos, las cantidades y propiedades de los elementos tienen comportamiento recíproco que se debe tomar en consideración, por el sólo *peso atómico* de los elementos. Así los compuestos de S y Tl, Cl y J, no sólo muestran analogías también algunas asombrosas diferencias.
- 6.- Uno puede predecir el descubrimiento de algunos nuevos elementos, por ejemplo los análogos de Si y Al con pesos atómicos 65-75.
- 7.- Algunos pesos atómicos requieren corrección; por ejemplo Te no puede tener un peso atómico de 128, sino entre 123-126.
- 8.- De la parte superior de la tabla, algunas nuevas analogías entre los elementos se han revelado. Así Bo(?) aparece como un análogo de Bo y Al, esto debe de ser extensamente estudiado por medio de experimentación.

También se agregaron algunas notas acordes a la nueva información agregada:

[15] El salazón es una técnica que se utiliza para conservar alimentos el mayor tiempo posible sin necesidad de refrigeración; hay que recordar que aunque el médico escocés William Cullen (1710-1790) ya había diseñado un método artificial de refrigeración utilizando dietiléter, no fue hasta la década de 1920 que se utilizaron comercialmente aparatos de refrigeración. Así, la salazón es un método en el cual utilizando nitratos y nitritos de sodio se le agrega a los alimentos; provocando deshidratación y muerte de bacterias causantes de la descomposición de los alimentos.

[16] Es importante tomar en cuenta que en aquel entonces no se conocían bien las estructuras químicas de los compuestos orgánicos, así que hacían síntesis de acuerdo a la composición química que tenían los compuestos. Ahorita sabemos por medio de los modelos estructurales que esa síntesis sería imposible.

[17] A este tipo de descubrimientos se les conoce como “serendipia”, es decir; es el descubrimiento de algo que no se estaba buscando. Algunos ejemplos en la historia de la ciencia donde se observó serendipia son el descubrimiento de la penicilina por el científico escocés Alexander Fleming (1881-1955) o el descubrimiento del horno de microondas por el ingeniero estadounidense Percy LeBaron Spencer (1894-1970). [22] Actualmente al término de “atomicidad” se le conoce como “valencia”.

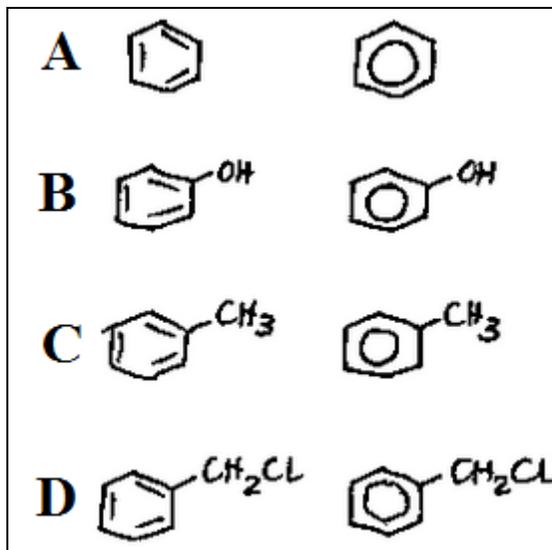
[18] Con “tetratómico” se refiere a que es tetravalente.

[19] La atomística es la idea de que las sustancias estaban compuestas por átomos unidos entre sí, formando una molécula.

[20] Con *cuerpos grasos* se refiere a los alcanos, alquenos, etc. Es decir, todos esos compuestos que actualmente conocemos como alifáticos.

[21] En este punto A. Kekulé se refiere a una tabla en su representación gráfica de las moléculas. La reproducción original de esta tabla no se conoce; pero en la **figura 20** se reproducen los dibujos similares a la concepción que tenían de las moléculas en aquel entonces; los puntos representan las unidades de afinidad, los óvalos a los carbonos y las flechas a la unión entre el primer y el último carbono. En la **figura 21** se puede observar su similitud utilizando los modelos actuales de las moléculas.

Figura 20: Modelos estructurales actuales que representan la "cadena cerrada" de A. Kekulé



Y por último, se modificó la rejilla de evaluación, pues se consideró que no era lo suficientemente descriptiva para que los estudiantes se pudieran autoevaluar y tuvieran un aprendizaje significativo.

De igual manera se creó un canal de Youtube® especial para este material didáctico evitando los problemas que pudieran surgir al momento de buscar los vídeos. Algunos de estos vídeos venían en otro idioma y se les agregó subtítulos para facilitar la comprensión sobre lo que sucedía.

Para las actividades se propone la utilización de un registro de aprendizaje para su evaluación en donde cada actividad puede ser evaluada de 0-3 puntos de acuerdo al aprendizaje adquirido en cada tópico a evaluar (ver **tabla 1**), así como la utilización de un registro de evaluación de la unidad didáctica, la cual consta de un total de 63 puntos (ver **tabla 2**).

