

**UNA APROXIMACIÓN HISTÓRICO- EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO
QUÍMICO**

CLAUDIA MARCELA CRUZ GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ
2013**

**UNA APROXIMACIÓN HISTÓRICO- EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO
QUÍMICO**

CLAUDIA MARCELA CRUZ GONZÁLEZ

**TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGISTER EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA**

**DIRECTOR
ROMULO GALLEGUO BADILLO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ
2013**

Nota de aceptación

DIRECTORA: RÓMULO GALLEGO BADILLO

JURADO: SANDRA SANDOVAL OSORIO

JURADO: ANDREA ARISTIZABAL FUQUENE

“Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría; en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos”. (Parágrafo 2. Artículo 42, Acuerdo 031 del 04 de diciembre de 2007 del Consejo Superior de la Universidad Pedagógica Nacional.

DEDICATORIA

Definitivamente debo dedicar mi trabajo a mi creador, a mi Dios a mi hermoso y majestuoso Dios que en su infinito amor, me ha sostenido la mano todo este tiempo para culminar con este trabajo, él que envía angeles ayudadores como mi amado esposo Carlos Eduardo Rincon y mi hermoso hijo, para ser la carga más liviana. Dedico este eslabon más a ti mi señor que me prometiste este triunfo y como eres un Dios que jamás olvida sus promesas, me cumpliste.

AGRADECIMIENTOS

Te agradezco a ti mi amado esposo, el mejor compañeros de Tesis que pude tener a ti por tu amor y paciencia, a ti el encargado de no permitir que me venciera cuando las fuerzas no daban para más. A mi hijo agradezco su paciencia, agradezco su ternura y amor, cuando debí quitarle tiempo por dedicarme al profundo arte de investigar y hacer de mi oficio docente una profesión imparable, llena de sabiduría y de mucho por aprender.

Agradezco a mis padres sus palabras de aliento, a mis hermos y mi hermosa sobrina por hacerme sonreír cuando en ocasiones creí que no podía continuar.

A la Universidad Pedagógica Nacional que ha sido el lugar donde he aprendido el valor de mi profesión y cuyos docentes me han inculcado más que conocimiento, valores que me permitieron crecer en lo personal y profesional.

A mi Director Rómulo Gallego Badillo, que con su compromiso, dedicación, acompañamiento y orientación hizo posible que culminé de la mejor manera el trabajo de Tesis y me ha impulsado a continuar fortaleciendo lo que soy como docente.

Por último, a todas aquellas personas que me acompañaron durante este proceso y me han dado la fortaleza para seguir adelante.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 209	

• Información General	
Tipo de documento	Tesis de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Una aproximación histórico- epistemológica del concepto de equilibrio químico
Autor(es)	Claudia Marcela Cruz González
Director	Rómulo Gallego Badillo
Publicación	Bogotá, 2013; pp. 191
Unidad Patrocinante	
Palabras Claves	Historia Social de las Ciencias, Epistemología, Geoffroy, Bergman, Berthollet, Guldberg – Waage, van't Hoff, , Equilibrio químico, afinidad química , didáctica de las ciencias.

• Descripción
Tesis de grado en la que se propone desarrollar un estudio histórico – epistemológico del concepto de Equilibrio Químico a partir del concepto de afinidad química en la comunidad francesa de finales del siglo XVIII y principios del XIX, desde una perspectiva de la Historia Social de las Ciencias, se recolectan algunos escritos originales de Geoffroy, Berthollet, Guldberg-Waage y van't Hoff reconocidos por ser los protagonistas de la emergencia del concepto como se sustenta en el documento. Igualmente, se parte del diseño y utilización de los instrumentos los cuales permitieron la identificación y caracterización de los acontecimientos desde lo social, político, económico, cultural y la identificación de las características epistemológicas de la comunidad científica. Los resultados se plasman en los escritos de algunos capítulos que dan cuenta del desarrollo de la investigación, con miras a transformar los procesos de enseñanza – aprendizaje de este concepto científico tanto a estudiantes como profesores del área.

• Fuentes
Para la realización de este trabajo se consultaron 168 referencias, entre libros, tesis de Maestría y Doctorado, ponencias y artículos de revista indexadas productos de investigación en didáctica de las ciencias en general y de la química en particular, que desarrollaron algún tipo de elemento temático en relación con historia social de las ciencias, afinidad química y equilibrio químico y se constituyen como fuente primaria de información. Entre ellas se destacan las siguientes: BERGMAN, T. O. (1775) De Atractionibus Electivis. BERTHELOT, M. (1903) La synthèse chimique Marcellin Berthelot, Alcan - Bibliothèque scientifique

internationale, Paris.

BERTHELOT, M., SAINT-GILLES, L. P. (1879); Recherche sur les affinités, Chez Gauthier-Villiers, Paris.

BERTHOLLET, C. L. (1803) "Essay de statique chimique par C. L. Berthollet", F. Didot, Paris.

BERTOMEU SANCHEZ, ANTONIO GARCIA BELMAR. (2006). La revolución química: Entre la historia y la memoria.

BERTOMEU SÁNCHEZ, J. y A. GARCIA BELMAR (2001): Pedro Gutiérrez Bueno y las relaciones entre la química y la farmacia durante el último tercio del siglo XVIII, Hispania, LXI (2), pp. 539 – 562

BHERTOLLET, M. (1890): *La Révolution Chimique*, Lavoisier, París, Alcan.

DUMAS, J. B.; .Leçons sur la Philosophie Chimique., Gauthier . Villars Imprimeur . Libraire,

ECHEVERRIA, J. Filosofía de la ciencia (1995). Editores Akal.España enseñanza de la Termodinámica básica. Enseñanza de las Ciencias, 15 (3), p.

FURIÓ, C. & ORTIZ, E. (1983). Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico, Enseñanza de las Ciencias, 2, 15-20.

GALLEGO BADILLO, R. (2008) Ciencias Revistas Especializadas y Comunidad

GALLEGO BADILLO, R., GALLEGO TORRES, A., FIGUEROA MOLINA, R. & PÉREZ MIRANDA, R., (2007). Proyecto de investigación. Historia Social de la Educación en Ciencias en Colombia: La Segunda Mitad del Siglo XX". Bogotá: Conciencias-Universidad Pedagógica Nacional.

GALLEGO BADILLO, R., Y PEREZ MIRANDA, R. (1994). Representaciones y conceptos científicos: un programa de investigación. Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional.

GEOFFROY, E. F. (1718) "Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes substances", Mémoires de l'académie Royale des Sciences, Paris.

GIBBS, J. W. (1876); .On the equilibrium of heterogeneous substances. Connecticut Academy Transactions, Yale University Press, New Haven.

GIL, D. (1993). Aportaciones de la didáctica de las ciencias a la formación del profesorado, en Montero, L. y Vez, J. (eds.). Las didácticas específicas en la formación del profesorado, pp. 277-293. Santiago: Tórculo.

GULDBERG, C. M., WAAGE, P (1879) Über die Chemische Affinität", Erdmann's Journal Für Practiche Chemie, Amsterdam.

HILL, C. (1965), Intellectual Origins of the English Revolution, Oxford, Clarendon Press.

HOLMES, F.L. (1962). 'From Elective Affinities to Chemical Equilibria: Berthollet's Law of Mass Action'. Chymia, vol. 8, pp. 105-145.

IZQUIERDO, M. Y ESTANY. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, vol. 13, pp. 349-378.

KLEIN, U. y E. SPARY (eds.), 2010. Materials and Expertise in Early Modern Europe: Between Market and Laboratory. University of Chicago Press. Chicago.

KUHN, S. (1962). The structure of scientific revolutions. Chicago: University of Chicago Press,

LAIDLER, K.J. (1984). The development of the Arrhenius equation. *Journal of Chemical Education*, 61(6), pp. 494-498.

LAKATOS, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.

LAVOISIER, A. (1862 - 1893): *Oeuvres de Lavoisier publiées par les soins du Ministre de l'Instruction Publique*, París, 6 vols.

MACQUER, Pierre-Joseph (1808), *L'art de la teinture en soie*. Servibres, Paris, (1a. Edición 1763).

OSTWALD, W.; .Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Säuren auf den Rohrzucker Stattfindet von Ludwig Wilhelmy., *Verlag von Wilhelm Engelmann*, Leipzig 1891.

OSTWALD, W.2002; .Chemische Affinitätsbestimmungen. *Praktische Chemie do für do Jornal* 1879, 19. Ostwald.s Klassiker, Berlin 1873, 192. según Lund, 1965.

PFAUNDLER, L.; .BEITRÄGE ZUR CHEMISCHEN STATIK., *Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie*, Leipzig 1867 Lund, 1968.

QUÍLEZ, J. & SOLAZ, J.J. (1995) Students. and teachers application of Le Chateliers principle. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 939-957.

RAVIOLO, A (2007). Implicaciones didácticas de un estudio histórico sobre el concepto equilibrio químico. *Historia y epistemología de las ciencias*, 25 (3), pp. 415–422.

RESTIVO, S. (1985). *The Social Relations of Physics, Mysticism, and Mathematics*. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. p. 147-156.

ROSSI, P. (1990), *La arañas y las hormigas. Una apología de la historia de la ciencia*,

SCHEFFLER, I (1970). Philosophy and the Curriculum, en in *Science and Science Education*, *Journal of Research in Reason and Ttiaching*. pp. 3 1-44. (Routledge: Londres) Scientifique, Paris 1909, 10..

TRAVIS, Anthony (1992), *The Rainbow makers. The origins of Syfithetic Dyestuffs Industry in Western Europe*. Lehigh University Press, Lehigh.

VAN HOUTEN, J.; A Century of Chemical Dynamics Traced through the Nobel Prizes 1909. Wilhelm Ostwald., *Journal of Chemical Education* **2002**, 79,146.

VAN.T HOFF, J. H.; .Études de Dynamique Chimique., *Publié par F. Muller & Co.*, Amsterdam 1884.

VERZOTO, J. C., ROSSI, A. V.; .O Conceito de Equilibrio Químico de Berthollet à Van.t Hoff.

• Contenidos

El documento de investigación se constituye por la presentación, introducción, justificación e importancia, apartados donde se explica la pertinencia e importancia de realizar una investigación como aproximación desde lo histórico y epistemológico del concepto de Equilibrio Químico partiendo del concepto de afinidad.

El marco teórico comprende los antecedentes, fundamentos epistemológicos, didácticos, históricos y una descripción detallada de la evolución del concepto de afinidad química, así como, las temáticas que desde la nueva didáctica de las ciencias aportan al desarrollo de la historia social de las ciencias en general y desde el equilibrio químico en particular.

• Metodología

Se inicia una investigación general de la evolución del concepto de equilibrio químico a partir de la afinidad química en el periodo comprendido entre finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX. A partir de algunos textos originales de los científicos más relevantes en la construcción del concepto desde una perspectiva Histórico Social de las Ciencias. Las preguntas que sustentan este problema de investigación se enmarcan en ¿Cuáles fueron los aspectos históricos y epistemológicos característicos, que permitieron la emergencia del concepto afinidad y como se relaciona con el equilibrio químico?, ¿Qué acontecimientos políticos, económicos y sociales específicos permitieron se desarrollaron durante la evolución del concepto de afinidad y equilibrio químico?, ¿Qué tendencias y características epistemológicas identifican a la comunidad de la época?, ¿Qué razones condujeron al surgimiento de la propuesta desde Bergman, Claude Louis Berthollet, Guldberg – Waage y Van't Hoff?. Con el fin de dar respuesta a estas cuestiones se utilizó un instrumento el RAE, que permiten la elaboración de los análisis del documento.

• Conclusiones

- A través del estudio documental realizado de las fuentes primarias de Geoffroy, Berthollet, Guldberg – Waage y J. H. van't Hoff se reconocieron las condiciones culturales, sociales, políticas y económicas de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX en Francia, que permitieron el surgimiento del concepto de equilibrio químico tras la búsqueda de definir el concepto de afinidad. Se resalta desde lo cultural y social, la preocupación de los franceses por brindar una educación personalizada y de alta calidad, convirtiéndose en un centro universal de química, gracias a la reputación abrumadora de Lavoisier, Berthollet y Gay – Lussac, quienes atraían a sus laboratorios estudiantes extranjeros como es el caso de Liebig, que realizó sus estudios en Francia y retorna a Alemania, como profesor de química, fundando el primer laboratorio del mundo donde se enseñaba química. Las políticas educativas de Alemania donde la educación estaba descentralizada a diferencia de Francia, permitieron que la química emergiera con mayor rapidez y esto se hizo evidente en sus avances sobre la industria de los colorantes, por ejemplo. Con esto no busca desconocerse que el concepto de equilibrio surge gracias a las investigaciones pioneras que se dan en la comunidad de científicos franceses y a su correspondencia con los científicos de otros países. Por otro lado la emergencia del concepto de equilibrio químico también se le atribuye a las condiciones políticas que favorecieron las investigaciones de estos científicos, como es el caso de Berthollet quien con el apoyo económico de Napoleón, realizó viajes que le permitieron enriquecer sus conocimientos, encontrando anomalías en los estudios realizados por Bergman sobre afinidad química y realizar importantes publicaciones (Memores de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil).
- El concepto de equilibrio químico surge tras la búsqueda de la definición del concepto de afinidad. Podríamos decir que el equilibrio químico desarrollado es un subproducto de los estudios dirigidos a entender el concepto de afinidad química. Esto no le resta importancia en ningún momento al concepto ya que la química no sería la ciencia que es hoy, sin el equilibrio. Por otro lado, su progenitor, la afinidad química aún sobrevive de una forma más sofisticada y bajo otra variedad de nombres. Por ejemplo, el término nucleofílico, electrofílico y afinidad electrónica son ampliamente usados para designar tipos específicos de combinaciones. Por lo tanto la afinidad continúa en el desafío de estar en la mente de los físicos y químicos para adquirir nuevos conocimientos sobre los fenómenos antiguos de las combinaciones químicas.
- En cuanto a lo histórico y epistemológico, se considera que la construcción del concepto de equilibrio químico se produjo a través de un grupo de científicos, quienes trabajaron a favor de la producción teórica, impulsados por las situaciones sociales, políticas y económicas que se presentaron en este tiempo. Por otra parte, se evidenció por medio de las publicaciones de los científicos propuestos en principio, el interés por el aporte de sus conocimientos en temas sociales y educativos, siendo Berthollet y van't Hoff quienes en varios de sus escritos muestran la importancia que ellos veían en la calidad y el apoyo del proceso político y social en el ámbito educativo, pidiendo a sus gobiernos ambientes de calidad para sus estudiantes en

formación. Tanto, Bergman, Berthollet, Guldberg – Waage y van't Hoff tras la búsqueda de la definición de la esquivada afinidad química, hicieron parte activa de la institucionalización, industrialización y profesionalización de la química, aportando las bases del Equilibrio Químico. Van't Hoff con sus reacciones de esterificación definiendo un balance entre dos reacciones opuestas a las que denominó equilibrios químicos. Guldberg – Waage quienes muestran la importancia de matematizar las reacciones en equilibrio y el planteamiento de su ley de acción de masa. Berthollet y sus investigaciones sobre el factor masa y algunas de las condiciones de equilibrio químico. Bergman y sus publicaciones sobre atracciones electivas para explicar la diferencia cualitativa entre mezcla y agregados, planteando numerosas reacciones no contempladas en el corpus tradicional, permitieron nuevas anomalías, que generaron cambios de paradigma, entre ellos, el de las reacciones completas.

- La ley de acción de masa, despertó un considerable interés en la evaluación de los coeficientes de afinidad después de todo, esta expresión ofrecía por primera vez alguna promesa de la evaluación cuantitativa de la afinidad, un logro que no había sido posible medirse por muchos años, de hecho gran parte de la actividad científica del siglo XIX había estado caracterizada por la determinación de coeficientes por lo tanto existía la esperanza de que fuera posible determinar los coeficientes de afinidad. Guldberg y Waage consideraban que las fuerzas de afinidad eran las responsables de las combinaciones químicas, ellos la introdujeron en su ley de acción de masas como constantes de escasa relación con el significado de su labor. Lo verdaderamente importante estuvo en el reconocimiento de que las concentraciones de las sustancias reaccionantes constituían la “masa activa” que determinaba el equilibrio resultante de las reacciones directas e inversas. Al comprender la importancia de la concentración y la del concepto de equilibrio dinámico, pudieron completar el trabajo empezado por Berthollet.
- En el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico hay un número de eventos que permanecen estables como contribuciones significativas en nuestro conocimiento actual sobre el concepto. Estas son: el reconocimiento, aceptación e influencia de la concentración de los reactantes en una reacción química, la formulación cuantitativa de este efecto en la ley de acción de masa, la racionalización de la ley de acción de masa por la cinética química y la termodinámica. Por último la amplia aplicación de la termodinámica en las situaciones de equilibrio químico.
- Este estudio Histórico Social de las ciencias, aporta de una manera diferente en los procesos didácticos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias ya que potencialmente permite ampliar nuestro entendimiento del presente. Por ejemplo si consultamos cualquier libro de química general, encontramos que la teoría de Bergman y la de Berthollet, están en esencia presentes en la discusión de los factores que afectan la extensión de las reacciones en equilibrio químico ya que la explicación que se da en estos textos modernos es básicamente que la extensión depende de la naturaleza de las sustancias de la reacción y esto fue básicamente el postulado de Bergman sobre afinidades selectivas. Decir que el alcance de la reacción química depende de la concentración de las sustancias reaccionantes es simplemente la forma refinada de las afirmaciones de Berthollet sobre la acción de masa.

Elaborado por:	Claudia Marcela Cruz González
Revisado por:	Rómulo Gallego Badillo

Fecha de elaboración del Resumen:	21	Agosto	2013
--	----	--------	------

ÍNDICE

PRIMERA PARTE: EXPLORACIÓN DEL ESTUDIO HISTÓRICO – EPISTEMOLÓGICO DEL EQUILIBRIO QUÍMICO	1
1. ¿Historia o historia de las ciencias?	1
1.1. Importancia y justificación de un estudio histórico – epistemológico del equilibrio químico ...	3
1.2. Objetivos planteados dentro en la investigación	5
1.3. Antecedentes en estudios de la didáctica de las ciencias.....	5
SEGUNDA PARTE: DEL ESCENARIO EN LA CONSTITUCIÓN DEL EQUILIBRIO QUÍMICO.....	8
2.1. La necesidad de un campo epistemológico.....	8
2.2. Una visión de la historia social de las ciencias	11
2.2.1. Historia Social De La Ciencia: Internalismo y externalismo	13
2.2.2. El internalismo una perspectiva dominante:	14
2.2.3. Aproximaciones sociológicas: La historia externa	17
2.2.4. Historia Interna Versus Historia Externa: Su papel complementario	18
2.3. Desde la didáctica de las Ciencias	20
2.3.1. Historia y filosofía de la ciencia en la formación del profesorado	22
2.4. Una reconstrucción del surgimiento del concepto de equilibrio químico.....	23
2.4.1. Afinidades químicas	24
2.4.2. ¿Relaciones o atracción entre sustancias?	29
2.4.3. Las atracciones electivas.....	31
2.4.4. Afinidades electivas o funcionales	33
TERCERA PARTE: ANÁLISIS DE LOS PROPOSITOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
3.1. El problema concreto	35
3.2. Descripción de los objetivos desarrollados.....	36
3.3. Descripción metodológica del estudio histórico - epistemológico	37
3.3.1. LA PRIMERA ETAPA: Reconstrucción Histórica	38
3.3.2. SEGUNDA ETAPA: Sistematización y análisis de la información	42
3.3.2.1. Categorías de análisis de los instrumentos	43
CUARTA PARTE: USOS DE LA QUÍMICA DEL SIGLO XVIII, UNA PERSPECTIVA HISTÓRICO - EPISTEMOLÓGICO	44
4.1. Simpatía/Empatía: Discusiones sobre las relaciones o atracción entre sustancias.....	44
4.1.1. Afinidad entre química y literatura	54
4.1.2. Goethe y la afinidad entre química y literatura	56
4.1.3. En la búsqueda de la afinidad en los estudios de química vegetal	59
4.2. Nicolás Lemery y su curso de química:	61
4.2.1. El éxito de la obra de Nicolás Lemery:	63

4.3. Inquietudes iniciales en el desarrollo del Equilibrio Químico: Escenario de una gran controversia.....	67
4.3.1. Algunos antecedentes históricos de Berthollet.....	74
4.3.2. Berthollet y la producción de salitre	76
4.4. La industria y la revolución francesa:	77
4.4.1 Napoleón y la campaña en Italia	78
4.4.2.Napoleón y la campaña de Egipto	78
4.5.La primera formulación matemática del equilibrio químico: el trabajo de Guldberg y Waage	81
4.6. Las ideas de M. Berthelot y J. Thomsen y sus aportes desde la cinética al concepto de equilibrio químico	84
4.7. Van't Hoff y sus valiosos aportes	86
4.8. El equilibrio químico desde la termodinámica	89
4.9. Contribución del concepto de afinidad desde la teoría cinética y termodinámica al Equilibrio químico.....	97
4.10. El desarrollo de la profesión química.....	105
4.11. Acontecimientos e investigaciones importantes del siglo XVIII.....	112
4.12. Industria textil y uso de los colorantes.....	119
4.12.1. ¿Profesionales de la tintorería o químicos?	120
4.12.2. Las tinturas de origen vegetal:.....	122
4.12.3. La fábrica de la familia Canals y Luis Fernández	126
4.12.4. Republica de químicos – tintoreros de Europa:.....	127
4.12.5. Profesionalización vs Industrialización de la química:.....	130
QUINTA PARTE: CONCLUSIONES Y NUEVOS PROBLEMAS.....	137
5.1. Conclusiones	137
5.2. Problemas pendientes y nuevos problemas.....	140
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	142

ANEXOS

	Pág
Anexo N° 1. Instrumento N° 1. Ficha hemerográfica del libro: Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes substances (Geoffroy, 1718)	162
Anexo N° 2. Instrumento N° 2. RAE libro: Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes substances (Geoffroy, 1718))	165
Anexo N° 3. Instrumento N° 3. Ficha hemerográfica del libro: Études sur les affinités chimiques, (Gulberg – Waage, 1867)	171
Anexo N° 4. Instrumento N° 4. RAE libro: Études sur les affinités chimiques, (Gulberg – Waage, 1867)	174
Anexo N° 5. Instrumento N° 5. Ficha hemerográfica del libro: Esasí de statique chimique premiere partie (Berthollet, 1803)	179
Anexo N° 6. Instrumento N° 6. RAE libro: Esasí de statique chimique premiere partie (Berthollet, 1803)	181
Anexo N° 7. Instrumento N° 7. Ficha hemerográfica del libro: Physical Chemistry in the service of the science(Berthollet, 1803)	186
Anexo N° 8. Instrumento N° 8. RAE libro: Physical Chemistry in the service of the science (van't Hoff, 1903)	188

TABLAS

	Pág
Tabla. N° 1. Escrito de Goethe y la afinidad, (Extraído de GOETHE, J. W. les afinitats electives, 1991)	57
Tabla. N°2. Desarrollo matemático de Guldberg – Waage (Extraido de Études Sur les Affinités Chimiques, 1867)	83
Tabla. N° 3. Aproximación histórica del concepto de Equilibrio Químico desde la cinética y la termodinámica.	105
Tabla N° 4. Investigaciones que fortalecieron la institucionalización de la ciencia	119
Tabla N° 5. Fibras textiles (Extraída de Recherches critiques sur la Theorie de la Teinture de Bolley , 1859)	122
Tabla N° 6. Colorantes naturales producidos en 1850 (Extraída de J.S. Muspratt, Chemistry Theoretical, Practical and Analytical)	125
Tabla N° 7. Colorantes (Extraído de Quarantenaire industriel du chimiste Mau Prud´Homme 1873 – 1913)	136

FIGURAS

	Pág
Fig. N° 1. Registro fotográfico de Étienne François Geoffroy. Tomado de la Colección Académie de Medicine, Paris, 1856	29
Fig. N° 2. Tabla de diferentes afinidades químicas, según Geoffroy, E. F. Tomado de Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes Substances, 1718	30
Fig. N° 3. Secuencia de constitución del concepto de Equilibrio Químico. Tomado De Historical / philosophical, Quilez, 2002.	40
Fig. N° 4. Mapa institucionalización de la química según A.P. Gallego Torres,R. Gallego Badillo, R. Pérez Miranda (2009)	66
Fig. N° 5. Registro fotográfico de Guldberg - Waage. Tomado Études sur les Affinités Chimiques, 1867.	81
Fig. N° 6. Registro fotográfico de los Laboratorios de Tintorería. Tomado de Glasgow. Volumen II, Colorantes, 1860	124

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO

El dominio conceptual disciplinar de la química no basta para lograr la construcción de conceptos durante el proceso de enseñanza – aprendizaje. Es necesario conocer los problemas que originaron los conocimientos, las contradicciones epistemológicas, las estrategias didácticas y el impacto que tiene un buen manejo de éstos en la ciencia, tecnología y la sociedad (Raviolo, 2007), entre otras en donde la investigación en didáctica de las ciencias ha aportado un conocimiento de indudable valor.

Uno de esos campos de la didáctica han sido los estudios encargados de reconstruir históricamente los conceptos químicos, (Mellado y González, 2000). En el caso de esta investigación nos centraremos en el equilibrio químico, teniendo en cuenta principalmente los aportes que realizaron: Etienne François Geoffroy (1672 - 1741) - Claude-Louis Berthollet (1748 - 1822) – Cato Maximilian Guldberg (1836 - 1902) y Peter Waage (1833 - 1900)

Analizaremos los contextos de la investigación científica que permitieron el crecimiento del concepto de equilibrio químico desde finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX. No cabría entender los antecedentes históricos de la química del equilibrio, sin desarrollar tres ideas que fueron claves en la construcción del concepto: tablas de afinidad, basadas en el concepto de afinidad selectiva, la importancia de las cantidades de los reactivos y la primera formulación matemática de equilibrios químicos. Esto proporcionó una interpretación molecular de las propiedades macroscópicas de las reacciones de equilibrio químico.

Teniendo en cuenta que entre los educadores existe un consenso emergente sobre la importancia de la incorporación de la historia de la ciencia al currículo, Matthews (1992) ha discutido sobre las ventajas de utilizar la historia de la ciencia en las clases. Por otro lado Osborne (1997) examinó cómo se puede implementar dicha propuesta argumentando que una investigación histórica relacionada con la evolución de los conceptos químicos debe dar pistas explicativas acerca de los problemas que surgieron y cómo fueron abordados, brindando herramientas al profesor para hacer un análisis disciplinar de los temas didácticos (Sánchez y Martín, 2003) y de las concepciones que tienen los estudiantes, en nuestro caso, sobre equilibrio químico.

Por otro lado, puede ayudar a los profesores en formación en su comprensión de la naturaleza química, aclarando diferentes aspectos de la investigación científica y relacionando las similitudes que existen entre las concepciones de los estudiantes y las primeras ideas de los científicos (Leite, 2002). La visión de este paralelismo ha llevado a pensar en cómo la historia de la ciencia puede utilizarse para promover el cambio conceptual. Estas son algunas de las principales razones que

motivaron el presente proyecto sobre el estudio histórico del equilibrio químico. Es preciso aclarar que en nuestro trabajo solo se abordará la evolución histórica del concepto y no su enseñanza.

PRIMERA PARTE: EXPLORACIÓN DEL ESTUDIO HISTÓRICO – EPISTEMOLÓGICO DEL EQUILIBRIO QUÍMICO

Se presenta en esta sección lo referente a la propuesta de investigación formulada para este trabajo investigativo juntos a los objetivos correspondientes. Antes de justificar un estudio histórico – epistemológico del equilibrio químico es importante diferenciar la historia de la historia de las ciencias.

1. ¿Historia o historia de las ciencias?

En 1962 en el libro la **Estructura de las Revoluciones Científicas**, la obra más influyente en la filosofía de la ciencia del siglo XX, comienza con el siguiente párrafo: “Si se considera la historia como algo más que un depósito de anécdotas o cronología, puede producir una transformación decisiva de la imagen que tenemos actualmente de la ciencia” (Kuhn, 1971). Aunque Kuhn no fue el primero en reclamar un papel crucial para la historia en la filosofía de la ciencia (Duhem y Whewell serían dos ejemplos destacados del siglo XIX), su consigna historicista es un reto al modo en que los empiristas lógicos y sus discípulos entendieron la filosofía de la ciencia.

Kuhn pretendía el acercamiento a la ciencia “real”, tal como efectivamente ha sido practicada, y se posicionaba en contra de los enfoques formalistas derivados del empirismo lógico la “Concepción Heredada” (Irianzo, 2005). Tales enfoques tendieron a caracterizar la ciencia como una entidad abstracta y estática, olvidando que se trata de un producto humano que, como muchos otros, tiene una historia. Pero la propuesta de historia que plantea Kuhn es diferente a una historia H_1 , esta consiste según Helge Krag en su libro *Introducción a la Historia de la Ciencia*, en describir fenómenos o acontecimientos lineales concretos que se produjeron en el pasado, es decir una historia objetiva. Para la descripción de H_1 se utilizan expresiones como: la humanidad ha ido creciendo, hay que entender el pasado y sus fenómenos, estos hechos acontecieron en determinadas fechas, etc. Como no vivimos en ese pasado, debemos limitarnos al proceso investigativo y a las interpretaciones del historiador. No tenemos acceso directo a H_1 , sino tan sólo a partes de H_1 que nos han transmitido a través de diversas fuentes (Krag, 1986).

La historia que propone Kuhn es la (H_2) para el análisis de la realidad histórica (H_1), es decir investigación histórica y sus resultados. El objeto de estudio de (H_2) es (H_1). Como Hegel Krag definiría el objeto de las ciencias de la naturaleza es la naturaleza, del mismo modo que el conocimiento científico de la naturaleza se limita a los resultados de las investigaciones de la ciencia, que no son la naturaleza, sino una interpretación teórica de ella, también nuestro

conocimiento de los acontecimientos ocurridos en el pasado se limita a los resultados de (H_2) que no son el pasado, sino una interpretación teórica de (H_1). El termino historiografía en ocasiones se utiliza para H_2 , es pertinente aclarar que la palabra historiografía tiene dos significados: Es un escrito profesional de la historia, es decir los acontecimientos del pasado escritos por historiadores el segundo teoría o filosofía de la historia, es decir, reflexiones teóricas acerca de la naturaleza de la historia, nuevamente H_2 (Krag, 1986). Partiendo de este segundo significado, la historiografía es una disciplina que trasciende cuyo objeto es H_2 ; la historia descriptiva, narrativa y lineal no será en si misma historiografía sino que será parte del objeto de los análisis historiográficos. Así el historiador debería interesarse primordialmente por la inserción social de las ciencias, la institucionalización, profesionalización e industrialización ya que los fenómenos sociales guardan una relación estrecha con la evolución de los contenidos científicos. Por lo tanto, la profesión del científico tiene un desarrollo histórico directamente marcado por factores sociales que han incidido en la transformación de la posición social de la ciencia y su relación con los grupos de poder (Barona, 1994).

El historiador debe analizar los factores sociales y su influencia sobre el cultivo de la ciencia, en especial, en periodos de auge y crecimiento científico, siempre ligados a determinadas formas de institucionalización y de divulgación de contenidos científicos. La historiografía H_1 , considera que existen eventos de la historia social que contribuyen a impulsar formas de conocimiento, esta perspectiva positiva de historia está siendo superada ya que esos eventos deben incluirse en los estudios histórico – científicos ya que científicos o no, hacen parte de la cultura de la época y de la mentalidad de los individuos, por consiguiente no pueden aislarse artificialmente.

Las seis razones que resultan en favor de la perspectiva histórico – científica han sido sintetizadas por H.Krag (1987) y retomadas por Josep Barona (1994) en Ciencia e Historia. Estos argumentos, se presentan a continuación, puesto que hacen parte fundamental de la base teórica de esta investigación.

- a. *“La historia de la ciencia hace parte del quehacer diario del científico activo, orienta sus investigaciones y le ofrece un instrumento analítico para llevar a cabo una evaluación crítica de los conceptos y métodos de la ciencia moderna.*
- b. *La historia de la ciencia ofrece un panorama positivo de la ciencia moderna en relación con otras épocas, con lo cual contribuye a su valoración positiva y a su prestigio social. La historia de la ciencia se convierte en un instrumento de análisis no sólo posible sino obligado de las interacciones entre ciencia, técnica y sociedad.*
- c. *La historia de la ciencia es útil para el desarrollo de estudios metacientíficos, en relación con la filosofía y la sociología de la ciencia.*

- d. *La historia de la ciencia posee una función didáctica acerca de la naturaleza del conocimiento científico, que la convierte en una disciplina capaz de ejercer una función crítica y antidogmática.*
- e. *La historia de la ciencia permite conciliar la naturaleza experimental de las ciencias con las humanidades. El científico podría alcanzar una perspectiva humanística de su labor y los humanistas podrían tomar conciencia de que las ciencias y las humanidades no más que dos facetas de un mismo conocimiento científico.*
- f. *La historia de las ciencias tienen un campo propio de acción y un estatuto característico como disciplina autónoma, esto la convierte en una disciplina profesional y rigurosa que exige el nivel de cualificación y erudición de cualquier otra campo académico” (Barona, 1994).*

La historiografía de las ciencias ha ampliado el campo de las ideas científicas y ha incorporado el enfoque de la historia social y económica, desarrollando una historia con sujetos sociales que se desarrollan en un espacio social, económico, cultural y político. Las nuevas corrientes de la historia social de las ciencias buscan una construcción colectiva a lo largo del tiempo, ese el objeto de análisis.

1.1.Importancia y justificación de un estudio histórico – epistemológico del equilibrio químico

Los estudios históricos realizados sobre la evolución de los conceptos químicos, entendiendo estos como las unidades más básicas, e imprescindibles, sobre las que descansa y se articula todo el conocimiento científico (Pérez, 2008) cobran sentido en la enseñanza de las ciencias si tenemos en cuenta que son un complemento de las áreas más desarrolladas de la pedagogía de las ciencias.

La historia de las ciencias puede ser utilizada en la enseñanza de diversas maneras: para la determinación de obstáculos epistemológicos, para la definición de contenidos de la enseñanza y para introducir en clase la discusión sobre la producción, la apropiación, el control de los conocimientos a nivel social e individual (Gagliardi, 1988) y mejorar así la imagen de la ciencia y el desarrollo de actitudes positivas (Solbes, 2001). Estas posibilidades no son excluyentes, por el contrario, se pueden ir desarrollando a medida que los docentes incluyan en sus clases estudios históricos acerca de la evolución de los conceptos que se quieren enseñar.

En general en la enseñanza de la química y en especial del equilibrio químico se aborda la historia de las ciencias para mostrar una ciencia producto, los fundamentos teóricos y resultados experimentales de los contenidos curriculares, sin una discusión acerca de los problemas y

situaciones que permitieron su formulación, emergencia y aceptación en la comunidad de especialistas (Jiménez, Martínez y López, 2010; Martínez y Pérez, 1997).

Mostrar la Historia de las Ciencias desde otra perspectiva, en este caso como Historia Social de las Ciencias, permite no sólo comprender las construcciones conceptuales y experimentales desde su construcción lógica y validez de los modelos, sino los acontecimientos sociales, económicos, políticos y culturales que permitieron su estructuración, es decir, la descripción completa del escenario de su constitución; lo anterior es una posibilidad que permite generar una mayor comprensión por parte de los estudiantes sobre esos modelos, disciplinas y una visión diferente acerca de la estructura de las ciencias y su construcción en el tiempo.

La importancia del equilibrio químico y de su relación con conceptos de difícil comprensión; discontinuidad de la materia, concentración, reacción química, estequiometría y cinética química (Pozo, 1991). Además de que su aprendizaje exige el manejo de conceptos nuevos y abstractos como son los de reversibilidad y equilibrio dinámico. Aunado a lo anterior, la madurez de los alumnos juega como siempre un papel importante, Shayer y Adey (1981) sostienen que un alumno que no ha alcanzado un nivel de pensamiento formal avanzado es incapaz de entender que el equilibrio químico es un proceso dinámico: dos procesos simultáneos con sentidos opuestos.

Teniendo en cuenta la importancia de la historia social de la ciencias en el aula y la representación macroscópica y microscópica que brinda la enseñanza pertinente del concepto de equilibrio químico (Garnett, 1995), se desarrolla una investigación histórica cualitativa documental inscrita en un campo de investigación de la didáctica de las ciencias que permitirá a profesores y estudiantes obtener elementos de juicio para comprender y diseñar estrategias que les permitan comprender la complejidad del aprendizaje del equilibrio químico.

Para mostrar la dificultad intrínseca de este concepto complejo, se hace una aproximación histórica con la finalidad de presentar los problemas que originaron y resolvió la idea de equilibrio químico. Sin tener una percepción de estos problemas difícil será contextualizar la solución. Específicamente, se propuso realizar un estudio histórico - epistemológico acerca del surgimiento del equilibrio químico a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, en esta investigación se procedió a caracterizar los conceptos dieron origen al equilibrio químico y explicitar el marco desde donde el análisis documental cobra sentido. Es por esto que se relataran los fundamentos teóricos que centraron el análisis de los documentos que soportan esta investigación teniendo en cuenta algunos de los ámbitos políticos, económicos, sociales y culturales que permitieron su emergencia en la comunidad científica en dicho periodo.

Dicho trabajo es un punto de partida para que los docentes generen estrategias para la enseñanza del equilibrio químico por ejemplo haciendo un paralelo entre la historia y las ideas que pueden tener sus estudiantes sobre el concepto, incluyendo en los textos de química los desarrollos históricos de los conceptos, las relaciones causa-efecto o la evidente prueba de la consecución del pensamiento (Chiappetta, Sethna y Fillman, 1991).

De esta forma, una condición inicial para la introducción efectiva de la historia en el currículo de la ciencia implica la elaboración de trabajos disponibles que los profesores puedan encontrar provechosos en la reconstrucción de algunos conceptos esenciales.

1.2. Objetivos planteados dentro en la investigación

Teniendo en cuenta que el trabajo de investigación planteado radicó en un estudio histórico - epistemológico del equilibrio químico desde la historia social de las ciencias, se pretendió realizar un estudio socio - cultural del equilibrio químico en el periodo comprendido entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX en la comunidad científica. Por consiguiente, se plantearon otros objetivos que orientaron los propósitos para cumplir con el anterior, cómo caracterizar el origen del equilibrio químico desde una perspectiva cualitativa partiendo del concepto de afinidad química y cuantitativa desde el factor masa hasta las primeras formulaciones matemáticas, identificando los aportes que se realizan desde la cinética y la termodinámica.

1.3. Antecedentes en estudios de la didáctica de las ciencias

En el desarrollo del trabajo de investigación, se encontró un estudio sobre la evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin realizado por Anna Estany y Merce Izquierdo (1990), investigadoras adscritas en la Universidad Autónoma de Barcelona. En esta investigación desentrañaron la evolución del concepto de afinidad química a través de los trabajos presentados por Stahl (1659 - 1734), Geoffroy (1729-1753), Black (1728 - 1799), Macquer (1718 - 1784), Bergman (1735 - 1784), Lavoisier (1743 - 1794) y Berthollet (1748 - 1822), todos ellos químicos que vivieron durante el siglo XVIII.

El objetivo principal de este trabajo es la aplicación del modelo de S. Toulmin a la evolución del concepto de afinidad durante el periodo de la Historia de la Química comprendido entre 1710 y 1810. El trabajo se enmarca dentro del análisis de la racionalidad de la ciencia y, en particular, de la dinámica científica. Se trata de dar razón de la evolución de determinados conceptos de la Química, centrándose en el de afinidad. El trabajo consta de varios apartados: un estudio

historiográfico sobre el concepto de afinidad durante un periodo determinado de la Historia de la Química, una exposición del modelo de Toulmin, una contrastación entre la evolución histórica del concepto y el modelo que quieren aplicar y, finalmente, unas conclusiones fruto del análisis llevado a cabo.

El aprendizaje del equilibrio químico, debido a su complejidad, ha sido objeto de numerosas investigaciones en didáctica de las ciencias. Algunas de estas investigaciones han estado dirigidas a conocer si los estudiantes presentan errores conceptuales (Wheeler y Kas ,1974; Johnstone., 1977; Furió y Ortiz, 1983; Hackling y Garnett, 1985; Gorodetsky y Gussarsky, 1986). Otras se han preocupado por buscar explicaciones a esos errores (Bergquist y Heikkinen, 1990; Banerjee, 1991; Furio y Escobedo, 1994; Garnett et al., 1995; Quílez y SanjosŽ, 1995; Van Driel et al., 1998; Furió et al., 2000). Últimamente han aparecido trabajos que atribuyen la falta de comprensión del equilibrio químico a la superposición de los niveles de representación macroscópica y microscópica de la química que habitualmente se da en la enseñanza (Garnett et al., 1995, Stavridou y Solomonidou, 2000). Todos estos trabajos han permitido detectar una gran variedad de dificultades de aprendizaje, planteándose la necesidad de establecer una jerarquización, de lo contrario se puede caer en un conductismo que imposibilite la incorporación de los resultados de la investigación en la enseñanza.

En todos estos trabajos existe un breve análisis histórico y epistemológico de los problemas en la conceptualización del equilibrio químico intentando obtener elementos de juicio para comprender y diseñar estrategias que permitan trascender la complejidad del aprendizaje del equilibrio químico.

Por otro lado Juan Quílez profesor de IES *Benicalap*, Valencia (España), está particularmente interesado en la historia del equilibrio químico y el principio de Le Chatelier desde una perspectiva didáctica. Por ello, en la mayoría de sus publicaciones realiza un análisis histórico que supone el establecimiento del contexto en que fue formulado por primera vez y un breve análisis de la evolución que ha experimentado a lo largo del tiempo. La intencionalidad del autor es brindar al lector una idea general sobre la historia del equilibrio químico partiendo del concepto de afinidad selectiva, la importancia de las cantidades de los reactivos y la primera formulación matemática de equilibrios químicos, posteriormente desarrolla estrategias para la enseñanza del mismo.

Andrés Raviolo, investigador de la Universidad Nacional del Comahue San Carlos de Bariloche. Río Negro. Argentina, tiene varios artículos donde muestra que el equilibrio químico constituye un tema central en el aprendizaje de la química porque completa el estudio de la reacción química, principal objeto de estudio de esta ciencia. Él considera que el equilibrio químico implica un gran desafío, tanto en la secundaria como en la universidad, por el grado de complejidad y abstracción de este tema, que promueve dificultades en los alumnos como la generación de concepciones

alternativas durante su aprendizaje (Raviolo y Martínez Aznar, 2005). Al igual que con la lectura de investigaciones sobre las concepciones alternativas, Raviolo considera que un estudio histórico ayuda a revisar las concepciones propias que sostiene el profesor y a inferir estrategias posibles para su enseñanza.

Se deja en consideración que hasta lo realizado en la construcción de los antecedentes del proyecto de investigación, estos fueron suficientes para comprender que aún hay aportes por hacer desde la Historia y Epistemología de las Ciencias en cuanto a la evolución del concepto de equilibrio químico realizando un análisis crítico de los contextos sociales, culturales, políticos y económicos de este período.

SEGUNDA PARTE: DEL ESCENARIO EN LA CONSTITUCIÓN DEL EQUILIBRIO QUÍMICO.

En este aparte se sustentan las bases teóricas del trabajo de investigación en cuanto a los principios epistemológicos, el enfoque de la historia social de las ciencias, el aporte didáctico y una reconstrucción de algunos aspectos de importancia en cuanto al Equilibrio Químico se refiere.

2.1. La necesidad de un campo epistemológico

De acuerdo con S. Kuhn (1962), existen importantes cambios en los estudios sobre la ciencia. Tanto los propios científicos como, sobre todo, los historiadores, sociólogos y filósofos de la ciencia, han debatido ampliamente las propuestas kuhnianas en contra de la concepción acumulativa del progreso científico, así como sus afirmaciones sobre la existencia de paradigmas y de revoluciones científicas. Al distinguir entre dos tipos de ciencia, la ciencia normal y la ciencia revolucionaria. Kuhn afirmó que la ciencia no se desarrolla mediante la acumulación de descubrimientos e inventos individuales, sino gracias a una acción colectiva llevada a cabo por las comunidades científicas con base a creencias, métodos, conceptos y valores compartidos, a cuyo conjunto denominó paradigmas (Echeverría, 1995).

La valoración de las propuestas y de las acciones de los científicos tiene lugar en todos los contextos de la ciencia, y no sólo en el descubrimiento o innovación. También se evalúa, y mucho, el proceso de aprendizaje del conocimiento y de la práctica científica. El contexto de educación no se limita a ser una simple transmisión de conocimiento e información, sea ésta de tipo teórico o práctico. Al ser una actividad que tiene a transformar el mundo en este caso transforma seres humanos, los instrumentos y las instituciones en donde se lleva a cabo esta labor.

La historia de la ciencia también permite desmitificar la imagen que se tiene de los científicos como personas puramente neutrales y racionales. Por ejemplo, la revisión histórica revela que los científicos a veces realizan una contribución al estudio de un tema rechazando, no de una forma tan racional como podría suponerse, otros aportes al conocimiento realizados por otros científicos contemporáneos e incluso oponiéndose abiertamente a otros puntos de vista, como el caso de Berthelot (1748 -1822) y Le Chatelier (1850-1936) en Francia con la teoría atómica (Raviolo, 2007)

En definitiva, reflexionar sobre la historia y filosofía de la ciencia ayuda a comprender mejor su naturaleza dado que, generalmente, se posee una imagen de la ciencia como una serie de leyes que se deducen lógicamente a partir de unos principios y no como una construcción de

conocimientos con el objetivo de resolver problemas, donde no suelen mostrarse las limitaciones de las teorías y los problemas pendientes de resolución. Este enfoque ayuda a revertir la imagen deformada de cómo se construyen y evolucionan los conceptos científicos, que muestra a la ciencia como obra de grandes genios olvidando su carácter colectivo (Solbes y Traver, 1996; Izquierdo, 1996).

En este marco, se plantean bases del trabajo investigativo referido a intentar dar una respuesta admisible a la pregunta ¿Qué concepción de ciencia se trabaja en el aula?, aunque esta pregunta no hace parte de los objetivos centrales, una de las intenciones de los trabajos desde la perspectiva Histórico Social de las ciencias es dar posibilidades a este tipo de cuestionamiento. Lo anterior direcciona al trabajo tomando en cuenta planteamientos que desde S. Kuhn (1962) y I. Lakatos (1983). Así mismo, se plantean tres perspectivas epistemológicas desde las cuales permitieron la elaboración de la pregunta realizada en un principio.

Aunque muchos autores han planteado sus posturas frente a la construcción de ciencia que se realiza, desde el punto de vista de la filosofía de S. Toulmin (1977), las ciencias constituyen culturas en permanente transformación: generación de preguntas y problemas, propuestas de explicaciones, establecimiento de herramientas conceptuales y utilización de elementos tecnológicos; componentes cuyo carácter evolutivo implica igualmente entender la racionalidad como ligada a la flexibilidad intelectual o disponibilidad al cambio. Se plantea, que aprender ciencias es apropiarse la acumulación cultural, compartir los significados y tener la capacidad de tomar posturas críticas y cambiar (Henaó y Stipcich, 2008).

S. Toulmin (1977), reconoce también que el punto de partida en la construcción de la ciencia es la creatividad e imaginación producida por un colectivo, es decir, que esta construcción no es individual, depende del trabajo que se realice en grupo, que se comparta, se discuta y se refute por otros; en este punto se tienen en cuenta dos perspectivas que este autor plantea, fundamentadas en que para entender qué son los conceptos y qué papel desempeñan en la vida se ha de considerar la relación central entre pensamientos y creencias, los que no se pueden discutir porque son personales e individuales, y la herencia lingüística y conceptual, que es colectiva. Por otra parte se refiere a que los conceptos científicos son susceptibles de ser transmitidos, legados y aprendidos en los procesos por los cuales la disciplina mantiene su existencia más allá de las equivocaciones de sus creadores originales. La transmisión característica de una ciencia consiste necesariamente en los aspectos comunales o públicos de sus conceptos (Stipcich y Toledo 2001; Toulmin, 1977).

Se rescata de este pensamiento que la construcción de ciencia que se desarrolla a través de los cambios del intelecto a partir de las interacciones sociales, cuestiones que permiten

transformaciones en los conceptos que se plantean en la construcciones de ciencia. Lo anterior sustenta especialmente la razón de rescatar las circunstancias sociales en las cuales se configura el surgimiento de la disciplina que es objeto de estudio en el proceso de investigación.

G. Bachelard (2005), reconoce que una epistemología de la Química, sustenta claramente que esta ciencia ya no es de tipo memorístico, las primeras experiencias no son sino introducciones a su construcción; parte del pensamiento científico se diferencia del pensamiento común, y a través de su racionalismo no convencional plantea que la ciencia esta “viva”. Esto es importante, en cuanto a la visión sobre ciencia que tienen los profesores en formación inicial y en ejercicio, la misma que trasladaran en los procesos de enseñanza - aprendizaje del equilibrio químico (Soriano, 2011)

Con el ánimo de complementar el punto de vista epistemológico que enmarca esta investigación, resalta que no hay una sola versión de ciencia, por lo que no es válido desechar diferentes aéreas del conocimiento porque no se ajustan a las concepciones de cientificidad. Es pertinente investigar sus fines, los métodos que se emplean para llegar a estos, como se han alcanzado y las fuerzas que determinan su desarrollo (Chalmers, 1982).

Esto permite considerar que no existe una explicación única, sino un conjunto de teorías que estructuran los conceptos que paulatinamente van adquiriendo significado que se encuentra en permanente desarrollo; la ciencia en su totalidad no se debe concebir como un proceso netamente riguroso, presto a simplemente teorizar y comprobar. Se debe entender como un conjunto de conocimientos sustentados en una forma de pensamiento actual o vigente si se quiere ver de otro modo. Esta reflexión puede surgir del estudio de la vida cotidiana, de diferentes problemas y tener diferentes soluciones.

Es claro que el enfoque histórico conlleva el poner de manifiesto la dimensión humana de la ciencia, mostrando que detrás de ella están los hombres que la hicieron inmersos en una sociedad que seguía su curso a nivel político, económico y social. La presentación de este aspecto en el aula es altamente formativo, a menos que se caiga en el defecto de dibujar al científico como héroe de virtudes sin igual (Fernández, 2000).

Del mismo modo es importante mencionar que la ciencia es un proceso de constitución del saber con dimensiones no sólo históricas, sino también sociales. No puede haber ni conocimiento histórico, ni conocimiento realizado por un hombre de ciencia aislado. El saber científico es producto del saber humano, es decir, de desarrollos colectivos, y expresión de una actitud compartida hacia la naturaleza.

Hoy en día el aspecto social es evidente, la comunicación científica ha alcanzado su máximo nivel con la existencia de la gran cantidad de revistas especializadas, apoyados por la web. En el pasado los científicos no desconocían las investigaciones de aquellos que los precedieron, por ejemplo Newton no actuó solo como pensamos ya que termina confesando que “si pude ver más lejos, es porque gigantes me alzaron sobre sus espaldas”. Estos gigantes fueron Galileo y Kepler.

Para finalizar es evidente que la ciencia no se desarrolla mediante la acumulación de inventos individuales, sino gracias a una acción colectiva llevada a cabo por las comunidades científicas con base en creencias, métodos, conceptos y valores compartidos (Kuhn, 1962).

Teniendo en cuenta lo anterior esta investigación realiza aportes en el campo de la Historia y Epistemología, a través de un análisis de los textos originales escritos por los científicos que realizaron publicaciones en dicha disciplina, a partir de estos y de otras fuentes que sustentan los acontecimientos políticos, sociales y económicos más relevantes que estuvieron presente en el desarrollo del equilibrio químico

2.2. Una visión de la historia social de las ciencias

En este trabajo se hizo un estudio histórico-epistemológico y socio-cultural del Equilibrio Químico, enmarcado en las propuestas de Josep L. Barona (1994), de Restivo (1992, 1985) y Hebe M. Vessuri (1992). Para la historia de las ciencias J. Barona (1994), plantea dos puntos de vista, de los cuales se ha concentrado el trabajo en su totalidad en el segundo planteamiento; se refiere a una ciencia como construcción racional, lo que considera como la filosofía de las ciencias y se tiene en cuenta de manera especial la ciencia como actividad social: Sociología de las Ciencias e Historia Social de las Ciencias.