Tabla 1: Registro de aprendizaje de cada actividad

Puntos	Historia de la química	Química	Asociación de Hist. Química con química.
0			
1			
2			
3			
Subtotal	/3	/3	/3
		Total	/9

Tabla 2: Registro de aprendizaje de la unidad didáctica

Actividad	Autoevaluación (Puntos)
1 ¿Vanadio o eritronio?	/9
2 Modelando átomos	/9
3 Química gaseosa	/9
4 La nicotina	/9
5 ¿Qué tipo es?	/9
6 Arquitectura molecular	/9
7 Ensayo a la flama	/9
Total	/63

Para las actividades hay un apoyo en internet en el canal:

www.youtube.com/HyFQuimMex2012

CONCLUSIONES

6.- Conclusiones:

6.1.- Sobre el diseño de la Unidad Didáctica:

En definitiva se logró una propuesta coherente y organizada que cumple las intenciones didácticas, las cuales son ayudar a la mejor comprensión de los conceptos sobre la naturaleza corpuscular de la materia, estequiometría y la diferencia entre elementos y compuestos.

Es coherente ya que hay una relación lógica: la cronología de los eventos de la Segunda Relación Química y su relación con los conceptos químicos que se pretendía enseñar. Es organizada porque constituye una historia en capítulos y permite una fácil ubicación de lo que se desea leer por medio del índice y la indicación de las figuras dentro del texto.

6.2.- Sobre la validación de la Unidad Didáctica:

Se logró obtener información suficiente a partir de las herramientas utilizadas (escala de Likert y diferencial semántico de Osgood) para entender que la Unidad Didáctica cumplía un carácter de suficiente y se observa más claramente en las opiniones expresadas por los estudiantes, les resultó agradable, legible, interesante y fácil de entender.

Hay algunas opiniones que no estaban totalmente de acuerdo, éstas ayudarán a mejorar la Unidad Didáctica a futuro. Incluso algunas se aprovecharon para mejorar el material didáctico, como es el caso de los videos de Youtube® que varios estudiantes no los pudieron ver porque el enlace a la fuente no era el correcto, por lo mismo se decidió poner un canal propio.

6.3.- Sobre la evaluación de la Unidad Didáctica:

Se mostró en los resultados obtenidos que la mayoría del grupo supo relacionar el conocimiento adquirido, además de que pudieron conocer que tanto habían aprendido sobre el tema. En algunos equipos no coincidió la evaluación con el resultado obtenido, pero lo que quedará en duda es si no hubo metacognición o simplemente los alumnos no habían leído el material con anterioridad ya que no contaba con las herramientas adecuadas para saberlo.

BIBLIOGRAFÍA

7.- Bibliografía:

Alonso I., Montaña D.; *Justus von Liebig: pionero de la enseñanza científica*, Premios 2010 de la Divulgación Escrita de la Ciencia y la Técnica para Jóvenes Miguel Ángel Herrera, Sociedad Mexicana para la Divulgación de la Ciencia y la Técnica A.C. (México); año: **2010**.

Ausubel D., *The psychology of meaningful verbal learning*; Editorial New York, Grune & Stratton (Estados Unidos de América), pág: 58; año: **1963**.

Benfey T.; *August Kekule and the birth of structural theory of organic chemistry in 1858*; Journal of Chemical Education; No. 35, Vol. 1, pp. 21-23; año: **1958**.

Borges A.; *Diseño y análisis de encuestas*; artículo web descargado del sitio de la autora: http://aborges.webs.ull.es/encuesta_com.pdf; Profesora titular de Metodología de Ciencias del Comportamiento de la Facultad de Psicología de la Universidad de La Laguna, campus de Guajara en la isla de Tenerife en Canarias (España); pp. 27-28; año: **2007**.

Bradshaw J.; *Introduction to Chemical Info Systems*; artículo en línea: <http://www.daylight.com/meetings/emug02/Bradshaw/Training/> de la página de la compañía Daylight Chemical Information Systems, Inc. Cambridge (Reino Unido) publicado en septiembre de **2002**.

Bunsen R., Kirchhoff G.;

Chemische Analyse durch Beobachtung von Spectra; Annalen der Physik und der Chemie (Poggendorff), Vol. 110, pp. 161-189; año: **1860**.

Caamaño A., Izquierdo M., Quintanilla M.; *Investigar en la enseñanza de la química. Nuevos horizontes: contextualizar y modelizar*; Editorial de la Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de didáctica de las matemáticas y de las ciencias experimentales (España), pp. 19-39, año: **2007**.