Por otra parte, esta versión contribuye a explicar los factores sociales y políticos que determinaron el desarrollo de una disciplina (Restivo, 1985). La finalidad de la ciencia como construcción social, que se sustenta desde la filosofía de la indagación de la estructura lógica de las leyes que rigen los fenómenos de la naturaleza, plantea que el propósito de las ciencias es construir modelos que permitan la explicación de la realidad y predigan el desarrollo de lo que acontece, en este sentido, desde la Fisicoquímica, se tiene en cuenta la discusión estructurada de la constitución de los materiales a través de las propiedades que demuestran comportamiento físico como la presión, temperatura, velocidad de las reacciones entre otras, esta concepción se refiere al energetismo (Raviolo, 2006), es decir busca explicaciones de lo que compone el mundo material a partir de las propiedades energéticas de los materiales que constituyen el mundo; esto permite la

reflexión, en cuanto a que hay otros factores que influyen en la construcción de la historia de la ciencia.

Esta no surge de la nada, se justifica teniendo en cuenta factores como la sociedad y su dinámica de desarrollo en lo cultural, lo político y lo económico, en Francia a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Su economía y política de este entonces influyeron en gran manera en la construcción del Equilibrio Químico como concepto fundamental en el desarrollo de la Industria de los colorantes en Europa. Lo que se ha de llamar ciencia, agrupa una amplia diversidad de aspectos que rodean la vida cotidiana del ser humano, como por ejemplo, los conceptos, las máquinas, las personas y sus relaciones, las actividades, las instituciones, los grupos de investigación, sin dejar de aproximarlos a la época en la cual se centra el estudio histórico (Barona, 1994). Esto es una mirar en su totalidad de los factores que influyeron de manera contundente en la constitución de dicha disciplina científica.

En cuanto a lo propuesto por S. Restivo (1985), que es clave para las indagaciones realizadas sobre de las condiciones sociales y culturales, y como estas condiciones afectan las habilidades individuales y colectivas, con el fin de construir consideraciones objetivas y desarrollar un conocimiento de este tipo. Las ideas más importantes dentro de esta sociología de la objetividad planteada, se resumen así: investigar a profundidad los contextos culturales de los fenómenos cognoscitivos de acuerdo con las creencias regularmente aceptadas o fundamentadas por los científicos en su actividad práctica, dejando a un lado la dependencia de su contenido de veracidad y en concordancia con las nociones de las corrientes dadas en la cultura científica, por consiguiente, una descripción de un evento o proceso no se puede analizar desde un sistema cognoscitivo ideal o trascendental, es decir no sería pertinente tener en cuenta este concepto en esta categoría, esto depende de su función de utilidad dentro de un campo de competencia en donde constantemente se permiten actividades de producción y utilización de conocimientos, siempre existe un contexto para establecer lo que se pretendía desde este trabajo de investigación como la búsqueda de una explicación que puede dejar de ser a través del tiempo, es más que cualquier sistema de conocimientos. Es por esto que la objetividad es un complejo proceso de relaciones, sensaciones, pensamientos, intuiciones, inestimables e inexpressables. Igualmente, la sociología de la objetividad contribuye a generar nuevos contextos y significados del mundo que nos rodea.

Finalmente, se complementa el marco de referencia que la reconstruye a partir de la postura de H. Vessuri (1992), quien le otorga valor a la comunidad científica, y sostiene que las disciplinas son indispensables para entender las invenciones que pueden ocurrir cuando las fronteras académicas entre especialidades diferentes y las relaciones de intercambio se modifican. La comunidad de químicos - artesanos o Sociedad Profesional fue una mediadora entre las instituciones científicas y

las instituciones políticas, culturales y económicas de las que dependió para lograr el apoyo material y político.

El enfoque social que se le da en la actualidad al estudio de las ciencias o disciplinas científicas y técnicas, difiere de los abordajes tradicionales de la historia de las ciencias (Vessuri, 1992). Es por esta razón, que se resalta la importancia de la mediación entre las comunidades científicas con las comunidades políticas y como estas son influenciadas por las relaciones a lo largo de la historia. Esto con el fin de entender el poder que opera sobre la comunidad científica.

2.2.1. Historia Social De La Ciencia: Internalismo y externalismo

Para hablar de historia interna y externa de las ciencias tendríamos que tener en cuenta que para la construcción de un discurso sobre este tema han intervenido de manera directa y diversa filósofos e historiadores de las ideas, sociólogos del conocimiento e historiadores de la ciencia. En palabras de Paolo Rossi “Sobre la distinción historia interna-historia externa han corrido ríos de tinta”. Estas discusiones sacudieron a la historia de la ciencia desde los años sesenta hasta hoy en día, la controversia está entre internalistas y externalistas.

Para comprender el significado de esta controversia, se mostrarán dos breves definiciones para ampliar y construir posteriormente el debate que ambas sostuvieron.

En un artículo aparecido en 1968, Thomas Kuhn consideraba que la división entre «internalistas» y «externalistas» estaba tan extendida que la relación entre las dos miradas era el mayor desafío planteado a la profesión (Kuhn, 1968). Estas dos perspectivas de difícil superación vienen funcionando de modo consecuente, es decir, excluyéndose mutuamente y legitimándose en la negación del contrario. El internalista positivista entiende que basta con indagar supuestos tales como la lógica que utiliza el investigador, que sistema de verificación o refutación maneja, que teorías sostiene, que experimentos realiza, cómo interactúan los supuestos anteriores para producir novedades que supongan avances reales en el proceso de acumulación científica y los externalistas sostienen que la ciencia es una “parte de la cultura como cualquier otra” (Barnes, 1974) y que, por tanto, debe ser analizada en su contexto cultural de producción. Para ellos, es sencillamente absurdo pensar que la ciencia es una entidad al margen del resto de manifestaciones culturales (Hill, 1965) y, por consiguiente, la historia de la ciencia tiene la obligación de valorar tanto el impacto del pensamiento científico sobre la sociedad (Berkner, 1969) como el de la sociedad sobre el pensamiento científico.

2.2.2. El internalismo una perspectiva dominante:

Es importante señalar que a principios de la década de los sesenta los dos enfoques no mantenían una relación de igualdad: los «internalistas» dominaban con claridad la disciplina (Kuhn, 1968; Basalla, 1968) y, de hecho, fueron ellos quienes acuñaron la expresión «externalista» para burlarse de los que pretendían derivar el desarrollo de la ciencia de su contexto histórico (Barber, 1975). Como ha mostrado Steven Shapin, el dominio del enfoque “internalista” estaba relacionado con la estructura de la comunidad académica (Shapin, 1992): eran años en los que la influencia de Koyré en EE. UU era decisiva y en los que historiadores “internalistas” como Charles Gillispie (en Princeton) o Rupert Hall (en Cambridge) controlaban el mundo universitario anglosajón. El «internalismo» como perspectiva historiográfica está en relación con determinadas filosofías de la ciencia como el positivismo y el inductivismo.

Este último, que Francis Bacon había expuesto en su *Novum organum*, está en la base de la tradición analítica que dominó la historia de la ciencia hasta la década de los setenta: «Según estas posturas, la búsqueda de conocimiento científico está determinada exclusivamente, o al menos prioritariamente, por valores tales como la verdad, la coherencia, la simplicidad y la capacidad predictiva y explicativa [...] la filosofía de la ciencia de los años treinta-sesenta ha respondido plenamente a este tipo de planteamientos que separaban estrictamente la ciencia y los valores no epistémicos» (Echeverría, 1995).

El inductivismo consiste en determinar principios generales a partir de un cierto número de enunciados singulares, establecidos empíricamente. El trabajo minucioso de un observador desprovisto de prejuicios permite ordenar el mundo y deducir los principios de su funcionamiento. Desde este punto de vista, la ciencia se construye de manera acumulativa. Los enunciados científicos, a condición de haber sido establecidos en las condiciones correctas, son definitivos puesto que el recurso a los sentidos les asegura su carácter de verdad irrevocable. El internalismo de los primeros historiadores de la ciencia se apoyaba en esta filosofía (Kuhn, 1968). Desde esta perspectiva, la tarea del historiador es determinar lo que los anglosajones denominan the foundations de la ciencia moderna: establecer cuándo un descubrimiento se ha producido, cuáles son los antecedentes de la ciencia contemporánea en el pensamiento de otra época y quienes han sido los pioneros de cada disciplina.

Es una historia compuesta de los momentos o revoluciones que han contribuido al progreso del conocimiento. Precisamente, son esas revoluciones las que permiten desenmascarar los errores (irracionales) de la tradición situándoles fuera de la historia de las ciencias (normalmente son colocados en la historia de la pseudo-ciencia o en la historia de las creencias). Desde esta perspectiva, el contexto de la ciencia es secundario.

El autor que mejor resume el «internalismo» de este período es Imre Lakatos. Influido inicialmente por Popper, Lakatos toma como referencia una conocida sentencia de Kant que supone una relación de reciprocidad entre la historia y la filosofía de la ciencia y que pretende explicar cómo ambas disciplinas pueden aprender la una de la otra. Sin embargo, la realidad es que Lakatos pone la historia de la ciencia al servicio de la filosofía al firmar que se debe utilizar a la primera para resolver la elección entre las principales «metodologías rivales» de la ciencia contemporánea: el inductivismo, el convencionalismo, el falsacionismo metodológico y su propia Metodología de los programas de investigación científica.

La historia de la ciencia es la referencia para decidir cuál es la metodología más adecuada, de modo que se debe preferir aquella «metodología según la cual resulta interna y racional mayor parte de historia real de la ciencia y según la que resulten correctos más número de juicios de los propios científicos sobre la ciencia» (Hall, 1971). En definitiva, la mejor teoría de la ciencia es aquella capaz de reconstruir de una manera más perfecta la práctica histórica real de la ciencia.

Según este enfoque, hay que distinguir entre una «historia interna» (tarea del científico) o explicación racional del desarrollo del conocimiento objetivo y una “historia externa” (tarea del historiador) que explica todo lo que no coincide con la metodología de partida. La historia externa hace referencia a aquello que no se deja reconstruir racionalmente porque obedece a factores psicológico-sociales. El propio autor explica la distinción: “La reconstrucción racional o historia interna es primaria, la historia externa es sólo secundaria, ya que los problemas más importantes de la historia externa son definidos por la historia interna.

La historia interna proporciona explicaciones no-racionales de la rapidez, localización, selectividad, etc., de los acontecimientos históricos interpretados en términos de historia interna; o bien, cuando la historia difiere de su reconstrucción racional, proporciona una explicación empírica de por qué difieren. Sin embargo, el aspecto racional del desarrollo científico se explica completamente por la lógica propia del descubrimiento científico» (Lakatos, 1971). En definitiva, y aunque Lakatos insiste en que toda reconstrucción racional de la ciencia debe ser completada por una historia externa, lo cierto es que esta última es secundaria porque:

- a) viene siempre después (en la formulación de cualquier problema «externo» hay que partir necesariamente de una definición de ciencia).
- b) tiene que dar cuentas de factores residuales no-racionales como la subjetividad y el error.

En definitiva, «la mejor metodología será la que consiga reducir al máximo la Historia de la Ciencia a historia interna» (McMullin, 1982). De todo lo anterior se deduce que para Lakatos el

conocimiento científico no depende de factores subjetivos como la autoridad, las creencias o la personalidad del investigador y, por tanto, la historia interna no debe examinar tales factores. Dicha historia debe ser selectiva y hacer omisión del error y de la irracionalidad. Los problemas en relación a las causas del falso conocimiento deben ser resueltos por el “historiador externalista”. En definitiva, los aspectos racionales de la ciencia pueden ser explicados sin referirse al contexto, mientras que las explicaciones sociológicas son confinadas a lo irracional.

La posición de Thomas Kuhn con respecto al debate es más compleja que la de Lakatos. Aunque Kuhn se inscribe dentro del «internalismo» dominante, su trabajo fue decisivo para romper con la visión tradicional de la historia de la ciencia. Kuhn profundizó en este problema en su ensayo *The History of Science* de 1968. Allí, consideraba que había que diferenciar entre los primeros períodos en la evolución de una ciencia, donde las necesidades y los valores de la sociedad tienen una influencia mayor, y las etapas posteriores: “En los primeros momentos del desarrollo de un nuevo campo; los conceptos que los científicos aplican a solucionar problemas están condicionados en gran parte por el sentido común contemporáneo, por la tradición filosófica prevaleciente o por las ciencias contemporáneas de más prestigio”(Kuhn, 1968).

De este modo, toda vez la ciencia ha llegado a una cierta madurez (que Kuhn asimila a una madurez esencialmente técnica), la influencia de los condicionamientos sociales tiende a desaparecer (Kuhn, 1968). En otras palabras, la madurez de una ciencia comporta un proceso de aislamiento con respecto a la sociedad que explica, según Kuhn, el dominio del enfoque internalista: dado que los científicos de una disciplina tienden al aislamiento, el desarrollo de dicha ciencia es naturalmente interpretado como algo independiente del contexto en el que se desarrolla.

Sin embargo, al final del mencionado artículo Kuhn concede una importancia considerable a los factores exteriores a la ciencia. En su opinión, la autonomía de la ciencia de la que parte el enfoque «internalista» es falsa en lo referido a algunas cuestiones esenciales. El aislamiento de una comunidad científica hace referencia a los conceptos y a la estructura de los problemas, pero hay cuestiones relativas al progreso científico que dependen de cuestiones no epistemológicas.

Kuhn habla de tres influencias externas que considera importantes: (a) la interacción entre las diversas disciplinas científicas, (b) la introducción de una nueva técnica, que puede modificar la percepción de los problemas que tienen los científicos hasta el punto de crear nuevas teorías y (c) las reformas institucionales, que pueden modificar el marco en el que la ciencia se construye. Reformas de este tipo puede crear nuevos canales de comunicación entre las ciencias, así como introducir modificaciones fundamentales en la ordenación del campo científico. Su conclusión es que aunque los enfoques interno y externo tienen una cierta autonomía son, en realidad, complementarios (Kuhn, 1968).

2.2.3 Aproximaciones sociológicas: La historia externa

En un contexto donde la historia de la ciencia había tomado una orientación claramente epistemológica, el “internalismo” de Kuhn y Lakatos se había convertido en la perspectiva dominante a finales de los años sesenta y los enfoques llamados “externalistas” era minoritarios. Si tuviéramos que trazar su genealogía, podríamos decir que el “externalismo” se desarrolló en la convergencia de tres tradiciones distintas:

- a) la primera sociología de la ciencia (que he repasado en el segundo epígrafe de este ensayo).
- b) las investigaciones que, desde la propia historia de la ciencia, mostraron la importancia del contexto histórico en la elaboración del conocimiento científico.
- c) los trabajos que, desde una perspectiva más filosófica, mostraron la influencia del interés sobre el conocimiento (Habermas, 1965), del poder sobre el saber (Foucault) o de la sociedad sobre la cultura.

En historia de la ciencia, el enfoque externalista había ido tomando forma durante la década de los treinta de la mano de Robert K. Merton y Richard Harrison Shryock. En su *Science, Technology and Society in a Seventeenth-century England*, Merton había insistido en la importancia de las influencias externas sobre la investigación científica (Merton, 1938). En la misma línea, Shryock (que en 1936 había escrito *The Development of Modern Medicine: An Interpretation of the Social and Scientific Factors Involved*) consideraba que la historia de la ciencia tenía que ser comprendida cómo una constante interacción entre la lógica interna de cada disciplina y su contexto (Shryock, 1953). Dichos trabajos ejercieron una gran influencia sobre el «primer externalismo» de Joseph Needham (1949), John D. Bernal (1939 y 1954) o Bernard Barber (1952).

Estos autores pretendían describir e interpretar las relaciones existentes entre el desarrollo de la ciencia y los restantes aspectos de la historia humana (Bernal, 1954). En este sentido, dos referencias fundamentales fueron *The Social Function of Science* (1939) y *Science in History* (1954) de John Desmond Bernal, donde el físico británico proponía un análisis de la interacción entre ciencia y sociedad desde la perspectiva del materialismo histórico: “De hecho, ciencia y sociedad actúan recíprocamente una sobre otra en gran número de modos diversos: la tendencia a cargar el acento sobre uno y otro ha suscitado buena parte de la reciente discusión acerca de sus relaciones mutuas” (Bernal, 1954).

De este modo, Bernal anticipaba el externalismo de los años sesenta que examinaba el impacto que la ciencia ejerce sobre la sociedad (Berkner 1969, Rose & Rose 1969). También fueron importantes los trabajos de Joseph Needham (1949 y 1969) a propósito de la influencia de la organización social sobre la actividad científica.

En el caso de la historia de la ciencia, uno de los trabajos más influyentes fue el de Jürgen Habermas, que se incluía dentro de la crítica al cientifismo positivista de la Escuela de Frankfurt. A pesar de que dicha crítica ya había sido formulada por Horkheimer o por Marcuse, su versión más elaborada fue *Erkenntnis und Interesse* (Conocimiento e interés), expuesta por primera vez en una lección inaugural en Frankfurt en 1965 y convertida en un libro con el mismo título tres años más tarde (Habermas, 1968).

De acuerdo con Habermas, las ideas son a menudo utilizadas para enmascarar la verdadera razón que nos incita a actuar. Ese proceso se denomina racionalización cuando se trata del comportamiento de un individuo e ideológico en el caso de una colectividad. La existencia de estos procesos provoca que los científicos inventen mecanismos para evitar la subjetividad de la opinión, si bien se engañan cuando colocan la objetividad en el origen de su actividad: «las ciencias han retenido una cosa de la filosofía: la ilusión de la teoría pura. Esta ilusión no determina la praxis de la investigación científica, sino sólo la comprensión que las ciencias tienen de sí» (Habermas 1965: 178).

El externalismo de los década de los sesenta y de los setenta prolongó el eco de estas dos tradiciones. En este sentido, los externalistas sostenían que la ciencia era una parte de la cultura como cualquier otra (Barnes, 1974) y que, por tanto, debía ser analizada en su contexto cultural de producción. Para ellos, era sencillamente absurdo pensar que la ciencia era una entidad al margen del resto de manifestaciones culturales (Hill, 1965) y, por consiguiente, la historia de la ciencia tenía la obligación de valorar tanto el impacto del pensamiento científico sobre la sociedad (Berkner, 1969) como el de la sociedad sobre el pensamiento científico.

2.2.4 Historia Interna Versus Historia Externa: Su papel complementario

Recapitulando, durante los años sesenta la disciplina se encontraba en un impasse relacionado con el debate entre «internalistas» y «externalistas» y con el dominio de los primeros sobre los segundos. En nuestra opinión, la situación se resume así:

Una teoría de la historia cada vez más alejada de la historia de las ciencias, con una visión estática y una definición del contexto científico construido sobre pesados metaconceptos sociológicos como interés o clase.

En primer lugar, el debate entre «internalistas» y «externalistas» remitía a una división más profunda: la secular distinción entre epistemólogos e historiadores o, si se prefiere, entre filósofos de la ciencia e historiadores de la ciencia. La división entre historia interna e historia externa tal y como había sido expuesta por Lakatos proponía una partición que ha sido muy importante posteriormente: que la historia interna (primaria y esencial) quede para los filósofos de la ciencia, y que la historia externa (secundaria y residual) quede para los historiadores.

Al aceptar esta dicotomía, se actuaba, por un lado hacia una resolución integral de la historia de la ciencia en epistemología (en general un tipo de epistemología que privilegia el momento teórico respecto del experimental), y por otro, hacia una historia de la ciencia resuelta en una sociología de las instituciones científicas que tendían a descuidar completamente el análisis de las teorías (Rossi, 1987).

De este modo se fortalecía la distinción entre las cuestiones a las que debía responder la historia interna de la ciencia (problemas epistemológicos) y aquellas otras que eran competencia de la historia externa (problemas históricos). Esta división tuvo dos consecuencias: En primer lugar, la historia de la ciencia, al quedar bajo el dominio de los filósofos, consideraba secundarios los problemas historiográficos y se centraba en resolver cuestiones epistemológicas. En segundo lugar, al considerar que su problema esencial era el conocimiento científico, esta historia interesaba especialmente a los científicos y no a los historiadores.

Esta manera de comprender la historia está relacionada con una imagen de la ciencia muy extendida en Occidente durante los últimos dos siglos y que sólo ha sido seriamente criticada durante los últimos cuarenta años. Se trata de la definición de la ciencia como conocimiento verdadero, como saber universal que trasciende el tiempo, como teoría (del griego θεωρία: «ver, mirar; contemplación, examen; observación; meditación, especulación, estudio»), como búsqueda desinteresada de la objetividad. Aunque este discurso (elaborado desde el S. XVIII por científicos y filósofos) es anterior al debate entre «internalistas » y «externalistas», lo cierto es que la hegemonía del «internalismo» no hizo sino reforzar la idea de neutralidad y de autonomía de la Ciencia.

Por último, la consolidación de la dicotomía internalismo- externalismo tuvo como consecuencia una consideración estática del contexto científico, generalmente definido en términos de ideología o de interés. Ambas nociones se refieren de modo un tanto vago a lo político, lo económico y lo

social y permiten adscribir al científico (en tanto que individuo) o a los científicos (en tanto que grupo) a categorías no problemáticas. Un caso paradigmático es el marxismo de los años cincuenta que interpretaba el contexto de la ciencia en términos de ideología. Así, John Bernal basó su trabajo sobre la historia social de la ciencia (Bernal, 1954) en la idea de la ciencia como una profesión culta tradicionalmente reservada a las clases superiores o a una minoría de individuos afortunados.

Según Bernal, esa limitación tuvo efectos fundamentales sobre el carácter de la ciencia como la consolidación de una élite alejada de las necesidades prácticas de la vida corriente o el profundo recelo de campesinos y clases trabajadoras hacia la actividad científica.

Este punto de partida llevaba a Bernal a enfatizar en exceso la idea de una ciencia necesariamente determinada por la lucha de clases: «La naturaleza clasista de la ciencia es tan universal que su mención en los círculos científicos suscita una asombrada sorpresa. La opinión admitida es que la ciencia tiene vida propia, absolutamente independiente de las condiciones económicas o políticas. Esto significa que el condicionamiento social, y particularmente el condicionamiento clasista de la tradición científica, es algo implícito que nunca aparece en la superficie» (Bernal, 1954). En definitiva, la división entre internalistas y «externalistas» implicaba considerar el binomio ciencia-sociedad como una relación entre dos entidades estáticas separadas.

2.3. Desde la didáctica de las Ciencias

Cada vez más, la historia y la filosofía de la ciencia se van incorporando a la teoría y especialmente a la práctica de la enseñanza de las ciencias. Es claro que la enseñanza de las ciencias atraviesa una crisis contemporánea que se ve reflejada por estudiantes desmotivados que no aprenden o aprenden parcialmente los conocimientos científicos que la escuela trata de transmitirles. Este fracaso no es un fenómeno aislado: a diferentes niveles escolares, en diferentes países, en medios sociales diferentes, el análisis de lo que los alumnos conocen después de finalizados los estudios muestra que lo que se recuerda es poco y es equivocado. Pero aún, en muy pocos casos se construyen las estructuras cognitivas que permiten continuar el aprendizaje de las ciencias (Gagliardi, 1988).

Teniendo en cuenta lo anterior se hace necesario terminar con la repetición de informaciones que no pueden ser comprendidas por el alumno, y comenzar a establecer las estrategias y los contenidos que permita al alumno realizar un trabajo cognitivo y poder superar los obstáculos del aprendizaje.

La historia de las ciencias no tiene todas las soluciones para esta crisis pero su incorporación en la enseñanza de las ciencias podría lograr una ciencia contextualizada, más humana cercana a los intereses personales, éticos, políticos y culturales. También puede ser utilizada en la enseñanza de diversas maneras:

- Determinación de obstáculos epistemológicos tanto de estudiantes como docentes.
- Definición de conceptos estructurantes en los programas de ciencias.
- Integrar diferentes disciplinas como la historia y la geografía en la enseñanza de las ciencias

Por otro lado las clases podrían tornarse más estimulantes y reflexivas, incrementando las capacidades del pensamiento crítico, contribuyendo a una mayor comprensión de los contenidos científicos, superando así el mar de sinsentidos de recitar fórmulas y ecuaciones, sin conocer su significado. De lo que se trata es de enseñar una historia con un contexto social, histórico, filosófico, ético y tecnológico.

La inclusión de contenidos de historia y filosofía de la ciencia en los currículos educativos nacionales fue una recomendación del proyecto 2061 de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (American Association for the Advancement of Science) en el año 1989 después de cuatro años de consultas y deliberaciones fueron publicadas sus recomendaciones respecto a la necesidad de que las ciencias en primaria y secundaria estén más contextualizadas, sean más históricas y más filosóficas o reflexivas. Así en el currículo nacional de Inglaterra, Gales, Dinamarca y Holanda los currículos de ciencias han incluido normalmente una sección titulada The Nature of Science, con el uso de esta sección se esperaba que la HFC (historia y filosofía de la ciencia) contribuyera a una comprensión más completa, contextualizada y rica de los asuntos que se exponían allí. Estos temas fueron desarrollados y discutidos sin sustituir el conocimiento del contenido científico

La inclusión de la historia de las ciencias en los currículos logra que los estudiantes sean capaces de:

- Distinguir entre argumentos basados en evidencias y datos científicos y los que no lo están.
- Considerar cómo el desarrollo de una idea o teoría científica concreta se relaciona con su contexto histórico, cultural y político.
- Estudiar los eventos que dieron origen a las revoluciones científicas y quienes participaron en ellas.

No se trata de incluir la HFC como un contenido más, sino más bien la incorporación general de temas HFC en la enseñanza de los contenidos y de los currículos en ciencias de los colegios y de las universidades formadoras de docentes. Un ejemplo de esto es que la American National Science Foundation comenzó dos programas para introducir la HFC en la enseñanza de las ciencias en escuelas y universidades, logrando que en algunos programas de formación de profesores de ciencias en EEUU sea obligatoria la asignatura HFC para poder acreditarse como profesor de ciencias.

2.3.1. Historia y filosofía de la ciencia en la formación del profesorado

Es importante que la historia de las ciencias sea incluida en la formación de los profesores de ciencias, como parte fundamental de su bagaje intelectual (Thomson, 1918) ya que produce una enseñanza coherente, estimulante, crítica, contextualizada y humana, también le permite al docente identificar los conceptos estructurantes que deben ser enseñados y los obstáculos epistemológicos que deben ser superados por parte de los estudiantes y docentes.

La historia y filosofía de las ciencias debería ser parte de la enseñanza de la ciencia, como la crítica literaria y musical lo son de la enseñanza literaria y musical (Harre, 1993). Es extraño pensar que un profesor de literatura no tuviera conocimientos sobre crítica literaria o que no supiera cómo se relaciona la literatura con los intereses sociales y las formas literarias por ejemplo. Así, es igualmente extraño pensar que un profesional de la educación en ciencias no tenga un conocimiento razonablemente elaborado donde pueda dar cuenta de la causa, ley, explicación, modelo, teoría de un concepto científico o de las principales anomalías y posteriores revoluciones científicas que se generaron teniendo en cuenta la dimensión cultural e histórica propia de su disciplina.

Formar un profesor teniendo en cuenta la historia y filosofía de las ciencias, hace la diferencia entre ser educado en ciencias o simplemente formado en ciencias (Scheffler, 1970). Un profesor educado en ciencias tiene una comprensión clara y coherente de los conceptos de su discurso, entonces HFC contribuye a una “alfabetización” científica más profunda y crítica (Miller1983).

La importancia de la HFC en la formación de profesores no es nueva, en 1929 en las páginas iniciales de un texto para profesores de ciencias, describe que un profesor con éxito es aquel que:

- a. Conoce su asignatura y está ampliamente instruido en otras ramas de la ciencia.
- b. Sabe cómo enseñar es capaz de expresarse con lucidez
- c. Es hábil en el laboratorio y en las demostraciones teóricas

d. Es tan buen historiador que puede sentarse con un grupo de alumnos y hablarles de las ecuaciones, la vida y los trabajos personales de genios tales como Galileo, Newton, Faraday y Darwin (Sherratt, 1983)

Se reconoce, entonces, que el profesor de ciencias es uno de los instrumentos privilegiados para mediar en la integración de la HFC y la educación científica en todos los niveles educativos. De allí la importancia de su continua formación en estudios históricos que le permitan revisar de una manera rigurosa, estructural e integradora los conocimientos propios de su disciplina sin caer en anacronismos, intentando ser objetivo, seleccionando los materiales y fuentes, teniendo en cuenta como los aspectos sociales, culturales, políticos y religiosos afectan los factores internos y externos en el cambio científico. En definitiva, la historia de la ciencia puede desempeñar un papel en la comprensión de la lógica que utilizan los docentes para dar coherencia a sus modelos explicativos.

Aunque es ingenuo pensar que la construcción histórica del concepto equilibrio químico es similar a la construcción individual que realiza el estudiante en un número reducido de clases, es claro que el docente al conocer esta evolución histórica del concepto puede encontrar similitudes entre el razonamiento de los estudiantes durante la enseñanza del tema y el de los científicos de los siglos XVIII y XIX, desempeñando un papel activo y coherente en la enseñanza del tema.

2.4. Una reconstrucción del surgimiento del concepto de equilibrio químico

El soporte histórico puede ayudar a comprender el origen de las concepciones alternativas de los estudiantes y a establecer relaciones didácticas para tratar de evitarlas y/o superarlas, en el caso del estudio del equilibrio nos brinda el soporte de conceptos básicos que caracterizan la comprensión del concepto de reacción química, reacción incompleta, reversibilidad y el carácter dinámico de las reacciones.

Teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo con las indagaciones preliminares, se encontró que el origen de los sistemas en equilibrio químico está estrechamente ligado con el estudio de reacción química. El abandono de la concepción aristotélica de materia y el intento de ordenación de las sustancias por su tendencia relativa a reaccionar entre sí son los puntos de partida del presente estudio histórico. El seguimiento del concepto de afinidad química nos permite comprender la evolución, el fundamento y los primeros intentos de búsqueda de leyes matemáticas, basados en estudios empíricos previos en los que se fueron perfilando los factores que determinaban la producción de las reacciones químicas (Quilez, 2002).

La construcción histórica de las distintas concepciones que surgen a lo largo del tiempo en la explicación del concepto inicial de reacción completa, procesos reversibles e incompletos junto con su explicación teórica desde la perspectiva de los primeros modelos de la teoría cinética nos permiten comprender que el concepto de afinidad poseía un carácter ambiguo y polisémico con distintos significados.

Una de las primeras explicaciones de por qué las sustancias reaccionaban entre sí está basada en una visión antropomórfica de la naturaleza, establecer que el proceso ocurre en términos de simpatía o de enemistad entre sustancias, según los principios de amor y odio de Empédocles (Duncan, 1970).

La primera idea de afinidad, como expresión de las sustancias a reaccionar entre sí, la introdujo Alberto Magno, la definía en términos de la semejanza, similitud o parentesco entre sustancias. A mayor afinidad mayor era su tendencia a reaccionar entre sí, dado que dos sustancias, aparentemente diferentes, reaccionaban gracias a su empatía, la búsqueda del principio responsable del comportamiento químico de las sustancias fue lo que Stahl (1659 - 1734) atribuyó a la posesión de flogisto para explicar la disolución de metales en ácido nítrico, por otra parte Gassendi (1592 - 1655) recogió la noción de los atomistas griegos que establecían que las propiedades de la materia podían explicarse en función de la forma de las partículas que la integraban.

En el siguiente apartado se realizará una conceptualización histórica del concepto de afinidad química desde lo cualitativo debido a su importancia y procurando brindar al lector un panorama histórico y las herramientas necesarias para abordar el capítulo IV.

2.4.1 Afinidades químicas

El seguimiento del concepto de afinidad química nos permite comprender la evolución del proceso (Estany e Izquierdo, 1990) para fundamentar el conocimiento actual sobre el concepto de equilibrio químico. Esta reconstrucción ayuda a comprender los primeros intentos de búsqueda de leyes matemáticas, basados en estudios empíricos previos en los que se fueron perfilando los primeros factores que determinaban la producción de las reacciones químicas. Enmarcar dentro de un proceso de construcción histórica las distintas concepciones que subyacen a lo largo del tiempo en la explicación de la reacción química, posibilita el estudio de la transición del concepto inicial de reacción completa al de procesos reversibles e incompletos, junto a su explicación teórica, desde la perspectiva de los primeros modelos de la teoría cinética.

La primera idea del concepto de afinidad, fue introducida por Alberto Magno. Este concepto establecía que cuanto mayor era la afinidad (semejanza, similitud o parentesco) entre dos sustancias, mayor era su tendencia a reaccionar entre sí. Esta idea de concordancia por su semejanza se debe a Hipócrates y también puede encontrarse en Platón, Aristóteles, y en los alquimistas griegos, medievales (como Alberto Magno) y posteriores (Partington, 1970). Dado que dos sustancias, aparentemente diferentes, reaccionaban entre sí, la semejanza se debía buscar en la posesión de un principio común responsable del comportamiento químico de ambas. En este sentido, Stahl atribuyó a la posesión de flogisto para explicar la disolución de metales por el ácido nítrico. Por su parte, Pierre Gassendi (1592 - 1655) recogió la noción de los atomistas griegos que establecía que las propiedades químicas de la materia podían explicarse en función de la forma de las partículas que la integraban.

En los primeros años del siglo XVIII Newton (1642 - 1727) se interesó en la astronomía como un caso particular y esperaba explicar en cierto modo el problema “kepleriano” clásico, idéntico al de Huygens o de Leibniz, los planetas giran, independientemente, alrededor del sol. El problema radica en explicar cada órbita, y, bajo este prisma se considerará en un principio la propuesta de Newton: el sol atrae a cada uno de los planetas. Pero para Newton, estos son fuerzas reciprocas: los planetas se atraen entre si y atraen al sol, que a su vez, los atrae. Esta idea de sistema de masas atraídas mutuamente unas por otras constituye una innovación radical en astronomía, y para la química ya que para Newton, el disolvente, que hace posible la reacción entre dos cuerpos, es un intermediario, una *middle nature*: las partículas insociables se convierten en sociables por mediación de un tercero (Stengers, 1991).

La hipótesis de Newton se sitúa en el campo de la mecánica celeste y provoca una transformación en la noción tradicional de cuerpo químico. La reacción química se explica a partir de una “fuerza newtoniana” que implica que los cuerpos en sí mismos son inertes, desprovistos de cualquier propiedad específica. Las propiedades químicas son relacionales ninguna se atribuye a un cuerpo concreto, sino que todas dependen de sus relaciones.

El termino afinidad fue adoptado por los newtonianos como por los que defienden que la afinidad no tiene nada que ver con la atracción newtoniana, sin embargo aunque el termino en sí mismo pueda ser ambiguo, se impone como concepto newtoniano por su calidad de noción empírica, neutra, guía práctica de los creadores de las tablas.

Las tablas de afinidad pueden ser la solución al problema de las combinaciones para la química. Combinación, en las dos acepciones del término: la combinación como reacción que permite comparar combinaciones o enlaces o como la fuerza de los enlaces potenciales entre cuerpos. Las tablas debían, entonces satisfacer a los químicos, que veían en ellas una representación

económica de las reacciones conocidas y un principio de organización para las que quedaban por descubrir (Stengers, 1991). La afinidad supone un problema relacionado con su causa, y de ahí que ofrezca a los newtonianos la oportunidad de situar el progreso de la química empírica en la perspectiva de su fundamento como química newtoniana: el problema de la afinidad fue resuelto como una fuerza de atracción y este fue el principio de las tablas.

Los químicos newtonianos se dedicaron a la elaboración de tablas, experimentando todas las relaciones posibles entre los cuerpos. Para Newton los cuerpos independientes, no presentan ningún interés, así como es imposible calificar el comportamiento de la Tierra sin tener en cuenta al sol y a los demás planetas.

Newton trató de explicar teóricamente por qué unas sustancias reaccionaban con otras. En la cuestión 31 de su libro *Óptica* consideró que en la química deberían existir fuerzas análogas a las gravitacionales entre cuerpos celestes. Para Newton, entre las partículas de los cuerpos existían fuerzas de gran intensidad (tanto atractiva como repulsiva) que se ponían de manifiesto sólo a distancias pequeñas. Como además se asumía que la magnitud de estas fuerzas variaba de unas sustancias a otras, se empezó a especular acerca de la medida de estas 'afinidades electivas'.

Con esta base teórica Newton introdujo una visión mecanicista para la química ya que las reacciones químicas permitirían comparar entre sí las fuerzas que unían efectivamente a los cuerpos. En consecuencia, la atracción newtoniana desempeñó un papel doble: explicaba al mismo tiempo el enlace químico y la reacción durante la cual se transforman estos enlaces (Stengers, 1991). Esta visión propició asociar la propiedad que hacía que dos sustancias tendiesen a combinarse —su afinidad— con la idea de atracción.

Los químicos del siglo XVIII, bien bajo el paradigma newtoniano o bien con el objetivo de sistematización de todo el conocimiento químico existente, empezaron a construir las primeras tablas de afinidad. Se trataba, en definitiva, de dar un enfoque cuantitativo para medir las diferencias de reactividad de los cuerpos.

Por otro lado Georg Ernst Stahl (1659-1734) rivalizó con la química newtoniana del siglo XVIII, los cuerpos poseen un poder intrínseco y la reacción química es el instrumento que revela dicho poder, que pertenece al cuerpo propiamente dicho. Es inútil establecer todas las relaciones posibles, basta con las que ilustran la forma característica de un cuerpo determinado. Para los antinewtonianos las tablas son inútiles ya que la responsabilidad de una reacción la da el poder del elemento. Pero la química newtoniana, no califica los cuerpos por su naturaleza, por lo tanto debe experimentar todas las posibilidades de estos. ¿Cómo conectar las dos nociones de afinidad?, por un lado definía como la fuerza de atracción que depende exclusivamente de la masa y la distancia de los cuerpos y por otro que depende de la especificidad química de los cuerpos.

En busca de la solución se hicieron dos propuestas una desde Inglaterra por Rudjer Josep Boskovic (1711-1787) y la otra desde Francia por Georges Louis Leclerc, conde de Buffon. En 1758, Boscovitch publica la primera edición de la obra que le dará principalmente a conocer, *Theoria Philosophiae Naturalis*, donde definía que existía una única ley de fuerzas que regula la distancia entre partículas, a grandes distancias la fuerza gravitatoria de la mecánica celeste se rige por un sector de curva que representa el inverso del cuadrado de las distancias en negativo, al ser la fuerza mencionada atractiva. A distancias intermedias, tenemos una función de tipo sinusoidal cuyo eje representa el potencial nulo y dotada de un número de períodos en principio no numerable; todas estas atracciones y repulsiones alternativas con pequeñas variaciones de la distancia explican todos los fenómenos mesofísicos importantes, como la cohesión, cambios de estado y fenómenos de elasticidad (Coloby, 1999). Boscovitch se remite a la tesis de Newton: el cuerpo químico es un edificio complicado, montado y desmontado por las reacciones. Las fuerzas de atracción que caracterizan las reacciones entre dos cuerpos, son específicas, ya que son el resultado de la fuerza de cada uno de los puntos materiales que forman dicho edificio; una partícula material puede repeler o atraer a otra, si la fuerza es una característica de la materia, entonces la materia tiene que ser inextensa (Boscovitch, 1758)

Por otro lado, Buffon, generalizó las leyes de la atracción newtoniana al resto de los fenómenos naturales y, en particular, a las reacciones químicas. La generalización de las leyes de la gravitación a las reacciones, para que las afinidades químicas pudiesen ser presentadas como simples modificaciones de la ley general, significaba salvar dos obstáculos importantes.

Primero, la explicación mediante una misma fuerza de atracción de la diversidad de efectos que mostraban los fenómenos químicos. Segundo, la aplicación de una ley que dependía tanto de la masa de los cuerpos como de la distancia entre ellos.

Buffon superó de alguna forma ambos obstáculos haciendo intervenir la forma de las partículas de las sustancias reaccionantes. Esta forma, que en el caso de los cuerpos celestes no parecía alterar sensiblemente su atracción recíproca, pasaba a ser un factor importante a distancias extremadamente pequeñas al entrar como un elemento en la distancia. De esta manera, la ley de la razón inversa al cuadrado de la distancia en el caso de las reacciones químicas solo parecía variar por efecto de la forma de las partes constituyentes de cada sustancia. Si solo la variedad de las formas de las partículas constituyentes podía ser la causa de la modificación de la atracción de corto alcance, entonces la afinidad química de una sustancia respecto de otra debía ser constante. Este es el llamado «axioma de constancia», simplemente. Las afinidades químicas entre cada par de sustancias debían ser constantes independientemente de las circunstancias en las que la reacción tenía lugar.

Aunque ambas soluciones son equivalentes, llegaron a conclusiones diferentes, ya que aunque una explica la afinidad a través de los efectos de las fuerzas de interacción dependiendo de las distancias entre cuerpos y la otra, a través de una fuerza de interacción simple que actúa entre cuerpos de formas distintas. La teoría de Boscovitch no pudo predecir las asociaciones para determinar los efectos producidos por los cuerpos químicos y Buffon no dedujo las afinidades a partir de las formas de las partículas constituyentes por lo tanto no era posible predecir las posibilidades de reacción. Estas dos teorías fueron interpretadas de forma opuesta: mientras que en la Inglaterra newtoniana califica una de ellas de especulativa, totalmente irrelevante para el progreso de la química, los franceses descubrirán en la otra el camino que debe seguir la química para convertirse en una verdadera ciencia (Stengers, 1991).

El historiador Arnold Thackray considera en su libro *Atoms and Powers. An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry* que la revolución industrial en Inglaterra suscitó un químico que no daba importancia a los problemas matemáticos o especulativos, sino a maestros divulgadores capaces de difundir las ventajas prácticas, la utilidad efectiva frente al desarrollo técnico, económico y social de esta ciencia en lugar de sus problemas conceptuales. Por otro lado en Francia, se continúa con el objetivo de alcanzar el rango de ciencia.

En este sentido, la noción de afinidad estaría destinada a una divergencia entre el significado de ciencia cuyo valor depende de su utilidad como lo es para los miembros de la Royal Society y una ciencia racional que conquista su dignidad mediante la promoción de la razón, promovida por la Académie des Sciences en Francia. Paradójicamente, la institucionalización de la ciencia no tuvo como efecto mantener el liderazgo científico de Inglaterra. Durante el siglo XVIII, la Royal Society se convirtió en un grupo de filósofos y naturalistas aficionados y, eventualmente, la eclipsó la Academia de Ciencias francesa, como sociedad científica principal del mundo.

Aunque la Academia de Ciencias francesa sentía claras prevenciones frente a las ideas newtonianas, debido a la influencia de Descartes, el éxito de las teorías de Newton en el campo de la física era innegable por lo tanto se reconsideró la posibilidad de aplicarlas a la química. Esto explica que las primeras tablas de afinidad publicadas en 1718 por **Étienne François Geoffroy** (1672 - 1731), llevaran por título “Tabla de las diferentes *relaciones* observadas en química entre diferentes sustancias” (Geoffroy, 1718), eludiendo de esta forma el término newtoniano atracción (Bergman, 1775) a favor de uno más ambiguo “*relaciones*”, aunque una década más tarde se utilizó el nombre de afinidad. Geoffroy afirma que si a dos sustancias unidas entre sí se les añade una tercera que tiene mayor “relación” por una de ellas, se une a ésta desplazando a la menos favorecida.

2.4.2 ¿Relaciones o atracción entre sustancias?

Geoffroy en 1718 publicó una *Tabla de las diferentes relaciones observadas entre las sustancias*. Geoffroy no se proclama newtoniano pero visitó Londres en 1698 y fue nombrado miembro de la Royal Society, posteriormente se convirtió en el miembro corresponsal de la Académie des Sciences en la academia británica y, entre 1706 y 1707, presenta la Óptica de Newton a la Académie, en el transcurso de diez sesiones (Stengers, 1991). En la tabla de las diferentes relaciones observadas entre sustancias, se intenta explicar que un cuerpo se convierte en otro al establecer un enlace con un tercero (reacciones por desplazamiento simple). Este tercer cuerpo es el que figura al principio de cada columna, seguido por todos los cuerpos que pueden potencialmente combinarse con él, en un orden determinado por sus desplazamientos mutuos: un cuerpo desplaza a todos los que le siguen y es desplazado por todos los que le preceden.

En el libro *Óptica*: “Una solución de hierro en agua fuerte (ácido nítrico) disuelve el cadmio que sumergimos en ella y desprende el hierro; una solución de cobre disuelve el hierro y desprende el cobre; una solución de plata disuelve el cobre y desprende la plata; si vertemos una solución de mercurio en agua fuerte sobre hierro, cobre, estaño o plomo, el metal se disuelve y el mercurio se precipita”



Figura N°1

El químico y médico francés Étienne-François Geoffroy fue el precursor de las tablas de afinidades. Los químicos franceses adoptaron la tabla de Geoffroy como un estándar.

© Collection Académie Nationale de Médecine, Paris

	>e	>o	>ph		eV	eA	SM			hk	f	c	m	cor	
eV	2	m		>ph	>ph	>ph	>e	eV	c		hk	cor	m	V	V
eA	cor	f	eV	>o	>o	>o	>ph	m	c	f	PC	f			e
	f	hk	eA	>e	>e	>e	>o	f	hk						
SM	c						hk	f							
		c	m					c	Z						
			f					cor	cor						
			c												
	c							c							

- Esprits acides.
- Acide du sel marin.
- Acide nitreux.
- Acide vitriolique fixe.
- volatil.

- Terre absorbante.
- Substances metalliques.
- Mercure.
- Regule d'Antimoine.
- Or.
- Argent.

- Cuivre.
- Fer.
- Plomb.
- Etain.
- Zinc.
- Pierre Calaminaire.

- Soufre mineral (Principe.
- Principe huileux ou Soufre
- Esprit de vinaigre.
- Eau.
- Sel.
- Esprit de vin et Esprits ar-

Figure N°2

que por el hierro, con más fuerza por el hierro que por el cobre, por el cobre que por la plata. Para Newton que ocupó gran parte de su investigación en el estudio de las asociaciones y disociaciones entre cuerpos químicos simplemente existía una atracción entre ellos, contrario a las relaciones de Geoffroy que intenta explicar el enlace químico y la reacción durante la cual se transforman los enlaces.

Bernard le Bovier de Fontenelle (1657 - 1757), al hacer el resumen de la comunicación de Geoffroy para su inclusión en las Actas de la Academia, subraya el carácter profético que la tabla podía adquirir, siendo así que precisamente la capacidad de predicción es connotación obligada de toda propuesta científica y de este modo se aceptada ya en su época (Geoffroy, 1718)

La posibilidad real de aplicar la tabla de afinidades era muy limitada, debido al carácter cualitativo de la misma; en algunos casos se situán tres sustancias en un mismo casillero por ser dudosa su posición exacta (Geoffroy, 1718). Otra irregularidad se derivaba de las condiciones en las que se medía la afinidad; si se trataban de fusiones conjuntas (reacciones en seco) o para disoluciones (vía húmeda); fuera del alcance de los conocimientos de la época no se consideraban condiciones como la temperatura o la concentración de las soluciones.

El pronóstico de Fontenelle fue acertado, si tenemos en cuenta que el perfeccionamiento de las tablas de afinidad permitió un desarrollo de la actividad química cuantitativa. Entre las propuestas que se destacaron cabe citar, por ser de las primeras, la de Grosse (1730), con 19 columnas y la de C.E. Gellert, con 28 columnas, en la que se proponen símbolos distintos de los alquimistas y se añaden a cada columna las sustancias que no reaccionan con la que figura en el encabezamiento.

Pierre Joseph Macquer (1718 - 1784) define la afinidad como "*tendencia y como fuerza*": *afinidad es la tendencia que tienen las partículas... de los cuerpos... unas hacia las otras y la fuerza que las hace adherirse cuando están unidas* (Dictionnaire de Chimie, 1766). Este término pasa a ser sinónimo de atracción, entendida esta como una especie de gravitación microcósmica que es una propiedad esencial de la materia y que queda así desvinculada de la teoría química. Esta propiedad esencial (la afinidad) se modifica según las circunstancias y da lugar a diferentes tipos de afinidad: simple, si se refiere a la interacción entre dos sustancias; compleja, cuando intervienen diversos cuerpos; doble, si se produce un doble intercambio de principios; este último caso da lugar a situaciones de complejidad creciente que culminan en las reacciones de doble descomposición (Portela, 1999).

Macquer hizo parte de la interpretación newtoniana pero asimismo recurrió a la interpretación aportada por Stahl, remitiéndose a la noción de elemento portador de propiedades cualitativas intrínsecas. En 1766, Macquer había adoptado la posición de *Buffon* ya que califica de probable la interpretación newtoniana de afinidad y concluye en un llamamiento a aquellos con conocimientos en química y matemáticas para impulsar una cuestión tan vital, clave de los fenómenos más remotos de la química (Stengers, 1991).

2.4.3. Las atracciones electivas

Las posibilidades de desarrollo de las tablas de afinidades quedaron prácticamente agotadas con Tobern Bergman (1715 - 1784), que se había destacado por sus grandes contribuciones a la química analítica y había emprendido su tarea con esmero, como un artesano aplicado que espera dar cuenta poco a poco del inmenso quehacer que se extiende ante él (Dumas, 1878). Estaba dispuesto a efectuar todas las reacciones químicas imaginables, a comparar sus resultados y a clasificar cada cuerpo con respecto a los demás. Bergman escribe en 1775 *De attractionibus electivis disquisitio* que contiene una tabla de afinidades muy completa. A diferencia de la tabla de Geoffroy, en ella se tienen en cuenta las condiciones en las que se producen las interacciones entre los cuerpos, puesto que pueden modificar el resultado final. Al establecer claramente las condiciones del cambio, los experimentos serán reproducibles y se podrá hablar de leyes de afinidad que proporcionaran una doctrina química consistente.

Las tablas que él publicó en 1755 y 1783 coordinan los resultados de varios miles de reacciones químicas, constan de 49 columnas (27 ácidos, 8 bases y 14 metales y otros elementos), estas tablas presentan una doble clasificación: reacciones en solución y por vía seca, es decir causadas por el fuego. Esta dispendiosa labor aún no culminaba su tabla ya que quedaban pendientes más de treinta mil experiencias exactas para conferir un cierto grado de perfección. Al trabajo de Bergman responde su contemporáneo Guyton de Marveau (1737 - 1816) en la *Encyclopédie*; mientras que Bergman marca el apogeo de la química que “aprende”, el otro da los primeros pasos hacia la “comprensión”, especialmente al tratar de cuantificar la fuerza de afinidad: Guyton de Marveau en su obra en la primera parte todavía seguía la teoría del flogisto, mientras que en la segunda se muestra partidario de la doctrina de Lavoisier, haciendo uso de la nueva nomenclatura. Guyton mide, las fuerzas necesarias para separar láminas de distintos metales del baño de mercurio en el que flotan, y descubre con satisfacción que dichas fuerzas siguen el mismo orden que las afinidades químicas. La química de finales del siglo XVIII aún no vincula de manera inmediata la afinidad y la atracción; relación que ya había suscitado arduos trabajos y que constituye un verdadero programa de desarrollo de la química.

Teniendo en cuenta el esfuerzo colectivo por aprender para lograr comprender, acumular datos empíricos que posteriormente serán el caldo de cultivo de aquellos que se interrogan sobre la química. Lavoisier intenta encontrar otros cimientos para la química y dejará en su *Traité élémentaire de chimie* (Bergman, 1789) la primera tabla de cuerpos simples, definidos como tales a partir de consideraciones experimentales que tienen ya las determinaciones de masa como principio. La tabla fue aceptada rápidamente, porque se encontraba dentro de lo que era habitual en la época, las tablas de afinidad. A partir de la aplicación de la tabla a la interpretación de los cambios químicos se elabora un nuevo concepto de elemento, que se identificara a "substancia simple", es decir, a un cuerpo que siempre que se combina aumenta de masa. Lavoisier organiza un sistema químico basado en la tabla de sustancias simples. El significado del análisis químico varía profundamente a partir de este momento. Se trata de conocer cuáles son las sustancias simples que se han unido para formar un compuesto, y en que proporciones de masa lo han hecho; pero ahora no se cuenta con ninguna relación entre las propiedades del compuesto y las de las sustancias simples que los constituyen (Izquierdo, 1990). Las tablas de las afinidades no son más que el efecto de la atracción universal, se plantea si la química de las afinidades se convertirá de una manera o de otra, en una ciencia que cede sus leyes a la actividad química de la materia, que espera entrar en razón traduciendo el empirismo.

Después de este recorrido sobre el concepto de afinidad estamos en capacidad de contextualizarnos en la lectura de las *Afinidades electivas* de Johann Wolfgang Goethe (1749 - 1832). En 1809, Johann Wolfgang Goethe publicó Las afinidades electivas. La obra de Goethe

utiliza la afinidad química como metáfora y la aplica a las relaciones amorosas, pero lo hace cuando este concepto ya era discutido a partir de las nuevas perspectivas que se habían abierto en la química moderna.