Cachapuz A., Carrascosa J., Fernández I., Gil D., Praia J.; *Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza*; Enseñanza de las Ciencias, No. 20, Vol. 3, pp. 477-488; año: **2002**.

Cartwright J.; *Del flogisto al oxígeno. Estudio de un caso práctico en la revolución química*, versión española por la editorial Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia (España); año: **2000**.

Chamizo J. (coordinador), Aceves P., Benítez L., Gómez M., Izquierdo M., Lombardi O., Nieto-Galán A., Olivé L., Padilla K., Pérez A., Quintanilla M.; Historia y filosofía de la química, aportes para la enseñanza; Editorial SigloXXI, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (México); pp. 15-35, 40, 53-54; año: **2010**.

Chamizo J.; Evaluación de los aprendizajes en Química. Segunda parte: Registros de aprendizaje, asociación de palabras y portafolios; Educación Química, No. 7, Vol. 2, pp. 86-87; año: **1996**.

Chamizo J.; La imagen pública de la química; Revista Educación Química, No. 22, Vol. 4, pp. 320-331; año: **2011**.

Chamizo J.; Mapas conceptuales en la enseñanza y la evaluación de la química; Revista Educación Química, No. 6, Vol. 2, pp. 118-124; año: **1995**.

Chamizo J., Hernández G.; Evaluación de los aprendizajes. Cuarta y última parte: Construcción de preguntas, la Ve epistemológica y examen ecléctico personalizado; Revista Educación Química, segunda época, No.11, Vol. 1, pp. 182-187; año: **2000**.

Cid Manzano R., El Congreso de Karlsruhe, paso definitivo hacia la química moderna, Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia, Vol. 6, No. 3, pp. 396-407; año: **2009**.

Costello K., Thacker Q.; Nature of the light and a Modern View of the atom; artículo en línea: <http://www.chemistryland.com/CHM130S/10-ModernAtom/Spectra/ModernAtom.html>, de la página de "Chemistryland" para enseñanza de la química (EUA), publicado en enero de **2011**.

Cruz D., Chamizo J., Garritz A.; Estructura atómica, un enfoque químico; Editorial Fondo Educativo Interamericano (México), pp. 1-43, **1986**.

Daza S., Merino C., Quintanilla M.; Unidades didácticas en química: Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico; Editorial Grupo Greci (Colombia), Vol. 3, pág.5; año: **2010**.

Driver R., Guesne E. y Tiberghien A.; Ideas científicas en la infancia y la adolescencia, Ministerio de Educación y Ciencia, Editorial Morata (España); año: **1989**.

Driver R., Leach J., Millar R., Scott P.; Young's people image of science; Editorial Open University Press (EUA), pp. 1-20 año: **1996**.

- Driver R., Newton P., Osborne J.;** *Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms*; Revista Science Education, No. 84, pp. 287-312, año: **2000**.
- Dubon A., Errazuriz G., Pecorelli A., Ramirez A.;** *Escala de Likert y diferencial semántico*, tesis de estadística aplicada de la Universidad Católica de Honduras (Honduras), año: **2010**.
- Duveen J., McCarthy S., Scot L., Solomon J.;** *Teaching About the Nature of Science Through History: Action Research in the Classroom*; Journal of Research in Science Teaching; Vol. 29, No. 4, pp. 409-421; año: **1992**.
- Fourez G.;** *Alfabetización científica y tecnológica*; Editorial Colihue, Colección Nuevos Caminos (Argentina), pp. 1-11, año: **1997**.
- Furió C.;** *La motivación de los estudiantes y la enseñanza de la química. Una cuestión controvertida*; Jornadas sobre Enseñanza de la Química llevadas a cabo en Palma de Mallorca (España) durante octubre de **2005**.
- García F., Garritz A.;** *Desarrollo de una unidad didáctica: El estudio del enlace químico en bachillerato*; Revista Enseñanza de las Ciencias, No. 24, Vol. 1, pp. 111-124; año: **2006**.
- Garritz A.;** *Breve historia de la educación química en México*; Boletín de la Sociedad Química de México; No. 1 Vol. 2, pp. 77-97; año: **2007**.
- Garritz A.;** *El papel de una madre. Mendeleiev, muerto hace cien años*; Educación Química, No. 18, Vol. 3, pp. 178-180; año: **2007**.
- Gil D.;** *¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?*; Revista Enseñanza de las Ciencias, No. 9, Vol. 1, pp. 69-77; año: **1991**.
- Gil D., Vilches A.;** *Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades*; Revista Iberoamericana de Educación, No. 42, pp. 31-53; año: **2006**.
- Gilbert J.;** *On the nature of "Context" in Chemical Education*, International Journal of Science Education, Vol. 28, No. 9, pp. 957-976; año: **2006**.
- Hauser A.;** *Historia social de la literatura y el arte*, Editorial Debate (España); año: **1998**.
- Hobsbawm E.;** *The Age of Empire (1875-1914)*, Editorial Weindenfel and Nicolson (Gran Bretaña); año: **1987**.