2.4.4 Afinidades electivas o funcionales

La afinidad imponía un estudio exhaustivo de todas las relaciones posibles y no únicamente de las reacciones interesantes, que habían despertado el interés de los artesanos. No obstante, estas reacciones interesantes eran las que mostraban la distinción cualitativa entre mezclas para la química y agregados para la física. Las reacciones privilegiadas respondían, en efecto, a la necesidad de contar con un procedimiento capaz de crear un producto lo más homogéneo y puro posible.

La selección de estos procedimientos es precisamente la base de los aspectos de la concepción de todo lo relacionado con las mezclas: si un cuerpo experimenta con respecto a otro una afinidad más fuerte que la que este último experimenta con un tercero, con el cual se encuentra unido, el primero repele totalmente al tercero. Si hacemos abstracción de los obstáculos determinados por el agregado, cabe suponer que la reacción química es completa, la elección de un cuerpo por parte de otro, a expensas de un tercero, responde a la ley cualitativa del todo o nada. Bergman habla de atracción electiva para explicar la diferencia cualitativa entre mezcla y agregado, vigente es sus tiempos (Izquierdo, 1990).

Las tablas de Bergman, que recopilaban un gran número de reacciones, no contempladas en la cotidianidad, multiplicaban lo que por Kuhn se conoce como anomalías. Bergman debe explicar continuamente que ciertos factores físicos interfieren en la afinidad verdaderamente química e impiden que la reacción se complete o incluso hacen que se produzca en un sentido equivocado.

Periódicamente, debe reconocer que se ve obligado a utilizar varias veces la cantidad que debería ser suficiente para completar la reacción. Contrariamente a lo que pensaba Bachelard, quien parecía estar convencido de que un buen experimentador comprendería que la afinidad no tenía nada en común con la atracción, el enriquecimiento del saber experimental no supondrá el abandono de la tesis por la cual afinidad y atracción son una misma cosa, sino, por lo menos en un principio, su confirmación. Hasta ese momento sólo los críticos de la química newtoniana, como Venel (1723 - 1775), habían afirmado que la atracción no podía explicar porque dos cuerpos heterogéneos forman un tercer cuerpo homogéneo, no podía justificar la diferencia cualitativa entre agregados y mezclas. Esta imposibilidad se convertirá en una virtud cuando la química newtoniana la utilice para negar el carácter electivo de las afinidades, y la diferencia cualitativa que pone de

manifiesto la elección. La duda experimental de la noción de reacción completa que corresponde a la de del todo o nada, confirmará las implicaciones de la interpretación newtoniana de las afinidades, hasta entonces ignoradas por sus defensores.

Así llegamos a la obra del químico Claude Louis Berthollet y a la Revolución francesa. La importancia de esta última no estriba en las ideas ni en la muerte de Lavoisier, en los nuevos problemas que se plantean al químico y en las transformaciones institucionales que provocó sino que se plantean a la química y en las transformaciones institucionales que provocó la creación de cátedras dedicadas a la enseñanza sistemática de la química.

TERCERA PARTE: ANÁLISIS DE LOS PROPOSITOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación descrita anteriormente y en la que a continuación se refiere, está basada en los aspectos que se presentan enseguida, en los cuales se describen cada una de las expectativas generadas al inicio y a continuación del proceso investigativo realizado.

3.1. El problema concreto

Es indiscutible que el aporte de nuevas visiones desde la didáctica de las ciencias proporciona a la enseñanza de las ciencias un material crítico que aumenta la valoración de lo que ahora poseemos, cuando reconocemos las dificultades que costó adquirirlo. Por tal motivo, se construye la posibilidad desde la Historia y Epistemología de las Ciencias, campo investigativo de la Didáctica, brindar a los profesores de ciencias nuevas posturas integradoras que permitan una mirada diferente de los procesos de enseñanza y aprendizaje centrados en la transmisión – repetición de contenidos con la posibilidad de vincular la dimensión histórico – epistemológica, reconociendo que en la enseñanza de la Química la historia de la ciencia desempeña una función didáctica importante al demostrar la verdadera naturaleza del conocimiento científico y presentarla de un modo más atractivo en una época en la que los jóvenes la miran con cierta prevención, contribuyendo a una concepción menos dogmática de la ciencia y de los métodos científicos, actuando como antídoto contra la ortodoxia y el entusiasmo acrítico por la ciencia. La historia de la ciencia debe reflejar la situación humanista de la ciencia, el centro de la evolución humana y su meta más alta (Kragh, 1986).

En este sentido, las preguntas que configuran este problema de investigación son:

Se aborda como las siguientes cuestiones ¿Cuáles fueron los aspectos históricos y epistemológicos característicos, que permitieron la emergencia del concepto afinidad y como se relaciona con el equilibrio químico?, ¿Qué acontecimientos políticos, económicos y sociales específicos permitieron se desarrollaron durante la evolución del concepto de afinidad y equilibrio químico?, ¿Qué tendencias y características epistemológicas identifican a la comunidad de la época?, ¿Qué razones condujeron al surgimiento de la propuesta desde Geoffroy, Claude Louis Berthollet, Guldberg – Waage y Van't Hoff?

3.2. Descripción de los objetivos desarrollados

Como estrategia inicial en el trabajo de investigación elaborado se planteó la realización de un estudio histórico - epistemológico de la evolución del concepto de equilibrio químico a partir del concepto de afinidad.

Para alcanzar este objetivo, se identificaron los aspectos económicos, políticos, sociales y culturales en los que se desarrolló este concepto y los cuales se dieron en la comunidad científica Francesa de finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX.

Se realizó una breve descripción de las características de la comunidad en la cual se desarrolló el concepto y el reconocimiento de las relaciones que se identificaron por medio de algunos escritos originales de Geoffroy - Claude-Louis Berthollet - Van't Hoff especialmente, sin embargo fue necesario recurrir a otros textos aunque no se diseñaron los instrumentos propuestos en la investigación para su análisis. Algunos de estos autores fueron: Newton con su libro "Opticks or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light" publicado en 1704, Bergman, T. O y su escrito "De Atractionibus Electivis" publicado en 1779, Recherche sur les affinités publicado en 1879 y M. G.Ohesneau y su escrito "Ingénieur en Chef des con Méthodesd Analyse mnérale" publicado en 1904, Etudes de Dynamique Chimique para Van't Hoff publicado en 1884, Quarantenaire industriel du Chimiste Mau Prud'homme publicado en 1873. Estos textos originales en su mayoría se obtuvieron de la Biblioteca Nacional Francesa.

Por último, en la indagación de estas pretensiones se resalta la importancia de este trabajo de investigación como un aporte significativo en la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. Este trabajo es un aporte que puede llegar a complementar el trabajo del docente en sus clases de química de básica secundaria y de educación superior ya que le permite reflexionar sobre como la HFC ayuda a comprender y transformar la imagen que generalmente se tiene de ciencia.

Esta imagen se basa en una serie de leyes que se deducen lógicamente a partir de unos principios y no como una construcción de conocimientos con el objetivo de resolver problemas, donde no suelen mostrarse las limitaciones de las teorías y los problemas pendientes de resolución. Este enfoque ayuda a revertir la imagen deformada de cómo se construyen y evolucionan los conceptos científicos, que muestra a la ciencia como obra de grandes genios olvidando su carácter colectivo que despierten un verdadero interés por su estudio y que generen aportaciones en las diferentes visiones tanto de su aprendizaje como su enseñanza (Solbes y Traver, 1996; Izquierdo, 1996), esto último a propósito del objetivo didáctico de la investigación.

3.3. Descripción metodológica del estudio histórico - epistemológico

Este trabajo de revisión documental, se inscribe en el campo de la investigación sobre historia y epistemología de las ciencias (Gallego Badillo, y Pérez Miranda, 1996), vinculando los estudios sociales de la ciencia. Dando cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente, el trabajo de investigación se ubica desde lo cualitativo – interpretativo. El proceso de investigación ha sido dominada a lo largo del siglo XX, por dos paradigmas clásicos, hablando en cuanto a sus procesos se refiere: uno inspirado en la metodología de las ciencias naturales enfatizando en observaciones empíricas cuantificables y adecuadas para tratamientos estadísticos, y por otro lado, el derivado del área humanística con énfasis en informaciones holísticas, cualitativas con enfoques interpretativos (Moreira, 2002; Restrepo, 2002).

A partir de la elaboración de las preguntas problema, se inicia la indagación de algunos referentes teóricos que han realizado este tipo de trabajos investigativos (Raviolo, 1998; Izquierdo, 1990; Quilez, 2002; Gallego, Gallego y Pérez, 2009; Brock, 1998; Leicester, 1967; Stengers, 1991), posteriormente se definen los científicos involucrados y las fuentes originales a consultar en la construcción del concepto de equilibrio químico a partir de la afinidad química. Se busca junto con los textos originales y otros documentos de apoyo, construir una visión histórica - epistemológica de la evolución del concepto de equilibrio químico presentada en este trabajo de investigación, es claro que esto no implica el análisis de los aspectos sociales, políticos, económicos y culturales desde los textos originales de los autores, ya que lo que se realiza es una aproximación desde una perspectiva Histórico Social de las Ciencias. Igualmente, se encontró que Geoffroy. E.F, Claude-Louis Berthollet, Guldberg y Waage y J. van't Hoff permiten establecer momentos fundamentales para el desarrollo del concepto de equilibrio químico, sin caer en una secuencialidad de hechos. Es pertinente aclarar que en ningún momento se desconoce el trabajo de otros científicos relevantes y significativos en esta construcción por lo tanto sus aportes y publicaciones se tuvieron en cuenta. Aunque, la indagación de los textos originales se limitó a estos tres autores se tuvieron en cuenta los escritos de Bergman debido a su rigurosidad y aportes al concepto de afinidad química.

La búsqueda de los textos se inició en las bibliotecas locales, pero debido a la gran dificultad de encontrar estos en físico, por la época en la que fueron publicados, la indagación se extendió a diferentes páginas electrónicas, hasta que finalmente fue posible descargarlos de la Biblioteca Nacional Francesa (BnF) donde se encontraban digitalizados y que habían sido publicados entre 1701 y 1900 aproximadamente. Para la descarga de los archivos se utilizaron diferentes vínculos de búsqueda y el más efectivo fue el de "*affinites chimiques*".

Los idiomas en los que principalmente se encontraron los documentos fueron el inglés y el francés. En el caso de los escritos que estaban en inglés la traducción fue posible con ayuda de algunas

herramientas tecnológicas. En el caso de la traducción de los textos en francés fue necesario la ayuda de un experto, especialmente se tradujeron las páginas o párrafos que hacían referencia al trabajo de investigación.

Los documentos se hallaron en idiomas como el inglés y francés. Para los escritos en inglés, se realizó la traducción teniendo un conocimiento intermedio en el idioma; en cuanto a la traducción de los documentos en francés, se utilizaron dos estrategias: un traductor en línea y la ayuda de un experto en este idioma quien participó en la traducción de los textos, específicamente de las páginas o párrafos que hacían referencia al trabajo de investigación.

Para la identificación los párrafos o páginas que presentaban temas sobre aspectos como lo epistemológico, lo político, lo histórico, lo social y lo referente a la construcción del concepto de equilibrio químico, se verificó su inclusión en tres lugares del libro, revista o artículo: la tabla de contenido (esta sólo se tuvo en cuenta en los casos en el que el documento tenía más de 30 hojas y presentaba esta información), la introducción y/o presentación del texto y las palabras claves contenidas al final de algunos de estos, que direccionaban la lectura a las indagaciones anteriormente mencionadas. Los documentos de menos de 30 hojas se leían completamente con el fin de detectar información válida para el proceso de investigación.

Los contenidos de los documentos fueron interpretados, reconociendo aspectos concretos con la ayuda de instrumentos como fichas hemerográficas y RAEs, los cuales contenían las categorías específicas del análisis entre las cuales se puede mencionar los contenidos históricos, epistemológicos y sociales, teniendo en cuenta la época de publicación de los textos e intentando no caer en visiones anacrónicas.

Abordando las preguntas problema, el tipo de trabajo de investigación se fundamenta en un estudio de tipo documental de algunos textos originales de los científicos más significativos en la construcción del concepto de Equilibrio Químico, entre los cuales se trabajan específicamente los cuatro autores referidos con antelación; dicho proceso se desarrolló en las etapas descritas a continuación:

3.3.1 LA PRIMERA ETAPA: Reconstrucción Histórica

En primera instancia, se realizó la búsqueda y recolección de la información básica sobre el tema y se construye un primer acercamiento al concepto de afinidad química, posteriormente se recopilan algunos documentos originales publicados: Textos de los autores, estudios críticos sobre la afinidad química, revolución francesa, la química ilustrada, la medicina del siglo XVIII y la química

del siglo XIX, documentos digitales; entre los medios utilizados para este propósito se destaca la Biblioteca Luis Ángel Arango, Biblioteca de la Universidad Pedagógica Nacional y la Biblioteca Nacional Francesa, igualmente algunas revistas digitales.

Posterior a la recolección de los documentos, se realizó la traducción al español de algunos de ellos. Las ideas más importantes de la información y que cumplían con las categorías de los instrumentos se utilizaron para iniciar su elaboración, estas se presentan más adelante en los anexos donde se encuentran las fichas y RAEs. Finalmente, a partir de las consideraciones epistemológicas y didácticas propuestas desde el marco teórico, se realiza el análisis teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados y se elabora el presente documento que ha de permitir una visión más amplia en la enseñanza del Equilibrio químico o de algunos de los conceptos inmersos, generando nuevas posibilidades tanto a profesores como a profesores en formación del área de ciencias naturales y permitiendo continuidad de la investigación en esta área de interés no sólo educativo, sino social y cultural. Por último es importante recalcar que en búsqueda de la integración de los contenidos curriculares estos trabajos de investigación son una herramienta valiosa ya que brindan un panorama histórico dando herramientas a los docentes para integrar sus conocimientos y hacer clases más enriquecedoras a partir de un problema en este caso “químico”.

La construcción del concepto de equilibrio químico se plantea desde lo cualitativo partiendo del concepto de afinidad química hasta lo cuantitativo pasando por Berthollet, Guldberg y Waage, Van't Hoff y por último analizar el carácter dinámico de la afinidad y el equilibrio químico desde la teoría cinética, la termodinámica y la electroquímica.

En la siguiente tabla se hace referencia a lo descrito anteriormente:

I. Tablas de afinidad: Afinidad electiva (fuerzas) reacciones completas / una dirección
II. Berthollet $\text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ Afinidad/ masa de los reactantes Equilibrio – Estático (fuerzas) Reacción incompleta - Reversibilidad
III. Guldberg and Waage Concentración de reactantes / productos Equilibrio estático (fuerzas) $\alpha_x(p-X)^a \times (q-X)^b = \alpha'_x(p'-X)^{a'} \times (q'-X)^{b'}$ Ley de acción de masas
IV. Van't Hoff $\frac{k}{k'} = \frac{p'^{a'} \times q'^{b'}}{p^a \times q^b}$ Equilibrio dinámico Constante de equilibrio

Figura 3 Tomado y modificado de: A Historical/Philosophical Foundation for Teaching Chemical Equilibrium.

Dentro de los textos recolectados y algunas de sus traducciones ya sea de capítulos o páginas se encuentra, de:

Geoffroy, E. F:

- (1718) Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes substances. Mémoires de l'académie Royale des Sciences, Paris.
- (1852) Éloge Historique D'Etienne Geoffroy, M.Flourens, secrétaire Perpétuel.

Bergman, T:

- (1788) Traite des affinites chimiques ou atracctions electives. Paris, Buisson

Berthelot, M., Saint-Gilles, L. P:

- (1879) Recherche sur les affinités”, Chez Gauthier–Villiers. Paris
- (1903) La synthèse chimique Marcellin Berthelot”, Alcan - Bibliothèque scientifique internationale, Paris.

Berthollet, A:

- (1803) Essay de statique chimique par C. L. Berthollet, F. Didot, Paris.

Guldberg, C. M., Waage, P:

- (1879) Über die Chemische Affinität“, Erdmanns Journal Für Practiche Chemie, Amsterdam.
- (1867) Études sur les Affinités Chimiques“, Brögger & Christie, Christiania, Oslo.
- (1906) Principes Théoriques des Methodes D´Analyse Minerale fondées sur les Reactions Chimiques par M.G. Chesneau.

Van´t Hoff, Jacob Henrich:

- (1903) Physical Chemistry in te service of the science por Van´t Hoff, Jacob Henrich.
- (1884) Etudes de Dynamique Chimique par Van´t Hoff, Jacob Henrich.

EMM. Pozzi – Escot

- (1906) Mécanique Chimique, Pozzi – Escot

Mau Prud´Homme

- (1873 – 1913) Quarantenaire industriel du chimiste Mau Prud´Homme

Se tradujeron algunos capítulos de los anteriores documentos y sólo se elaboraron fichas y RAEs para los que se encuentran señalados.

3.2.2 SEGUNDA ETAPA: Sistematización y análisis de la información

La información se organizó en las fichas hemerográficas que permiten un reconocimiento inicial del texto a analizar, permitiendo su clasificación y datos de reconocimiento de los datos de búsqueda, es decir su ubicación, por medio de este instrumento no su puede realizar un análisis específicos de los criterios específicos que se buscan en la investigación, permiten identificar un libro en particular, localizarlo físicamente y clasificar las fuentes (Anexos), extraer aspectos sociales, políticos, culturales e identificar las relaciones en el grupo científico entre otros aspectos generales encontrados; el uso de estas fichas permitió el reconocimiento de testimonios que la actividad humana ha dejado (De la Torre y Navarro, 1990), logrando si se quería una calificación de la relevancia del material obtenido; se analizaron los diferentes aspectos con el fin de identificar las posturas epistemológicas de los autores y la influencia de los aspectos sociales, políticos y económicos que intervinieron en sus escritos.

Destacando el papel de los Resúmenes analíticos documentales o educativos, uno de los trabajos más importante acerca del resumen lo constituye el realizado por A. Brown, J. Campione y J. Day (1981), mencionado igualmente por Del Valle, F (2005). Los primeros autores, señalan que los lectores expertos utilizan con mucha frecuencia la estrategia de resumen para comprobar su nivel de comprensión, tarea que no es igual de fácil para los lectores menos expertos o novatos.

Por lo tanto es importante tener en cuenta:

1. Documentación: lectura y relectura del texto base.
2. Planeación: identificación y extracción de información relevante a través de diferentes estrategias: subrayado, resaltado, notas al margen, elaboración de esquemas y otros. Esta información es el insumo para la posterior textualización.
3. Textualización: elaboración de una versión preliminar del resumen.
4. Adecuación: revisión del lenguaje usado para garantizar que expresen las ideas del autor.
5. Revisión: en primer lugar, debe hacerse la corrección necesaria para garantizar la coherencia y la cohesión; en segundo lugar, es importante constatar que no se ha omitido información relevante.
6. Eliminar el material trivial, es decir que no hablan del tema o no retoma aspectos que se requieren en la investigación.
7. Realizar categorías de análisis de una lista de términos (mesa, cama, silla, sofá) por una categoría o término inclusivo (muebles). De una secuencia de acciones (cortar, rasgar, pegar) por una acción general (ensamblar).

3.3.2.1 Categorías de análisis de los instrumentos

En las fichas hemerográficas se determina inicialmente: Fecha de elaboración, posterior se identifica el autor del documento, conjunto con el título, del libro o capítulo analizado, es importante tener en cuenta en este punto el idioma original en el que se trabajó ya que en algunas publicaciones se requirió de transcripción al idioma original del trabajo de investigación.

Este instrumento permite la ubicación exacta de la publicación ya sea en físico o en medio digital, en algunos casos aplica el lugar de publicación, la editorial, el año, volumen y número de páginas; las anteriores se tienen en cuenta como información y ubicación del documento.

Dentro de los criterios de análisis se tuvo en cuenta:

- Los aspectos históricos de importancia del texto.
- Aspectos epistemológicos.

Por lo anterior, se toma como un instrumento inicial que permite un análisis general.

Como complemento al instrumento anterior, se realizó la elaboración de los resúmenes analíticos, que permitieron el conocimiento de información preliminar del documento como el resumen de la lectura realizada, las palabras claves pero en especial permitió la caracterización de las siguientes categorías de análisis:

- Posible procedencia del artículo
- Problema que aborda el autor
- Objetivos de la publicación
- Hipótesis planteadas por la publicación
- Metodología y estrategias seguidas por la publicación
- Tesis principal del autor
- Argumentos expuestos por el autor
- Conclusiones del documento

Finalmente, a partir de las consideraciones epistemológicas y didácticas propuestas desde el marco teórico, se realiza el análisis teniendo en cuenta todos los aspectos mencionados y se elabora el presente documento que ha de permitir una visión histórica en la enseñanza del equilibrio químico y contribuir a consolidar la historia social de las ciencias como una herramienta en el campo de la didáctica.

CUARTA PARTE: USOS DE LA QUÍMICA DEL SIGLO XVIII, UNA PERSPECTIVA HISTÓRICO - EPISTEMOLÓGICO

A partir de los instrumentos, las fichas hemerográficas y los RAEs, y el impulso previo generado por los objetivos planteados, se logró la interpretación de los siguientes aportes que se resaltan en este documento, y que se pretendieron como propósito principal en el aporte a la comunidad de didactas de las ciencias.

4.1. Simpatía/Empatía: Discusiones sobre las relaciones o atracción entre sustancias

Gracias a los estudios realizados en el campo de la institucionalización de la Química a partir del siglo XVIII y principios del siglo XIX (Gallego, Gallego y Pérez 2009; Bertomeu, 2006) las discusiones en Química estaban por la época en responder preguntas centrales como ¿De qué está constituido el mundo de los materiales?, ¿Cómo se comportan?, ¿Qué fuerza mantiene unidos a los compuestos químicos?, aunque estas preguntas no hayan sido encontradas textualmente en sus escritos, fueron inquietudes que surgieron y permitieron el trabajo de los químicos en su comunidad científica (Kuhn, 1962); que en ese momento presentaban ante ella sus diferentes teorías, las cuales, concordaban con las distintas experiencias ocurridas en sus laboratorios de trabajo, de esta manera, se retomaron ideas en cuanto a sus características, es así como Boerhaave, profesor de medicina, botánica y química, de Leiden, implantó el modelo de enseñanza de la química durante la primera mitad del siglo XVIII aunque no era adepto de la hipótesis flogística, sus ideas podían encajarse en el esquema de ella, y la ulterior fusión de los conceptos de Stahl y de Boerhaave, ambos originados de los de Van Helmont, Boyle y otros químicos del siglo XVIII, desembocaron en un sistema químico a partir del cual pudo Lavoisier desarrollar sus nuevas y brillantes ideas.

Es importante tener en cuenta que los trabajos de Boerhaave hacen parte de la institucionalización de la química en Francia. Desde finales del siglo XVII y comienzos del XVIII los políticos de los distintos Estados europeos se cuestionaron cuál debería de ser la política gubernamental más adecuada para alcanzar un aumento de la riqueza y consiguientemente del poder de cada una de estas naciones. Es obvio que en función de sus peculiaridades históricas, su estructura socio – política y la coyuntura socio – económica cada país dio una respuesta peculiar. Pero bajo esta diversificación existen un conjunto de rasgos homogéneos: la necesidad de un aumento de la producción y la atención que los estados le interesaba, pues, aumentar su población, que ésta

gozara de salud y estuviera empleada; por el contrario la enfermedad y muerte pasaron a ser problemas políticos de primera magnitud por su innegable trascendencia económica. (Douglas, 1953)

Fueron muy frecuentes y numerosas las voces que se levantaron en Europa defendiendo con diversos argumentos la necesidad de disponer de una población abundante tanto en Alemania, como en Inglaterra, Escocia y Francia, siendo este último país en el que más precozmente se pasó de meras propuestas poblacionistas al diseño y ejecución de programas concretos.

No se trató de voces ni opiniones aisladas de personajes más o menos influyentes, sino por el contrario formaban proyectos políticos y organizativos que en última instancia pretendían poner toda la vida social y económica al servicio del poder político del Estado (Douglas, 1951). Por otra parte se preconizaba un intervencionismo del Estado en todas las esferas de la vida pública e incluso privada; no en balde cualquier política poblacionista, sea natalista o antinatalista, incide muy directamente en los aspectos más íntimos de la vida privada. Pues bien, este sistema político y administrativo propio del Estado moderno de finales del siglo XVII y siglo XVIII ha llegado a ser conocido como mercantilismo o en su versión germánica como cameralismo.

Posiblemente la formulación más precoz y al mismo tiempo fecunda de un enfoque cameralista de los problemas de salud se la debemos a Ludwig von Seckendorff (1626 - 1692) quien durante varios años ejerció puestos en la administración de las cortes de los ducados de Gotha y Sachsen-Weitz. Sus escritos fueron altamente apreciados durante su vida y ejercieron una notable influencia incluso después de su muerte. Para Seckendorff los gobiernos debían tomar toda clase de medidas tendentes a lograr un mayor estado de salud de la población y en tal sentido los programas gubernamentales deberían contemplar las siguientes acciones e intervenciones: 1. Cuidado de los huérfanos, 2. Supervisión de las parteras, 3. Designación de médicos y cirujanos, 4. Protección contra las plagas y otras enfermedades contagiosas, 5. Regulación del uso excesivo de bebidas alcohólicas y tabaco, 6. Inspección de alimentos y agua, 7. Medidas para la limpieza y evacuación de excretas de las ciudades, 8. Mantenimiento de hospitales y 9. Ayuda a los pobres.

Buscando mejorar la salud pública y disminuir los índices de pobreza que oprimían a una gran parte de su población los franceses del siglo XVIII movidos por una posición mercantilista de política de población, productividad e intervención social decidieron solucionar sus problemas de asistencia social ya que hasta la Revolución consistía en la atención por parte de los municipios de sus indigentes y enfermos sólo cuando la magnitud de los problemas desbordaban a los Ayuntamientos y era preciso la intervención provincial o estatal. Dentro de este sistema colaboraban tanto la Iglesia como otras organizaciones de caridad (Metzger, 1923).

En el marco de esta estructura recibían atención médica las personas enfermas o afectadas por taras, pero a lo largo de todo el siglo hubo una gran necesidad de médicos, cirujanos y comadronas, situación ésta que se hacía más dramática en los momentos en que se presentaban epidemias. Este déficit asistencial dio pie a la aparición de diferentes instituciones basadas en la ayuda mutua y que garantizaban asistencia médica a sus miembros. En París el gremio de los enterradores o la asociación de sirvientes ofrecían asistencia médica a sus asociados. Sin embargo el problema de atención médica a los pobres seguía sin resolverse y de aquí que algunos reformistas utópicos, con clara sensibilidad social, propugnaran medidas para salir de esta situación (Douglas, 1953)

En la década de 1770 y por imperativos de una reforma política, se inició en Francia un debate sobre la naturaleza de la profesión médica y de la alianza entre el poder real, los médicos y los cirujanos que intentó organizar toda la medicina. La creación en 1776 de la Société Royale de Médecine fue la respuesta institucional en orden al logro de estos objetivos y su creador el primer médico del rey François de L'Assommoir (M. M Pattison, 1907). A esta institución se le encargó la lucha contra las enfermedades epidémicas y endémicas que azotaban a Francia, como una alternativa al nulo interés prestado por la Facultad de Medicina en París.

La fundamentación del saber médico que se impartía en esta institución estaba dada por la herencia del anatomista Andrés Vesalio (1514 - 1564), la construcción de anatomía descriptiva macroscópica de Jacob Winslow (1669 - 1760) y la de Samuel Thomas Soemmerring (1755 -

1830), la característica más típica de todos estos trabajos es que se basaban en estudios anatómicos. En 1732 Hermann Boerhaave (1668 - 1738) señaló que los perfiles de los profesionales deberían ser ampliados y para esto propuso que los químicos y médicos debían vencer la barrera que hacía difícil la aplicación de la química a la medicina. Según Boerhaave era desconsolador ver como los médicos más instruidos presentaran debilidades en sus conocimientos químicos y los químicos más inteligentes tienen escasos conocimientos en la medicina (Metzger, 1930)

Setenta años más tarde Antoine François de Fourcroy (1755 - 1809) se preguntaba: ¿Qué ocurrirá cuando se extiendan y sean más habituales estas indagaciones, cuando alcanzado todo el interés que deben despertar, estos grandes descubrimientos se multipliquen; cuando se establezcan hospitales destinados a tal empeño con la actividad que su importancia reclama; cuando los médicos no pierdan la ocasión de analizar materias morbíficas, etc? Es altamente significativo que en una fecha tan tardía como es 1800 Fourcroy se vea obligado a denunciar el bajo número de trabajos sobre química animal en relación con la gran masa de investigaciones posibles de realizar, el bajo número de cultivadores europeos (una veintena en los químicos) y la insuficiente institucionalización de la misma.

Al mismo tiempo se ve en la obligación de combatir en favor de la aplicación sistemática de la química a la medicina y la necesidad de apoyarse en esta ciencia básica con el objeto de edificar un nuevo saber médico.

Boerhaave fue el más influyente profesor de medicina a comienzos del siglo XVIII desde las diferentes cátedras que ocupó en la Universidad de Leiden: medicina, botánica y química. En efecto, él fue uno de los químicos más cuidadoso y competente de su tiempo y ejecutó gran número de experimentos con enorme paciencia, muy especialmente sobre líquidos orgánicos. En el curso de estos trabajos aisló la urea (sal *nativus urinae*) de la orina por medio de un proceso muy prolongado y demostró muchas propiedades de la orina, la leche, la clara del huevo o el suero de la sangre. El segundo volumen de sus *Elementa Chemiae* (1732) contiene extensas secciones

dedicadas a la química vegetal y animal. Pues bien, resulta significativo que Boerhaave alcanzase la plenitud de sus actividades en 1718, precisamente el año en que murió Le Mort, que era profesor de química en la Universidad de Leiden y que desde hacía ya algunos años se había sentido incapaz de explicar las lecciones. Por ello algunos estudiantes se había dirigido a Boerhaave para que les enseñase privadamente química y por tanto su nombramiento como profesor de química tras la muerte de Le Mort le proporcionó unas mejores y más cómodas condiciones de trabajo al proporcionársele un laboratorio químico, aunque en precario estado. Los cursos privados impartidos a los estudiantes, es decir, los apuntes de clase, fueron publicados con el título de *Institutiones et Experimenta Chemiae* en 1724 y dos años más tarde fue traducido al inglés. A pesar del enorme interés con que el libro fue recibido en amplios círculos, esta edición espúrea irritó enormemente a Boerhaave quien a pesar de la sobrecarga de deberes se afanó en la elaboración de un libro de texto. En 1732 aparecieron sus *Elementa chemiae* y el propio autor firmó cada uno de los ejemplares para distinguirlo de las ediciones espúreas.

Varios obstáculos se opusieron al desarrollo de la química médica a lo largo del siglo XVIII. Unos fueron de carácter científico – técnico y otros de tipo socio-profesional. En 1789 Fourcroy expuso en su influyente *Éléments d'histoire naturelle et de chimie*: El análisis animal es hoy día muy diferente de lo que era hace algunos años. Ya no se recurre a la descomposición por el fuego, se tratan las materias animales con reactivos y en partículas con los ácidos, por los álcalis, por el alcohol, etc. En efecto, durante los siglos XVII y XVIII el análisis de las sustancias orgánicas se realizó por medio de la destilación seca que tenía su origen en las prácticas tradicionales de los alquimistas (Metzger, 1930)

Con esta técnica los químicos obtenían una sucesión de líquidos caracterizados como volátiles, mucosos, salinos, ácidos, alcalinos u oleaginosos y por otra parte un residuo sólido. Pero los productos resultantes de la destilación de una sustancia determinada variaban de acuerdo con las condiciones del propio proceso destilador y por otra parte existía una cierta uniformidad en los resultados independientemente de la naturaleza de la sustancia examinada, por lo que el método no era el más adecuado para identificarlas químicamente. Este hecho, el no encontrarse unos

constituyentes inmutables en las sustancias orgánicas, dificultó la creación de unas bases teóricas que permitieran la identificación y clasificación de las mismas de acuerdo con su composición química. La limitada comprensión de las reacciones químicas en el mundo orgánico tuvo su reflejo en las teorías fisiológicas durante el siglo XVIII. La vaguedad, por ejemplo, con que estaba relatada la nutrición como proceso químico propició tres actitudes ante el mismo: Boerhaave en sus *Elementa chemiae* recurrirá a conceptos antiguos para explicar la transformación de los alimentos vegetales en sustancias animales; Albrecht von Haller (1708 - 1777), discípulo del anterior y el más grande fisiólogo de su tiempo, renunció en su *Prima lineae physiologiae in usum preaelectium academicarum* (1747) a explicar los fenómenos nutricionales en términos de transformaciones químicas y William Cullen (1710 - 1790) en su *A treatise of the materia medica* (1789), tras reconocer el desconocimiento existente sobre el proceso de conversión de los vegetales en sangre u otros productos animales, pensó que estos cambios eran el resultado de un poder especial presente en la economía animal y que parecía ser análogo a la fermentación putrefactiva. Sin embargo Haller usó analógicamente los resultados de la destilación de la sangre para explicar el proceso de secreción glandular: como los químicos habían pensado que el análisis sólo hace separar compuestos preexistentes en la sangre, Haller diseñó este proceso en base a admitir que se trataba de una separación de la circulación de sustancias ya presentes en la sangre.

Por otra parte los perfiles profesionales de médicos y químicos, como muy bien señaló Boerhaave en su libro *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, fueron una difícil barrera de superar. En efecto, por aquellos años los químicos no sólo desconocían la medicina, sino que buena parte de sus investigaciones se dirigieron hacia campos de gran importancia económica tales como la metalurgia, la explotación minera o la tintorería. Posiblemente el campo de la Farmacia podía encontrarse a mitad de camino entre estas actividades y la propia medicina.

Boerhaave no sólo se preocupaba por los aspectos médicos sino por establecer la distinción entre el fuego que manifiesta en el calor y que se manifiesta en la combustión, distinción que antes nadie había hecho. Esto abre la ruta para considerar el fuego como una sustancia material, conceptos que luego utilizó Lavoisier para desarrollar su teoría del calórico, y más tarde, daría paso a ideas

termoquímicas tales como la del calor latente de Black. Boerhaave creyó que una reacción química era exactamente lo mismo que una disolución: el disolvente o menstruum, usualmente líquido, estaba compuesto de partículas finas que se movían entre las de la sustancia disuelta, y los átomos de cada clase permanecían luego suspendidos y relacionados unos con otros según lo requiriesen las afinidades mutuas de ambas sustancias. Aquí Boerhaave introduce el término de afinidad en una sustancia que se conservó durante todo el siglo siguiente.

A partir de estas ideas, Boerhaave deduce que el aumento de peso producido en la calcinación se debía a la captación de partículas de fuego dotadas de peso por parte de la sustancia que se calcinaba. El hecho de que Boyle un científico reconocido, coincidiera con Boerhaave hizo que su explicación fuera acogida. La idea de que el fuego, el calor y la luz fuesen sustancias materiales, sugerida en principio por la hipótesis cartesiana del éter y apoyada ahora por tan firmes autoridades, fue aceptada en el pensamiento químico hasta que el concepto de energía, en el siglo XIX la hizo innecesaria (Boyle, 1672)

La teoría del flogisto y su casi completa aceptación hacía mitad del siglo XVIII coincidieron con una gran acumulación de hechos químicos. Las investigaciones mostraban que los elementos eran sustancias tan materiales como los compuestos que se trabajaban en el laboratorio. Así, por ejemplo, no se podía ignorar por más tiempo el aumento de peso que los metales experimentaban al calcinarse.

Boyle y Boerhaave, explicaron que este aumento de peso se debía a que los cuerpos incluían partículas de fuego durante la calcinación, esta explicación satisfizo a muchos. Cuando se comprendió la parte que jugaban los gases en la combustión, supusieron que la pérdida de flogisto podría compensarse con la incorporación de otra sustancia de mayor peso. Los desacuerdos entre los flogisticistas, la acumulación de hipótesis no satisfactorias y la constante necesidad de revisar éstas cada vez que se descubrían hechos nuevos, hizo inevitable que la teoría del flogisto tuviese que caer en cuanto se dispusiese de una teoría más racional.

Junto con la hipótesis flogisticista se desarrolló la teoría de la afinidad, si tenemos en cuenta la amplia aceptación de las teorías de Newton los químicos no tardaron, en explicar el concepto de afinidad según sus ideas. Newton se adscribió incondicionalmente a la filosofía de Boyle, a la que añadió mecanismos de atracción y repulsión para explicar los fenómenos gravitacionales de la materia planetaria bruta, sino también las simpatías (afinidades) y antipatías (repulsiones) químicas que las sustancias individuales ejercían entre sí. Estas facultades propias de la materia, Newton las atribuyó a su teoría del éter como sustento físico de la acción a distancia de la fuerza de gravedad (Newton, 1952).

La progresiva caracterización de fenómenos eléctricos y magnéticos encontró una vía de explicación cuantitativa en las propiedades del éter newtoniano y contó desde aquel momento con una importante conexión teórica con los desarrollos de la física newtoniana a lo largo del siglo XVIII. Los fenómenos eléctricos y magnéticos favorecieron por su parte la aceptación progresiva de la nueva revisión de la naturaleza de las fuerzas newtonianas, y la física de Newton, con su propuesta de un éter imponderable y perfecto, permitió el desarrollo de teorías cualitativas acerca de la naturaleza de los inciertos fenómenos de la física experimental que abrían las puertas a una nueva orientación metodológica. En las cuestiones 31 y 32 de su libro *Óptica*. Newton sugiere que entre partículas existen fuerzas de enorme intensidad que, sin embargo, tan sólo alcanzaban cortas distancias y cuya potencia variaba de una especie química a otra. Esta hipótesis de las fuerzas de corto alcance le llevó a especular acerca de lo que los químicos del siglo XVIII llamaron “afinidades electivas” y la razón por la cual los metales se reemplazaban mutuamente en las disoluciones ácidas, portando el propio Newton el orden de sustitución de seis metales comunes disueltos en ácido nítrico (Newton, 1952).

Con el fin de que la idea Newtoniana fuese de utilidad general, los químicos sintieron la necesidad de elaborar tablas de afinidad, estas consideraciones se hacen evidentes dentro de la publicación *Éloge historique d'etienne Geoffroy Saint – Hilaire* (Anexo 1) en esta publicación Etienne – François Geoffroy usualmente llamado Geoffroy el Mayor, para distinguirlo de su hermano, que también era químico. Las tablas en la época tienen dos objetivos primero expresar la capacidad de

reacción de los compuestos individuales unos con otros, segundo predecir la de otros compuestos en reacciones similares. Sin embargo en su publicación *Mémoires de l'académie royale des Sciences de 1718* Geoffroy deja ver su idea básica frente al concepto de afinidad *“Siempre que dos sustancias con cierta disposición para unirse entre sí estén ya unidas, y se añada una tercera que tenga más afinidad por una de ellas, dicha tercera sustancia se unirá con ésta, separándola de la otra”*. Geoffroy construyó una tabla de dieciséis columnas, cada una encabezada por un símbolo alquímico de una sustancia química y escribió en ellas las otras sustancias que, según la experiencia demostraba, eran capaces de reaccionar con la que encabezaba dicha columna. Geoffroy explicaba que las *“sales alcalinas fijas están colocadas inmediatamente debajo de los espíritus ácidos, porque yo no conozco una sustancia alguna que pueda separar unas de otros una vez que se han unido, y, por otra parte, cuando uno de los tres tipos de sustancias situados más abajo está unido a un espíritu ácido, abandona su sitio a favor de una sal alcalina fija, la cual, al añadirse, se combina directamente con el ácido”* (Anexo 1) Intentando ejemplificar el párrafo de Geoffroy los espíritus ácidos ocupan la cabeza de la primera columna y debajo figuran los símbolos de las sales alcalinas fijas (carbonatos), de las sales alcalinas volátiles (sales amónicas), de las tierras absorbentes (bases no efervescentes) y de las sustancias metálicas.

Las tablas de Geoffroy se hicieron muy populares y alcanzaron su culminación en 1775 con la elaborada compilación del químico sueco Tobern Bergman (1735 - 1784) (Actes d'Upsal, 3 de 1775). Bergman contribuyó notablemente al desarrollo del análisis cuantitativo, por lo que conocía las diferencias entre reacciones de muchos compuestos por vía húmeda (en solución) y por vía seca (en fusión), y construyó tablas de afinidad parecidas a las de Geoffroy, el estudio de Bergman fue tan detallado que amplió notablemente las tablas (59 sustancias para ambos métodos de reacción) (Anexo 1). Dos aportes significativos de Bergman es que realizó la distinción entre “atracción de agregación” en las sustancias homogéneas, que solamente originaba un aumento de masa, y la “atracción de composición” en las heterogéneas, que daba lugar a la formación de un compuesto. Distinguió dos tipos de atracción, una “electiva simple” lo que conocemos hoy como reacciones por desplazamiento simple y “electivas dobles” reacciones de doble descomposición, como lo vemos en los escritos de M. Flourens esta terminología persistió por muchos años.

El problema que debió enfrentar Bergman fue el incremento de compuestos químicos conocidos que hizo que la construcción de las tablas se hiciera cada vez más complicada, en su publicación *De attractionibus electivis de 1775 en la página 38*, Bergman afirma: *para determinar todas las relaciones necesitaría más de 30000 experimentos independientes*. También suponemos que debía realizar algunas hipótesis arbitrarias. Bergman debió reconocer que, en algunos casos, las cantidades de los reactivos o las diferentes condiciones experimentales ya sea de la fusión o de la solución podían influir en el resultado de la reacción, aunque no se consideró como una anomalía ya que Bergman aseguraba que estas discrepancias eran accidentales y que el orden de las afinidades era una constante auténtica (Bergman, 1775).

Cada uno de los científicos que hemos nombrado participó en la institucionalización de la química con cada una de sus publicaciones en este caso Bergman popularizó sus ideas en los diccionarios y enciclopedias de química que comenzaron a aparecer en el siglo XVIII y que probablemente fueron consecuencia del interés más amplio por la ciencia desarrollado en el siglo anterior gracias a la labor divulgadora de Lémery (Anexo 1), estas obras extendieron todavía más el conocimiento científico general. El primer diccionario de P.J Macquer (1718 - 1784), apareció en 1766, retomaba el concepto de Geoffroy y en su segunda edición de 1778 estaba más orientado al concepto de Bergman. Guyton de Morveau (1737 - 1816) escribió en 1786 en su artículo *Encyclopédie méthodique*, siguiendo las ideas de Bergman. Gracias a estas publicaciones principalmente se expandieron hasta el final del siglo XVIII.

El carácter cualitativo del concepto de afinidad sigue sin responder con claridad las preguntas planteadas al inicio de este capítulo por lo tanto es preciso darle un enfoque más cuantitativo, este enfoque se lo da la historia intentando medir con precisión las afinidades de las diversas sustancias. En 1700, Wilhelm Homberg (1652 - 1715) procuró determinar la cantidad de base necesaria para neutralizar distintos ácidos (Muir, pp. 289 - 290). C. F. Wenzel (1740 - 1793) intentó determinar en 1777, las velocidades relativas de solución de los metales en los ácidos (Muir, pp. 383). En 1781, Richard Kirwan (1733 - 1812) perfeccionando la idea de Homberg precisó que los

pesos de distintas bases que se necesitaban para saturar un peso conocido de un ácido constituían una medida de la afinidad de este ácido por dichas bases. Ninguno de estos métodos dio resultados que pudieran ser reproducidos por otros científicos, así que en enfoque cuantitativo se lo da Cavendish, Ritcher y Wollaston al establecer la teoría de los equivalentes químicos.

Ya sabemos que la fuerza que mantiene unidos a los compuestos es la afinidad química, el enfoque cualitativo que han dado nuestros científicos inicio siendo una relación entre simpatías y antipatías, que posteriormente bajo el amparo del paradigma Newtoniano, logra dar una visión mecanicista de estas fuerzas análogas a las gravitacionales, en la búsqueda de una química cuantitativa se generan las primeras tablas, logrando especialmente en Geoffroy y Bergman una rigurosidad tal, que buscaban generar tablas que explicasen todas las reacciones químicas y siguiendo la tradición estipular leyes a partir de ellas, ¿cuál era el objetivo? expresar matemáticamente las reacciones químicas. ¿Qué tan cercanos estaban al equilibrio químico desde el concepto de afinidad? Para Bergman las reacciones químicas eran completas y se producían en un solo sentido, sin embargo no eran ajenos a sus conocimientos otros factores que también intervenían en las reacciones químicas: la posibilidad de formación de gases dependiendo de la temperatura, la solubilidad de las sustancias o la influencia de la cantidad de sustancia en la reacción química. Podríamos concluir que aunque para Bergman el sentido de la reacción sólo dependía del orden relativo de las afinidades respectivas, en los siguientes años se van encontrando reacciones anómalas: las que dependen de las masas de las sustancias, solubilidad o volatilidad, aunque para Bergman como lo nombramos anteriormente no fueran sino factores externos.

El concepto de afinidad no sólo despertó el interés de la comunidad científica sino también en la literatura y en el desarrollo de la química vegetal enfocada a la medicina.

4.1.1 Afinidad entre química y literatura

Los años que preceden a la publicación, en 1809, de las *afinidades electivas* están llenos de episodios personales e intelectuales que pueden explicar la mezcla de literatura y ciencia, de

fatalismo y rebelión que recorre la novela. En el plano personal, Johann Wolfgang Goethe empieza el siglo habiendo superado los cincuenta años, una edad que, en aquel tiempo y en la mayoría de los casos, significaba entrar en la recta final de la vida, aunque el autor alemán llegaría a los 82 años. En 1801 se le declaró una afección de riñón que pasaría a ser crónica, en 1805 murió su gran amigo Friedrich Schiller y en 1808 perdió a su madre, a quien había estado muy unido.

Por lo que respecta a la actividad intelectual, es tan destacada como diversa y hace patente los diferentes intereses del poeta. En 1808 acaba la primera parte de su Fausto, obra que llevó toda la vida con él y que no culminó hasta poco antes de morir, y continúa trabajando en Wilhelm Meister. Pero en 1803 también pasa a dirigir los Institutos de Ciencias Naturales de la Universidad de Jena, publica varios estudios sobre botánica, así como Metamorfosis de los animales (1806), e inicia su Teoría de los colores (1809-1810), que científicamente le desprestigiaría por la crítica contundente y absoluta que hacía a los trabajos de Newton.

Es en esta etapa rica y convulsa –en 1806 el ejército de Napoleón había tomado y saqueado Weimar– cuando Goethe elabora una novela que desde el título mismo toma una metáfora química y que parece querer mostrar la escasa capacidad de los humanos para hacer frente a un destino que parece implacablemente establecido por unas leyes inexorables. Estamos en el siglo XIX, la era de la racionalidad y el cálculo, y todo parece bien ordenado y previsible. El joven y desgraciado Werther queda lejos y Goethe parece estar de acuerdo con los signos de los tiempos cuando escribe una novela que se puede casi resumir con una ecuación. Pero quizá todo esto sea demasiado simplista y la obra acepte también lecturas muy diversas.

4.1.2 Goethe y la afinidad entre química y literatura

Goethe elabora una novela que desde el título toma un concepto químico y lo metaforiza, parece querer mostrar la escasa capacidad de los humanos para hacer frente a un destino que parece implacablemente establecido por unas leyes inexorables.

Edouard y Charlotte reviven un amor juvenil que había quedado truncado por la oposición de las respectivas familias y se casan gracias a que los dos se han quedado viudos. La tranquilidad de su vida se ve alterada por la llegada de un amigo de Edouard, el capitán, y, después, por una joven sobrina de Charlotte, Ottilie. Tanto el título como los hechos que se producirán son avanzados, sin que el lector lo sepa, en la conversación que mantienen, en el capítulo cuarto, el matrimonio y el capitán –Ottilie aún no había llegado– durante la práctica usual de aquellos tiempos de hacer lecturas en voz alta y en grupo. La palabra parentesco llama la atención de Charlotte y Edouard le explica que su uso en aquel libro es metafórico, referido a los minerales. Pero eso da pie a explicar al capitán, hombre culto y versado en ciencias, en qué sentido se utiliza esa palabra.

Comenta que la leyó hace un tiempo y que no sabe si ahora, en el mundo científico, aún se piensa lo mismo. Y eso da pie a Edouard para calificar de muy enojoso «que hoy no se pueda aprender nada para toda la vida», afirmación que aprovecha Goethe para transmitir la idea de un mundo cambiante e inestable. «Llamamos afines a aquellas naturalezas que al encontrarse se aferran con rapidez las unas a las otras y se determinan mutuamente», explica el capitán. Y pone como ejemplo los ácidos y los álcalis, que, siendo tan diferentes, se unen, se modifican y forman un cuerpo nuevo. Edouard comenta que «las relaciones comienzan a ser interesantes cuando provocan separaciones». Y esta última palabra le parece triste a Charlotte, porque considera que se oye demasiado a menudo en el mundo.

El capitán reanuda la explicación con un ejemplo: [...] *lo que llamamos piedra caliza es cal, más o menos pura, íntimamente ligada a un ácido débil que hemos conocido en forma de gas. Si se introduce un fragmento de dicha piedra en ácido sulfúrico diluido, éste ataca la cal y aparece después unido a ella en forma de yeso, mientras que el ácido débil y gaseoso desaparece. Aquí se ha producido una separación, ha surgido una nueva combinación, y uno se siente autorizado incluso a utilizar el término de «afinidad electiva», puesto que realmente parece como si se prefiriese una relación a otra o existiese una elección preferencial.*

Edouard hace entonces el siguiente comentario: «*A fin de cuentas, ves en mí la cal, atraída por el capitán en forma de ácido sulfúrico, que me arrebató tu encantadora compañía, convirtiéndome en yeso refractario.*»

Charlotte le replica: *Pero el hombre está muy por encima de tales elementos, y si en este caso se ha comportado generosamente con las hermosas palabras de «elección» y «afinidad electiva», hará bien en reflexionar, con este motivo, sobre el valor de tales expresiones.* Por desgracia, son bastantes los casos que conozco en los que una íntima y aparentemente indisoluble unión de dos seres se vino abajo por la casual compañía de un tercero, y uno de los que antes estaban bellamente unidos fue marginado y distanciado.

Edouard concluye: «En un caso de éstos, los químicos son mucho más galantes. Asocian un cuarto elemento para que nadie se quede solo». Más adelante, el capitán describe un ejemplo «en lenguaje cifrado»: Imagínese una A íntimamente unida a una B, de la que no es posible separarla por medio alguno, ni aun por la fuerza; imagínese igualmente una C que se comportase de idéntica manera con una D; ponga usted ahora a las dos parejas en contacto: A se lanzará sobre D y C sobre B, sin que pueda decirse quién abandonó primero al otro, ni quién fue el primero en unirse nuevamente al otro.

Y Edouard aplica la explicación genérica al caso concreto que implica al matrimonio y a sus dos invitados: ¡Y ahora! – Intervino Edouard–, hasta poder contemplar el ejemplo con nuestros propios ojos, consideremos dicha fórmula como una parábola de la que sacaremos una enseñanza de uso inmediato. Tú, Charlotte, representas la A y yo, tu B, pues, en realidad, yo dependo solamente de ti y te sigo como la B a la A. La C es evidentemente el capitán, que, por esta vez, me aleja, en cierto modo, de ti. Es, pues, justo, que si tú no quieres desplazarte hacia lo incierto, se te proporcione una D, y ésta sería sin duda alguna la amable damisela Ottilie, a cuya venida no debes resistirte por más tiempo. Aquí queda esquematizado el argumento de la novela, aunque Edouard no ha acertado “o no ha querido acertar” con las reacciones que realmente se producirán.

Tabla N° 1 Tomado de GOETHE, J. W., 1991. *Les afinitats electives*. Proa. Barcelona

En todo caso, también debería quedar claro que la metáfora de Goethe va mucho más allá de un título que copia el de un tratado científico de la época. No debería sorprender la semejanza entre algunos párrafos de la novela, que hemos reproducido antes, y otros del libro de Bergman. Así, recordaremos una explicación del capitán si leemos la que hace Bergman:

Sea una sustancia A que otras sustancias heterogéneas A, B, C atraen: supongamos, por otro lado, que A combina con c hasta el punto de saturación, lo que designamos como la unión de A y de C = AC, tiende a unirse a B cuando se le añade, y se separa de c. Se dice entonces que A atrae más fuertemente a b que c, o que B tiene una atracción electiva más fuerte que C. Supongamos finalmente que AB se descompone por la adición de a, que b sea rechazada, y que a tome su lugar, se deducirá que la fuerza atractiva de A supera a la de b y que la serie a, b, c, etc. será exactamente el orden de eficacia de las fuerzas atractivas de estas tres sustancias. (Bergman, 1788)

Existe, según Bergman, un orden natural de las sustancias, y después pone ejemplos concretos. Y aquí no desentonaría la explicación que el capitán hace sobre la piedra caliza y el ácido. Pero Goethe no se limita a introducir en la novela estas referencias. De hecho, la noción de afinidad electiva, de unas leyes que obligan a ciertas uniones e impiden otras, recorre la obra. Es por eso que al final las reacciones de ruptura y reordenación de las personas-sustancias y las parejas-moléculas se producen, pero no de la manera como Edouard había explicado. La sustancia que separa A (Edouard) de B (Charlotte) no es C (el capitán), sino D (Otilie). Al mismo tiempo, Charlotte no evita la soledad gracias a Otilie, sino precisamente gracias al capitán. De aquí que alguna vez la novela se ha esquematizado en esta forma: $AB + CD \rightarrow AD + BC$

Si bien aquí falla la existencia de CD, una pareja que integrarían el capitán y Otilie y que en realidad no existe nunca. Pero el hecho es que si analizamos el carácter de cada personaje, la reacción debía producirse inevitablemente. Edouard es inmaduro, egoísta y caprichoso. Otilie es una chica muy joven, frágil e inexperta.