Hobsbawm E.; *The Age of Revoution (1789-1848)*, Editorial Weindenfel and Nicolson (Gran Bretaña); año: **1962**.

Holme I.; *Sir William Henry Perkin: A review of his life, work and legacy;* Coloration Technology, Society of Dyers and Colourists, The Author Jornal compilation, No. 112, pp. 235-251; año: **2006**.

Ihde A.; *The Karlsruhe Congress: A centennial retrospective,* Journal of Chemical Education, No. 38, Vol. 2, pp. 83-85; año: **1961**.

Instituto Vasco de Cualificaciones y Formación Profesional (KEI-IVAC); *Anexos a la Guía Metodológica: Proceso y método para la programación y diseño de unidades didácticas y entornos de aprendizaje de un módulo profesional;* Editorial KEI-IVAC (España); pág. 36; año: **2008**.

Jensen W.; *Logic, History, and Chemistry Textbook. One Chemical Revolution or Three?;* Journal of Chemical Education, Vol. 75, No. 8, pp. 961-969; año: **1998**.

Kauffman G., Adloff J.; *The 150th anniversary of the First International Congress of Chemists, Karlsruhe, Germany, September 3-5, 1860;* Chemistry Education, Vol. 15, pp. 309-320; año: **2010**.

Kind V.; *Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química;* Editorial Santillana, Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (México); pp. 25-33, 47-50, 97-105; año: **2004**.

Kohut K., Mayer A., Torales M., Von Mentz B., *Alemania y el México Independiente. Percepciones mutuas, 1810-1910,* Editorial Herder, pp. 437-457 (México); año: **2010**.

Kuhn T.; *The structure of scientific revolutions; "Second thoughts on paradigms", the structure of scientific theories;* Editorial University of Chicago Press (EUA); pp. 459-482; año: **1962**.

Lazlo P., Greenberg A.; *Falacias acerca de la química;* Revista Educación Química, No. 2, Vol. 1, pp. 29-35; año: **1991**.

Marquès P.; *Didáctica. Los procesos de enseñanza y aprendizaje. La motivación;* artículo web descargado del sitio del autor: <http://peremarques.pangea.org>; Director del grupo de

investigación “Didáctica y multimedia” del departamento de Pedagogía Aplicada de la Universidad Autónoma de Barcelona (España); año: **2001**.

Martín N., Villamil P.; *Conociendo a Jons Jacob Berzelius (1779-1848)*; Revista ContactoS No. 58, pp. 49-54, año: **2005**.

Morales P.; *La evaluación formativa*; artículo web descargado del sitio del autor: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/otrosdocumentos/Evaluacionformativa.pdf>; Profesor de la Facultad de Ciencias Humanas y Sociales de la Universidad Pontificia Comillas de Madrid (España); año: **2009**.

Morselli M.; *Amedeo Avogadro: A Scientific Biography*; Editorial D. Reidel Publishing Co.: Dordrecht (Países Bajos); año: **1984**.

Nobel prize org.; *Alfred Nobel-Life and Philosophy*; artículo en línea de la página del Premio Nobel: http://www.nobelprize.org/alfred_nobel/biographical/articles/frangsmyr/; publicado en **1996**.

Padilla K., Furio-Mas C.; *The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting Distorted Views of “Amount of Substance” and “Mole” Concepts in Chemistry Teaching*; Science & Education; Vol. 17, pp. 403-424; año: **2008**.

Rodríguez J.; *Algunas teorías para el diseño instructivo de unidades didácticas. Unidad didáctica: “Alfabeto griego”*; Revista de Educación a Distancia, No. 20, pág. 2; año: **2008**.

Román P.; *Cannizaro: Químico, Revolucionario y precursor de la Tabla Periódica*, artículo de ampliación de la conferencia llevada a cabo en la XXXII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química en el 2009, pág 332 del programa; año: **2009**.

Sánchez G., Valcárcel M.; *Diseño de unidades didácticas en el área de ciencias experimentales*; Revista Enseñanza de las Ciencias, No. 11, Vol. 1, pp. 33-44; año: **1993**.

Sánchez G., Valcárcel M.; *Relación entre el conocimiento científico y el conocimiento didáctico del contenido: Un problema en la formación inicial del profesor de secundaria*; Revista Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales, No.24, pp. 78-86; año: **2000**.

Stip A. (editor), Bertomeu J., Chamizo J., House M., Jensen W., Seeman J., Talanquer J.; *Química: Historia, Filosofía y Educación*; Editorial de la Universidad Pedagógica Nacional de Bogotá (Colombia); pp. 10-23, 54-63; año: **2011**.