Charlotte es racional y previsor. El capitán es también racional, pero además es inteligente, honrado y resolutivo. Si la afinidad electiva funciona, no hay otra reacción posible. Edouard tiene

que sentirse atraído por Otilie y Charlotte y el capitán deben acabar juntos. Incluso es imposible que cuando Edouard y el capitán marchan a la guerra, nuevos pretendientes tengan algún tipo de posibilidad con Charlotte o con Otilie: no hay afinidad.

Destaca, pues, este funcionamiento ineluctable de las cosas, una especie de mecanismo social que funciona como un conjunto de engranajes y que constituye un destino inevitable. Está claro que los personajes pueden rebelarse, pero al final lo que prima es la ley natural, como pasa con los objetos y con las sustancias. Eso no quita que la novela sea claramente romántica y que el final sea trágico.

Como colofón, podríamos tomar la metáfora y aplicarla a Goethe y a su obra en conjunto. Apasionado de la ciencia, no se limitó a cultivarla y a dejar trabajos notables –así como errores colosales–. No solo fue organizador de estudios técnicos y de estructuras industriales. Encontramos desperdigadas por sus obras literarias numerosas referencias científicas. El hombre que quería pasar a la historia sobre todo como científico alcanzó una grandeza literaria que eclipsó su otra vertiente. Pero incluso así esparció ciencia por su obra narrativa y poética. Era como si las afinidades electivas ineluctables también hubiesen producido finalmente una reacción que, sin romper nada, formaba una nueva y valiosa pareja entre la química y la literatura.

Por último Goethe, reconoce un nuevo tipo de ciencia, que debe aceptar que el conocimiento adquirido a través del aprendizaje, basado en la experiencia real, no es inferior al conocimiento deductivo, basado en las leyes, sino que responde a una necesidad irreductible, impuesta por la actividad química, por las afinidades y por las pasiones de la materia.

4.1.3 En la búsqueda de la afinidad en los estudios de química vegetal

El estudio de la química vegetal estuvo alentado por los usos terapéuticos y curativos en el Jardín du Roi, a finales del siglo XVII, la Academia inició un programa de investigación con el objetivo de estudiar mediante el análisis químico las causas terapéuticas del reino vegetal. Claude Bourdelin

realizó informes regulares e interminables sobre el aporte de las plantas. Las conclusiones que obtuvo fueron decepcionantes ya que el análisis de plantas con propiedades terapéuticas diferentes producían resultados similares, mientras que paradójicamente, vegetales con poderes curativos similares arrojaban datos analíticos diferentes. El problema radicaba en el método utilizado: la destilación mediante calentamiento con fuego, que daba como resultado agua, sales alcalinas, vapores volátiles, cenizas y líquidos oleaginosos que difícilmente podrían ser analizados según las técnicas experimentales del siglo XVIII.

El aparente fracaso motivó a científicos como Andreas Sigismund Marggraf (1709 - 1782), Guillaume – François Rouelle (1703 - 1770) o Wilhelm Carl Scheele (1742 - 1786) en la búsqueda de nuevos métodos de análisis que no implicaban necesariamente la destrucción de los materiales estudiados, este método es conocido como “análisis inmediato” basado en el uso de solventes como el agua o el alcohol que permitían extraer sin destruir las sustancias presentes en los vegetales.

Los miembros de la Académie des Sciences fueron también protagonistas del desarrollo de las sales en el siglo XVIII, especialmente Wilhelm Homberg (1652 - 1715), un médico centroeuropeo que trabajó en el análisis vegetal de sus predecesores. Realizó un trabajo sobre la naturaleza de las sales, Homberg separó los ácidos de las bases y los agrupó bajo el nombre de “sales medias” o “sales mixtas”, una denominación que más tarde sería cambiada por la denominación de sales neutras.

La definición de sal media dada por Homberg implícitamente aceptaba que dos sustancias diferentes podían formar un compuesto cuyas propiedades no tenían relación directa con sus componentes. Por otro lado, frente a la noción tradicional de elemento o principio químico, los componentes de las sales medias eran sustancias tangibles y reconocibles en el laboratorio químico por sus propiedades, por lo tanto podían obtenerse mediante combinaciones adecuadas. Esta aproximación permitió a los químicos franceses avanzar en diferenciar y agrupar los distintos tipos de álcalis, ácidos y sales.

Henri – Louis Duhamel du Monceau (1700 - 1782), en 1736 realizó trabajos que lo condujeron a diferencias entre dos tipos de álcalis fijos, que más tarde fueron conocidos como sosa y potasa. Es así como la noción de sal media o neutra en la denominación moderna se transformó en un punto de partida que sirvió para la creación de las tablas de afinidad, un concepto clave en la reconstrucción del concepto de equilibrio químico del siglo XVIII.

Las investigaciones anteriormente nombradas hicieron parte de la construcción del concepto de afinidad química ya que es evidente que la comunidad necesitaba explicar que ocurría en las reacciones químicas, pero adicional a esto, existían científicos reconocidos que con sus investigaciones y publicaciones intentaban institucionalizar la química este es el caso de Nicolás Lémery (1645 - 1715), un farmacéutico de París que dio conferencias o lecciones públicas de química dentro de la tradición del Jardín du Roi, y publicó en 1675 un popular texto, el Cours de Chimie. El libro era práctico en gran medida, y, en sus recetas para la preparación de medicinas químicas, hay una gran cantidad extraída de la labor de los químicos – farmacéuticos que le precedieron, en especial de Chistofe Glaser (Milt, 1942). Lémery no se adhirió específicamente a una teoría con preferencia a las otras, pero se interesó más en el movimiento de los átomos que en su forma (Metzger: op. Cit., pp.273 - 274). A continuación se desarrollan algunas ideas de Lemery y su impacto en la comunidad científica.

4.2 Nicolás Lemery y su curso de química:

Lemery inició su formación como aprendiz de farmacia bajo las ordenes de un maestro boticario, Pierre Duchemin, quien se comprometió a darle bebida, comida, fuego, cama y aposento y a enseñarle el arte y el oficio. Lemery durante los seis primeros años aprendió las operaciones farmacéuticas y trabajó como aprendiz en la botica de su tío Pierre. Lemery realizó el tradicional “compagnonnage”, un viaje de estudios que permitía a los aprendices completar su formación visitando boticas de otras poblaciones de su entorno. En su recorrido Lemery conoció al suizo Christopher Glaser (1615 - 1672). Glaser se encargaba de impartir cursos de química en el llamado

Jardín Real de Plantas Medicinales de París. Más tarde se dirigió a Montpellier y siguió algunos de sus estudios en una prestigiosa Facultad de Medicina, entre ellos los de química.

La Universidad de Montpellier enseñó química durante el siglo XVII y XVIII. Con el apoyo del médico de Louis XIV, la universidad contrató a Sebastien Matte la Faveur (1626 - 1714), como demostrador de química, él era un fabricante de vidrio que tuvo muchas dificultades para ser aceptado por los profesores de la facultad. Estos cursos comenzaron alrededor de 1670, año en el que Lemery visitó Montpellier.

Las facultades de medicina fueron uno de los pocos espacios donde la enseñanza de la química logró estar presente en las universidades de esos años. A principios del siglo XVIII, se crearon cursos de “chemiatria” (química medica) en la Universidad de Marburgo, pero sólo en la segunda mitad de esa centuria se consolidaron un número significativo de cátedras de química en Jena, Leipzig o Nuernberg (Bertomeu, 2006).

El Jardín Royal de Plantes Médicinales, pasó a ser conocido como Jardín du Roí, fue establecida por edicto real de 1635 con el objetivo de ofrecer cursos de botánica que complementarían la formación de los médicos parisinos. En 1648, se introdujo la cátedra de química. Durante los siglos XVII y XVIII el Jardín du Roí se transformó en uno de los principales centros de enseñanza de esta nueva disciplina. Entre los primeros profesores figuraban Nicaise Lefebvre (1615 - 1669) y Christopher Glaser (1615 - 1672), autores de populares libros de texto de química, que fueron reeditados en numerosas ocasiones y traducidos a varias lenguas europeas.

Los cursos del Jardín du Roí de París fueron seguidos principalmente por estudiantes de medicina y aprendices de farmacia, a cuya formación se había destinado inicialmente la nueva institución. Durante el siglo XVIII, a este público fue sumándose otro mucho más variado en el que se confundieron artesanos, viajeros, gentes acomodadas y aristócratas que por interés, necesidad, curiosidad o simple divertimento encontraron en las lecciones y las demostraciones

experimentales un modo accesible de conocer las nuevas ciencias y sus aplicaciones (Bertomeu, 2006).

Nicolás Lemery tras su paso por Montpellier, se dirigió nuevamente a París a colaborarle a un distinguido boticario de la familia real quien le permitió disponer de un rico laboratorio para impartir sus cursos de química, que pronto lo harían famoso. Sus estudiantes eran aprendices boticarios, médicos, farmacéuticos en ejercicio y representantes de la nobleza parisina. Está es una de las principales razones de que el manual de química de Lemery se hiciera tan famoso, fue traducido al inglés, alemán, italiano, latín, holandés y castellano, esta última por el farmacéutico Félix Palacios y Bayá (1677 – 1737).

4.2.1 El éxito de la obra de Nicolás Lemery:

El libro contenía una discusión sobre los diferentes nombres con los que se conocía la química: arte espagírico, arte hermético, alquimia o pirotecnia. Según Lemery, la química era un arte que se enseñaba para separar las diferentes sustancias que se encontraban en las cosas que crecen naturalmente, lo que definieron como los mixtos, es decir, los minerales, vegetales y animales. La división en tres reinos, los tres principios de Paracelso (sal, azufre, mercurio) y los cuatro elementos aristotélicos (tierra, agua, aire, fuego) dio lugar a diferentes combinaciones. En 1641, Étienne de Clave, afirma que existían cinco cuerpos simples: aire, agua, azufre, mercurio y sal, estos cuerpos hacen parte de la composición de los mixtos.

Un década después, un profesor de química del Jardín du Roí de París, Nicaise Lefebvre (1615 – 1669) afirmaba que la fuente y la raíz de todas las sustancias era una sustancia espiritual homogénea a la que denominó “espíritu universal”, que contenía los cinco cuerpos. (Anexo N° 1)

Christophe Glaser (1615 – 1670 - 78) aprendiz de Lemery publicó en 1663 una clasificación que consistió en dividir los cinco principios activos (mercurio, azufre y sal) y pasivos (agua y tierra). Al igual que Lefebvre, Lemery consideró que el primer principio de la química era un espíritu universal

que daba lugar a diversidad de cosas. En la obra de Lemery de 1683 aclara, que la expresión “principio” no debía ser empleada en sentido estricto ya que no eran más que sustancias separadas y divididas. Por otro lado Lemery dedicó varios de sus capítulos para interpretar los procesos químicos corpusculares y mecanicistas (Lemery, 1687)

Un claro ejemplo de la visión mecanicista es la explicación de la acción sobre los metales de dos ácidos, el agua fuerte y el espíritu de sal (Lemery, 1687). Los dos ácidos presentaban características muy similares por lo que se suponía que ambos estaban formados por partículas puntiagudas cuyo movimiento permitía explicar la reacción vigorosa frente a sustancias como los álcalis o los metales. Sin embargo existía un fenómeno que cuestionaba a Lemery: cuando se mezclaba mercurio con agua fuerte, el metal se disolvía, formándose una disolución casi transparente. Si a esta disolución se le añadía un poco de espíritu de sal, se producía un precipitado, es decir, un depósito sólido en el fondo del recipiente donde se había realizado el proceso. ¿Por qué dos sustancias tan similares tenían efectos tan diferentes?

“Para resolver esta dificultad es necesario aceptar que los ácidos difieren en la forma puntiaguda de sus partículas, a pesar de que, por los sentidos, percibimos que todos ellos producen el mismo efecto de picar y penetrar. Una vez aceptado este hecho, resulta posible explicar la precipitación: el espíritu de sal está compuesto de puntas más groseras o menos delicadas que las del agua fuerte, por lo que al caer sobre la disolución, chocará, sacudirá y romperá fácilmente las puntas de las partículas de agua fuerte, cargadas del cuerpo de mercurio, y les hará perder su presa, de donde procede que el mercurio precipite por su propio peso” (Metzger, 1923).

Esta es una explicación mecanicista del libro de Lemery. Metzger (1889 - 1944), considera que estas explicaciones mecanicistas fueron la clave de la obra de Lemery, puesto que conectaron la química con una de las principales corrientes filosóficas de su época y de esta forma transformar áridas descripciones de operaciones y recetas en una lectura atractiva para un público no especializado. (Anexo N° 1)

Lemery también describió numerosos procesos relacionados con el mundo vegetal o animal como la fermentación o la putrefacción, esenciales en el siglo XVIII. Lemery denominaba mortificar al cambio de la forma exterior de un mixto y revivificar al proceso inverso, presuponía la existencia de sustancias que podían desaparecer (mortificar) en el curso de una operación pero que se podían volver a obtener (revivificar) mediante procesos adecuados.

A continuación se relacionan las publicaciones que hicieron parte de la institucionalización de la química durante el siglo XVII y XVIII, la información que aquí se refiere fue tomada de la publicación El contexto histórico didáctico de la institucionalización de la química como ciencia escrito por A.P. Gallego Torres, R. Gallego Badillo, R. Pérez Miranda (2009)

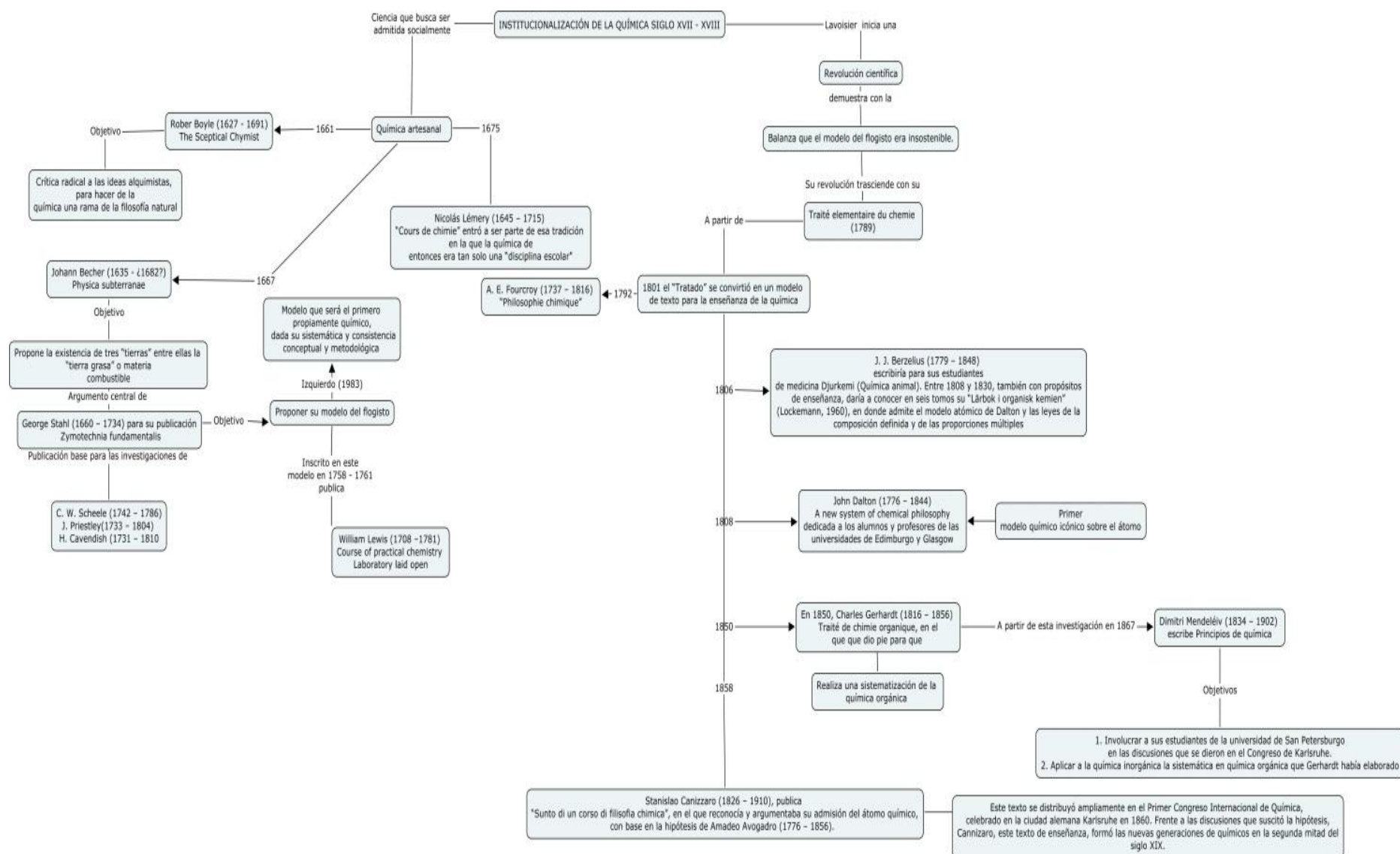


Figura 4: Mapa conceptual sobre la institucionalización de la química

En el siguiente apartado se desarrollarán las ideas que dan sustento a los objetivos planteados en esta investigación referentes a la emergencia del equilibrio químico identificando algunos aspectos sociales, políticos y económicos desde una perspectiva cuantitativa del concepto de afinidad química.

4.3. Inquietudes iniciales en el desarrollo del Equilibrio Químico: Escenario de una gran controversia

En 1777, dos años después de la publicación de Bergman, C. F. Wenzel publicó un documento titulado *"Lehre von derchemischen Affinität der Körper"* en el que intentó estimar afinidades químicas señalando la tasa en la cual diversos metales fueron disueltos por diversos ácidos. En su experimento, Wenzel observó que la velocidad en la cual fueron disueltos los metales fue influenciada por la cantidad de ácido, así como por la naturaleza del ácido. Sin embargo, estas observaciones no atrajeron la atención de sus contemporáneos, debido a que la propuesta no se ajustaba al momento de ciencia de la época y su investigación no superaba la de su predecesor. A pesar de las limitaciones del concepto de afinidad electiva, este era más aceptable y general comparado con la propuesta de Wenzel de la que la cantidad de ácido influye en la velocidad a la cual se disuelven los metales. Esto demuestra que las explicaciones de Bergman sobre la afinidad no eran fáciles de desplazar y que habían pocas razones para dar crédito a Wenzel y su influencia de la cantidad de reactivo en el resultado de las reacciones químicas, aunque su investigación fuera un avance a las reacciones en equilibrio químico no lograba superar las afinidades electivas.

Por otro lado Lavoisier dio por fin una solución satisfactoria al problema de la combustión, que durante cientos de años había absorbido la atención de los químicos. Al mismo tiempo mostró el valor de los métodos cuantitativos y definió en términos claros la misión de la época (Berthollet, 1803). A la luz de estas conquistas nuevas, los químicos pudieron volverse hacia otros problemas que antes los había preocupado y aún estaban sin resolver. El problema principal de comienzos del siglo XIX eran con respecto a la composición de los compuestos puros (Anexo N° 2 y 3) y la

naturaleza de la afinidad. Ambos fueron abordados con rigor y se obtuvieron resultados espectaculares.

La comunidad científica había comprendido la importancia de los métodos cuantitativos condujo entonces al intento de aplicar la matemática a la química, como se había aplicado con éxito a la física en tiempos anteriores (Berthollet, 1803). Las matemáticas de la época eran elementales y la mayoría de los conceptos que se desarrollaron durante la época no requerían de un conocimiento matemático extenso. A pesar de esto fue un gran avance ya que la idea de determinar por valores numéricos las fuerzas que participaban en las reacciones químicas, podría ser el punto de partida de las primeras formulaciones matemáticas del equilibrio químico.

Como se nombró anteriormente los ensayos realizados por Wenzel y Kirwan para dar valores numéricos a las fuerzas de afinidad no tuvieron mucho éxito. Benjamín Ritcher (1762 - 1807) publicó en 1792, en Breslau, el primer volumen de su *Anfangsgründe der Stöchiometric* (Nociones de estequiometria o Arte de medir los elementos) (Partington, 1957). Al igual que Homberg y Kirwan, creyó poder obtener una medida exacta de la afinidad determinando las diferentes cantidades de ácido capaces de neutralizar una determinada cantidad de base, y viceversa.

Resumió sus resultados en una tabla que indicaba cuántas partes de los ácidos sulfúrico, muriático y nítrico podían neutralizar a 1000 partes de las bases potasa, sosa, álcali volátil (amoníaco), barita, cal, magnesia y alúmina. Ritcher señaló además que cuando dos sales neutras reaccionaban con doble descomposición, los productos también eran neutros. Esto es, al reaccionar AB con CD para dar AC debía formarse también BD, y que sería posible calcular la composición de AC y de BD una vez conocidas las de AB y CD. Estábamos a las puertas de una aplicación de la *ley de conservación de la materia*. Ritcher definió sus estudios en una palabra: estequiometria, que en griego significa medida de algo que no puede dividirse. En realidad lo que Ritcher estaba definiendo era la *ley de las proporciones constantes* (Partington, 1957). Ritcher construyó la primera tabla de equivalentes.

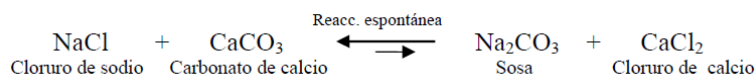
Desafortunadamente, Ritcher tenía un estilo complicado, y su preocupación por las matemáticas era tan grande, que intentó deducir diversas relaciones muy discutibles de esta clase a partir de valores numéricos determinados por él. De aquí a que su labor no llamase la atención de otros químicos ni ejerciese gran influencia su publicación. En 1802, Ernst Gottfried Fisher (1754 - 1831) tradujo al alemán la obra del francés Claude – Louis Berthollet (1748 - 1822) sobre las leyes de la afinidad y simplificó la tabla de Ritcher convirtiéndola en una verdadera tabla de equivalentes.

La prueba experimental de la ley de las proporciones constantes se debió a un químico francés que enseñaba en Madrid, Joseph Louis Proust (1754 - 1826). Proust mostró en 1799 que la composición del carbonato de cobre era fija, independientemente de cómo se preparase, y de que se presentase en la Naturaleza o se obtuviese por síntesis (Proust, 1799). Durante los siguientes nueve años se dedicó a purificar y analizar distintos compuestos para apoyar su creencia en la ley de las proporciones constantes, y mantuvo una controversia famosa con su paisano y colega Berthollet, el colaborador de Morveau y Lavoisier en la obra sobre nomenclatura química.

Berthollet abordó el problema de la composición química partiendo de los estudios sobre la afinidad descritos en dos de sus libros: *Recherches sur les lois de l'affinité* (Paris, 1801) y otro, más famoso, *Essai de statique chimique* (Paris, 1803) (Anexo N°3)

Berthollet era un defensor de la teoría newtoniana, y creía que las sustancias reaccionaban entre sí debido a la existencia de fuerzas de atracción entre ellas. Fue uno de esos personajes mimados por el régimen político de su época, ocupó varios puestos importantes, fue académico, profesor, senador y trabajó para la industria. Durante la Revolución Francesa se ocupó de intentar mejorar la extracción del salitre (nitrato de potasio), que era principalmente utilizado en la fabricación de la pólvora. Habitualmente, éste se obtenía de las rocas nitrosas mediante lavado con agua dulce (Anexo N°3). En el transcurso de sus investigaciones se dio cuenta de que si se lavaban estas rocas varias veces con agua limpia en cada lavado, el resultado mejoraba considerablemente. Hoy se sabe que el grado de saturación del agua es un factor que condiciona la disolución de una sustancia.

En un viaje junto a Napoleón por tierras egipcias, tuvo ocasión de observar que en las orillas de un lago de sodio se depositaba la sosa (carbonato de sodio, Na_2CO_3), lo cual era algo extraño porque la reacción que tiene lugar de una manera espontánea suele ser inversa de ésta, la sal que contiene el agua del lago, al contacto con el carbonato de calcio del fondo, produce carbonato de sodio que se posa en las orillas del lago. Pero en el laboratorio, esta reacción no tiene lugar en ese sentido. Berthollet atribuye esta diferencia a dos circunstancias: la cantidad de sal y de carbonato de calcio, y el que los dos productos de la reacción se eliminen continuamente del medio reactivo, pues el cloruro de calcio es absorbido por el suelo y el carbonato de sodio se precipita en la orilla.



Esto le llevó a pensar que *«el sentido de una reacción no es un absoluto determinado por las tendencias electivas de los cuerpos presentes, esto significa que la afinidad, en lugar de caracterizar a un cuerpo en su relación con otro, se convierte en una función de estado fisicoquímico del medio en que se encuentra y, en particular, de la concentración de los reactivos presentes.»* (Berthollet, 1803)

Al regresar a París, Berthollet invierte sistemáticamente las categorías fruto del razonamiento experimental de la química. El medio reactivo como la temperatura y la concentración de los reactivos, se consideraba, generalmente, fuente de interferencias que permitían explicar las anomalías; a partir de entonces, una reacción anómala es aquella en la cual un cuerpo es totalmente desplazado por otro cuerpo; está es la que debe explicarse a través de factores especiales por ejemplo, eliminación de los productos por volatilización o por precipitación. (Berthollet, 1803)

Berthollet, se basa en la tabla de Bergman para demostrar que el famoso orden irreversible de los desplazamientos no es más que el grado de solubilidad de los productos. Las reacciones completas se explican por la volatilidad o por la escasa solubilidad de uno de los productos, que se escapa del medio reactivo.

A su regreso a Francia, Berthollet se encuentra en una situación privilegiada para lograr el máximo impacto posible de sus ideas. Junto con Laplace, uno de los miembros fundadores de la “Société d’Arcueil” sociedad privada que reunirá a los científicos más brillantes del momento y editará una publicación titulada *Mémoires de Physique et de Chimie de la Société d’Arcueil*. Es además, senador de Napoleón. Laplace y él encarnan el trato preferencial que reserva el Imperio a grandes hombres de ciencia: función política, control de las nuevas instituciones docentes y conquista del poder financiero, que les permitirá, en particular, montar los laboratorios privados de Arcueil (Berthollet, 1803).

La doctrina oficial de la Société d’Arcueil es la física newtoniana y Berthollet, experimentador nato, demostrará en 1803, en su obra *Statique chimique*, que el carácter generalmente incompleto de las reacciones químicas y su dependencia intrínseca con respecto a las circunstancias, son consecuencias directas de relacionar la afinidad con la fuerza de atracción newtoniana. La afinidad sólo será para él un factor más, de forma que, jugando con los demás factores se puede provocar una reacción en uno u otro sentido (Leicester, 1957). Más concretamente, Berthollet se afanará por suprimir la distinción entre el sentido natural de una reacción y lo que interfiere en dicho sentido. Para Berthollet, las reacciones químicas carecen de sentido natural. El químico no tiene por qué jugar con las circunstancias para que las afinidades se pongan de manifiesto. El químico manipula una función: el sentido de una reacción química es función de su afinidad puramente química, que depende de las concentraciones y, también, de la temperatura, de la cohesión entre los productos presentes, etc. (Berthollet, 1803)

Berthollet confirma que la atracción puede explicar la mezcla y sus proporciones, pero no la combinación química que produce nuevos cuerpos homogéneos a partir de cuerpos heterogéneos. Berthollet negará, pues, la singularidad de las mezclas, afirmando que el producto de una reacción química no es más que un estado de equilibrio en el que coexisten los distintos tipos de componentes en estado de mezcla, y estos componentes no pueden tener una identidad definida. Por ejemplo: Si tenemos dos elementos A y B que originan un compuesto, el resultado de su unión podría ser AB, AB₂, A₂B, A₂B₃,...dependiendo de la temperatura, concentración de los reactivos,

etc., que hayan intervenido en cada momento, y todas estas sustancias serían para Berthollet el mismo compuesto (Berthollet, 1803). Así pues, todo cuerpo es una mezcla, y una reacción química no puede, por regla general, afectar a un producto puro. Y lo que es peor, las combinaciones que resultan de una reacción no se caracterizan por contener proporciones definidas de los cuerpos que la forman, la composición de un cuerpo depende de su historia y de los factores que determinen el medio reactivo en el que se han formado.

Este fue el origen de su enfrentamiento con Proust, que duró bastantes años y mantuvo divididos a los químicos que se alinearon en uno y otro bando. Desde entonces y hasta hoy, controlar la calidad de las sustancias empleadas y obtenidas en los diferentes procesos industriales resulta de vital importancia, por ello esta cuestión suscitó mucho debate. Proust estableció empíricamente en 1799 que «los compuestos químicos tienen una identidad, están formados por componentes en proporciones definidas»

Él estudió muchas sustancias y llegó a la conclusión de que efectivamente había elementos que podían combinarse entre sí en diferentes proporciones, pero cuando esto ocurría, generaban compuestos totalmente distintos en propiedades físicas y químicas.

Una de las sustancias con las que experimentó fue el óxido de mercurio, observando que independientemente de su procedencia, la composición era la misma. Daba igual que se extrajera de una mina o se sintetizara en el laboratorio. Proust estableció que existían dos óxidos de mercurio diferentes en composición y propiedades. Utilizando la nomenclatura actual son HgO (rojo) y Hg_2O (negro pardusco), y cuando se intentan obtener siempre aparecen mezclados. Pero es posible separarlos si se emplean métodos adecuados. Berthollet también trabajó con estos óxidos, pero él defendía que se trataba del mismo compuesto y que en cada caso se comportaba de manera distinta, debido a los factores que habían intervenido en la reacción de formación de los mismos (Berthollet, 1879).

Proust (1754-1826) cita a Stahl en *pondus naturae* las proporciones definidas traicionan la mano visible de la naturaleza que actúa tanto en las profundidades del globo en el laboratorio y fija, de forma invariable, las proporciones de los componentes de un producto. El químico no tiene ningún poder sobre el *pondus naturae* (tendencia innata del hombre al bien) como tampoco lo tiene sobre la ley formulada por Proust, es innegable que esta ley tiene sus raíces en la química del siglo XVIII y, ya entre 1792 y 1802, sirvió de base al químico alemán Benjamín Richter para evaluar en términos numéricos algunas afinidades.

La controversia ahora reside entre la afinidad relacional en el sentido newtoniano y la afinidad reveladora de principios químicos de Sthal, llegó el punto en que finalmente debe optarse por una o por otra. Los adversarios en el periodo de 1799 y 1807 no han reconocido la victoria de su opositor, por un lado Proust asegura que los hechos le dan la razón y esa es su única arma contra la teoría newtoniana y el prestigio de Berthollet. La química de Proust y de Berthollet sigue siendo la química del siglo XVIII (Leicester, 1967) y no la química analítica que nacerá diez años después. La precisión experimental era la razón de que la mayoría de los compuestos que analizaron Berthollet y Proust eran mezclas de varios tipos de óxidos, por lo cual a cada uno interpretaba los hechos según sus resultados y acusaba al otro de distorsionarlos y de presentar hipótesis paralelas. (Berthollet, 1803).

En este recorrido histórico es evidente que en busca de definir el concepto de afinidad se llega a varias conclusiones que son piezas claves de las reacciones incompletas, del desplazamiento de los equilibrios y de los factores que lo afectan. En 1808 la opinión de Proust había prevalecido ya, casi todos los químicos aceptaban la ley de la composición constante. Al descartar las hipótesis de Berthollet, no sólo dieron de lado a la teoría de la *acción de las masas* y en consecuencia de ello fue que hubiesen transcurrido muchos años antes de que se pudiera iniciar el estudio del equilibrio químico. A partir del escrito de Berthelot de 1879 se puede concluir que para la química fue positivo que Proust trabajara con sustancias sencillas, obedientes a la composición constante, pues era necesario elaborar sobre esta ley antes de poder comprender la naturaleza de otros compuestos más complejos, como los compuestos cristalinos por ejemplo. Más adelante se

reconoció que Berthollet tenía razón en algunos de sus argumentos referentes a la composición variable.

4.3.1. Algunos antecedentes históricos de Berthollet

La química se desarrolló rápidamente durante la segunda mitad del siglo 18. El descubrimiento de los elementos, el desarrollo de una nomenclatura racional para dar nombres a los elementos y compuestos, la determinación de la constitución del aire y el agua y la explicación de la combustión fueron algunos de los eventos significativos de este periodo.

Lavoisier fue el principal químico francés hasta que fue decapitado en 1794. Después de Lavoisier, Berthollet fue uno de los más distinguidos químicos franceses. Entre otras cosas, por la determinación de la composición del amoníaco en 1785 y del sulfuro de hidrógeno en el año 1789.



Berthollet.

Berthollet señaló la ausencia de oxígeno en HCN y H_2S desvirtuando la hipótesis de Lavoisier de que todos los ácidos contienen oxígeno. Como director de la tintorería Gobelins, Berthollet estudió la preparación de los pigmentos y colorantes y descubrió el clorato de potasio y sus propiedades explosivas en 1788 y en 1785 estableció la utilidad del cloro y del hipoclorito como agente blanqueador (Berthollet, 1890). Durante la Revolución Francesa Berthollet ocupó el cargo de comisionado en la Casa Nacional de la Moneda y como el comisario de Agricultura. Berthollet fue el primer científico francés que apoyó la teoría de combustión de Lavoisier en 1785, y ayudó en la divulgación del nuevo sistema de nomenclatura química de Lavoisier.

Gaspard Monge (1746 - 1818), fue un gran amigo de Berthollet, ingeniero, gran matemático y fundador de la geometría descriptiva, autor de *The of Making Cannon*, un funcionario público del

escenario Nacional. En 1783 mediante una chispa eléctrica separa el hidrogeno del oxígeno del agua. Monge propicia que Berthollet el químico y Napoleón el general, se conozcan. Berthollet fue el Ministro de la Marina de Guerra y las colonias durante 1792-93 y bajo su servicio Monge le da una gran bienvenida a Napoleón, debido a esto se convierten en grandes amigos, Berthollet y Monge fueron los científicos favoritos de Napoleón, como lo expresa en su carta en el año 1794.

Laplace, matemático y astrónomo, también se inscribe en la línea de Lavoisier, sorprendentemente como un experimentador. Laplace ya trabajaba en su investigación sobre Mecánica Celeste cuando fue reclutado por Lavoisier en 1777 para ayudar en la planificación y realización de experimentos sobre los efectos del calor en diversas sustancias, diseñó el primer calorímetro, con el fin de medir el calor de combustión, el calor específico y el calor generado por la respiración de los animales, específicamente en los cerdos. Lavoisier y Laplace publicaron en el Royal Printing Office su libro *Mémoire sur la Chaleur*. El primer trabajo de Laplace fue sobre la estabilidad del sistema solar (1773), este trabajo lo vinculó como miembro de la Academia de las Ciencias; en 1785 fue profesor de matemáticas en el École Militaire, donde fue profesor de Napoleón cuando él tenía 15 años.

Fourier, huérfano desde los 8 años, eligió las matemáticas bajo el sacerdocio como profesión. Fue profesor durante el corto periodo de existencia de la École Normale Supérieure creada en 1794. Fourier enseñaba la catedra de matemáticas en la escuela Ecole Polytechnique sucesora de la anterior. Fourier fue contratado por Berthollet para participar en la expedición de Napoleón en 1798 a Egipto. Fue secretario del Institut d'Égypte cuando fue fundado por Napoleón en 1798.

Napoleón, El rápido ascenso de Napoleón al poder fue evidente para todos ya que inició siendo comisionado como segundo teniente de artillería a la edad de 16 años, nombrado capitán a los 23 años, brigadier general a los 25 años, comandante del ejército de Italia a los 26 y primer cónsul a los 30. Se corona así mismo como emperador a los 35 años. A Napoleón desde su adolescencia le interesaron las matemáticas y encontró un gusto o interés en aplicarlas a las ciencias, esta fue un factor fundamental en la amistad respetuosa entre Monge, Berthollet y Napoleón.

4.3.2. Berthollet y la producción de salitre

La química analítica se basa en leyes experimentales, por lo tanto podría decirse que la noción de proporción indefinida de Berthollet resulta contradecir tales leyes ya que no se podría obtener productos fiables como patrón, debido a que su composición sería diferente por las condiciones en las que se formaron. A partir de esto las proporciones definidas adquirieron un significado distinto al de la química del siglo XVIII y al de Proust: *no son reglas relativas al mecanismo de reacción química, sino a principios del análisis de los elementos que constituyen un cuerpo*. La química analítica deja de ser la ciencia de las reacciones para convertirse en el análisis de las combinaciones de los productos: *la reacción en sí misma sólo tiene un interés instrumental, es el instrumento de análisis que permite acceder a la composición química de un producto* (Berthollet, 1801).

A la química analítica le interesa sin lugar a dudas, a la industria y viceversa, sin embargo Berthollet planteó un problema crucial para la producción racionalizada de salitre, que se convierte para la síntesis química del siglo XIX en una solución para establecer las condiciones de una reacción que garantice un mejor rendimiento (Berthollet, 1801). La química analítica vuelve su mirada a las reacciones artesanales del siglo XVIII, en búsqueda de optimizar el horizonte industrial las implicaciones que hubo fueron: centrar la atención en métodos válidos que permiten extraer el producto deseado de la mezcla resultante de la reacción, o bien como diría Ostwald (1853 -1932) resucitar el problema del rendimiento.

A pesar del carácter cuantitativo inherente a la teoría de Berthollet, éste no pudo determinar la magnitud de las afinidades químicas. Berthollet fue un precursor de la problemática de reversibilidad química, para llegar a partir de 1855, a la caracterización del estado de equilibrio químico (Holmes, 1989). Sin embargo, la problemática que él estudió sobre las reacciones entre sales no fue la más adecuada para sustentar su teoría sobre el equilibrio químico, realmente fueron

las reacciones orgánicas, la esterificación en particular, la que permite obtener finalmente la primera ecuación matemática de lo que hoy se conoce como constante de equilibrio y que, según sus autores, permitía cuantificar por vez primera las afinidades químicas.

4.4. La industria y la revolución francesa:

En su libro *Revolución francesa*, Georges Lefebvre en 1789 dedica un capítulo a la industria donde la palabra industrial no se usaba todavía: se decía *fabricante o manufacturero*. En general, la industria era un anexo del negocio en Lyon, por ejemplo, el negociante encargaba a los artesanos trabajo a domicilio entregándoles la materia prima: la concentración capitalista era de tipo comercial. En el siglo XVIII había recibido gran impulso gracias al desarrollo de la industria rural, a la que el rey había concedido en 1762 una libertad completa sino se multiplicaban con rapidez era porque en Francia, exceptuando las industrias de Anzin, ninguna empresa empleaba la máquina de vapor; la manufactura sólo se imponía en aquellas industrias que exigían un utillaje costoso (conjunto de instrumentos que optimizan la realización de operaciones de proceso industrial), por ejemplo en el estampado de tejidos instalado en Jouy por Oberkampf y también alta Alsacia; los papeles pintados que Reveillon fabricaba en el Faubourg Saint – Antoine; los productos químicos de Montpellier, que habían enriquecido a Chaptal; el hilado del algodón utilizando el telar introducido por los ingleses. Los negociantes – fabricantes, naturalmente muy proteccionistas, ejercerán una influencia solapada pero decisiva sobre la política aduanera de la revolución y del imperio.

Los químicos eran conocidos como artesanos que vendían directamente al público. Algunos oficios, como los seis gremios de París, eran muy considerados y los que los ejercían se incluían entre los notables; pero había el artesanado una enorme variedad de riqueza y rango social. Su régimen legal variaba igualmente según las profesiones, las ciudades e incluso los barrios. En ocasiones era una actividad libre; otras veces se organizaba en corporaciones que detentaban un monopolio, que en el siglo XVIII no beneficiaba más que a los maestros, es decir a los artesanos jefes de taller, pero en contrapartida les obligaba a observar los reglamentos de fabricación cuya

aplicación era supervisada por los jurados. Las corporaciones que habían sido suprimidas por Turgot en 1776 y reestablecidas tras él, eran cada vez más censuradas por los partidarios de la libertad económica; por otra parte el rey había endeudado sus finanzas creando nuevas maestrías que las corporaciones habían tenido que comprar para mantener el monopolio. Tampoco los artesanos libres estaban satisfechos, porque se veían cada vez más amenazados por la competencia de la manufactura y obligados a trabajar para el negociante que los reducía a la condición de asalariados. Los artesanos, en general, eran también hostiles al capitalismo: de entre sus filas se reclutaron los sans – culottes, fueron los radicales de izquierda, partidarios de las clases más bajas, por lo general los trabajadores urbanos, que dominaron Francia.

4.4.1 Napoleón y la campaña en Italia

Se hizo evidente el aprecio especial que sentía Napoleón por Berthollet y Monge al seleccionarlos como parte de los seis integrantes de la Comisión Gubernamental para la investigación de las Artes y las Ciencias, que se realizaría en la visita a Italia en 1796. El objetivo de Monge era seleccionar obras valiosas de arte y tesoros eclesiásticos. Monge le conto a su esposa que fueron necesarios 300 cajones para guardar los objetos tomados de Italia entre ellos la Mona Lisa. Por otro lado Berthollet nació en Savoie y hablaba italiano y francés, fue uno de los primeros en escribir sobre las técnicas de restauración de las artes, en uno de sus informes desde Italia, el plantea como restaurar varias pinturas de Rafael.

4.4.2 Napoleón y la campaña de Egipto

Después de que fuera cancelada la propuesta de invasión a Inglaterra, en 1798 Napoleón emprendió su campaña a Egipto. Napoleón le pide a Berthollet organizar el “Committee on the Arts and Sciences” para acompañar al ejército. Entre los reclutas fueron Monge, Fourier, el zoólogo Étienne St. Hilaire (1772 - 1844), Nicolás – Jacques Conté (1755 - 1805), inventó el lápiz moderno

de grafito, el geólogo Déodat de Dolomieu (1750 - 1801) quien describió las dolomitas y al físico Étienne Malus (1775 - 1812) quien descubrió la polarización de la luz por la reflexión.

En Egipto Napoleón estableció el Institut d'Égypte, siguiendo el modelo de la institución francesa. Después de los primeros eventos militares, las cosas empezaron a salir mal para Napoleón en Egipto, y decidió repentinamente y en secreto retornar a Francia en 1799. De su comisión, Napoleón escogió a Monge y Berthollet para acompañarlo en el peligroso viaje de vuelta. En este viaje, Berthollet centró su atención en un problema ajeno a la tradición de la química artesanal: racionalizar la producción de salitre utilizado para fabricar pólvora para cañones. En lugar de recoger el salitre *in situ*, como se venía haciendo hasta entonces, se trataba de producirlo mediante un proceso industrial controlado. Berthollet observa un "lago de sodio". La sal que contiene el agua del lago, al contacto con el carbonato de calcio del fondo, produce carbonato de sodio que se posa en las orillas del lago, distinto a lo observado en el laboratorio. Al finalizar la expedición Monge y Berthollet, fueron condecorados por Napoleón y por su jefe de estado mayor por su valentía en su viaje a Egipto.

Al regresar Berthollet a París, inicia su investigación experimental invirtiendo las categorías de análisis, teniendo en cuenta el medio reactivo (temperatura y concentración) como una interferencia. Berthollet afirma que las reacciones completas se explican mediante el grado de solubilidad de los productos o su volatilidad. Gracias a la situación privilegiada con la que contaba Berthollet, logra el impacto máximo a sus ideas. Junto a Laplace, miembro fundador de la «Société d'Arcueil», sociedad privada, reúne a los científicos más brillantes del momento y editara una publicación titulada Mémoires de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil.

Después de la campaña a Egipto, Napoleón asigna un buen pago y posiciones reconocidas a muchos de los científicos que lo acompañaron en las expediciones. La lista es larga, en 1802 Napoleón crea la Orden de la Legión de Honor; Lagrange y Laplace fueron nombrados Oficiales de la Legión de Honor. Berthollet, Laplace, Lagrange y Monge fueron nombrados senadores vitalicios de Francia, con un salario anual de 25,000 francos.

Napoleón estableció un sistema de "Senatoriates" (o posiciones de súper efecto) en los que Francia se dividió en 15 distritos por apelación legal. Monge y Berthollet eran dos de los tres científicos elegidos para estos cargos. Los senatorios recibían un sueldo anual adicional de 20000 a 25000 francos, adicionalmente un palacio presidencial en un asentamiento urbano.

Cuando Fourier volvió a Francia desde Egipto en 1801, fue nombrado por Napoleón como prefecto del Departamento de Isere, con sede en Grenoble. Su administración se dio durante un periodo de 12 años. Aunque Fourier tuvo dificultades para sobrevivir la caída de Napoleón, fue nombrado finalmente Director de la Oficina de Estadística de la Seine y elegido miembro de la Academia de las Ciencias, Academia de la Medicina, y la academia Francesa.

Laplace fue nombrado Ministro del Interior de Napoleón, pero fue un mal administrador y fue sustituido por Napoleón después de sólo seis semanas en el cargo. Después de esto en la restauración de Bourbon, Luis XVIII lo elevó a la nobleza como el Marqués de Laplace.

Debido a su posición Laplace y Berthollet encarnan el trato preferencial que reserva el Imperio para los "grandes hombres de ciencia", función política, control de las nuevas instituciones docentes y conquista del poder financiero, que les permitirá en particular, montar los laboratorios privados de Arcueil

El trabajo de los científicos, era útil para solucionar problemas generales. Napoleón siempre hizo hincapié en la utilidad de la ciencia y la tecnología para mejorar la calidad de vida y aumentar el nivel económico de los franceses. Las circunstancias físicas de los científicos se vieron influenciadas, por el favoritismo de Napoleón. Las vidas de los científicos se vieron beneficiadas por las recompensas en títulos, puestos y prebendas económicas asignadas por Napoleón. Una muestra más de su predilección especial por Berthollet se hace evidente cuando Napoleón envía 150.000 francos a Berthollet para que solucione su deuda en 1807.

4.5. La primera formulación matemática del equilibrio químico: el trabajo de Guldberg y Waage

Los trabajos de Malaguti (1853) y de Marguerite (1854) sobre solubilidad de sales se interpretaron como confirmación de las ideas de Berthollet. Por su parte, Gladstone (1855), entre los años 1855 y 1859 repitió los trabajos previos de Malaguti y de Marguerite e investigó nuevas reacciones en disolución con el objetivo de establecer si se llegaba a una situación de equilibrio, según había señalado Berthollet a principios del siglo XIX. Una de las reacciones que estudió con más detalle fue la que se representa por la siguiente ecuación:

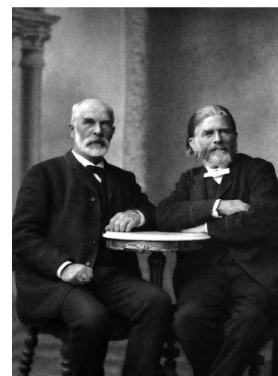
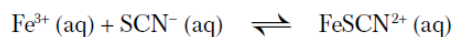


Figura 5 Cato Maximilian Guldberg (1836-1902) y Peter Waage (1833-1900).

Gladstone (1855) analizó si la reacción era completa o si al mezclar proporciones de hierro (III) con sulfocianuro, el color rojo del complejo alcanzaría su máxima intensidad, pero si la reacción era incompleta según la propuesta de Berthollet, entonces la adición de una cantidad de los dos reactivos incrementaría la cantidad del sulfocianuro férrico con ello la intensidad del color de la solución.

En 1862 Berthelot y Saint – Gilles dieron un nuevo enfoque experimental al estudio de las reacciones en solución, afirmando que las reacciones entre ácidos y bases para formar sales no eran adecuadas para el estudio de los equilibrio químicos, ya que eran tan rápidas que cualquier técnica analítica destruía inmediatamente el equilibrio (Waage y Guldberg, 1986). Estas desventajas las superaron a partir del estudio de reacciones de esterificación ya que su velocidad de reacción era lo suficientemente lenta para poder estudiarlas y las cantidades de equilibrio de todas las especies químicas eran siempre considerables. Los trabajos de Berthelot y Saint Gilles fueron el punto de partida de las investigaciones de los noruegos Guldberg y Waage. Partiendo de técnicas precisas de análisis cuantitativo trataron de encontrar una relación matemática que se

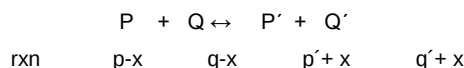
ajustara a los resultados experimentales obtenidos. De esta forma, se trataba de encontrar un nuevo punto de conciliación entre las teorías de Bergman y Berthollet (Waage y Guldberg, 1986). En su trabajo de 1864 tomando la mecánica como paradigma, centraron sus esfuerzos en medir lo que ellos llamaban fuerzas químicas. Convencidos de que la química debería volverse, como la mecánica, una ciencia de fuerzas y efectos, el propósito de Waage y Guldberg consistió en el desarrollo de una teoría matemática de la afinidad química (Waage y Guldberg, 1986).

Para una reacción simple como $A \leftrightarrow B+C$, Guldberg y Waage afirmaron que podrían existir dos fuerzas, una de descomposición y otra de formación, por lo que se consideró inevitable la interacción conjunta de ambas fuerzas si se deseaba encontrar una expresión matemática para las mismas (Guldberg y Waage, 1867).

Los noruegos, contra Berthollet, asumieron que las fuerzas químicas no eran proporcionales a las cantidades de las sustancias involucradas en la reacción, sino a las masas activas (concentraciones).

Para cada sustancia, su masa activa era la concentración llevada a un poder que ellos determinaron por experimentación. Así, para un proceso que hoy en día representamos de esta forma $P + Q \leftrightarrow P'+Q'$. Argumentaron de la siguiente manera:

Sí inicialmente se encontraban presentes las cuatro sustancias y sus masas activas eran p , q y p' , q' , respectivamente, cuando el equilibrio se había alcanzado cierta cantidad x , de los reactivos se había consumido. En consecuencia, la cantidad de equilibrio de cada una de las cuatro sustancias sería:

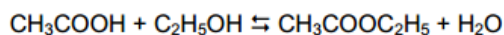


La fuerza química de las dos primeras sustancias sería proporcional a sus masas activas: $\alpha (p-x)^a (q-x)^b$ y análogamente, la fuerza química de los productos $\alpha' (p'-x')^{a'} (q'-x')^{b'}$ siendo α y α' las respectivas constantes de proporcionalidad o coeficientes de afinidad. Estas dos fuerzas opuestas se igualarían una vez se alcanzará el estado de equilibrio químico, cumpliéndose, por tanto:

$\alpha (p-x)^a (q-x)^b = \alpha' (p'-x')^{a'} (q'-x')^{b'}$, de modo que $\alpha' (p'-x')$. En el equilibrio $\alpha' = \alpha'$, de modo que $\alpha = kpq$ y $\alpha' = k'p'q'$. En el equilibrio, $\alpha = \alpha'$, de modo que $k'/k = (p'q') / (pq)$, donde el cociente k'/k se entendía como una cierta constante de equilibrio, dependiente de la presión y la temperatura.

Tabla N° 2. Proceso matemático Guldberg – Waage. Tomado de Études sur les Affinités Chimiques, 1867

En el caso particular de la esterificación:



De acuerdo con la estequiometría de la reacción, $a= 1$, $b= 0.786$, $a'= 0.846$, $b'=0.807$, estos datos no coinciden con los valores estequiométricos de la reacción, ya que ellos consideraban que la determinación de los exponentes debía realizarse a partir de datos experimentales y fue sólo hasta el año 1867 que publicaron un segundo artículo en el que todos los exponentes valían una unidad; $\alpha' / \alpha = 0,52$. Se trataría entonces de lo que hoy se conoce como constante de equilibrio, es importante aclarar que la ecuación obtenida es un balance de fuerzas químicas y que aún no se asociaba con las ecuaciones de velocidad. Sin embargo, fue el punto de partida acerca de la evaluación cuantitativa de la afinidad química (Guldberg y Waage, 1867). Sólo en el artículo de 1879 razonaron en términos de ecuaciones de velocidad. Pero fue el tratamiento cinético realizado por Van't Hoff en el año 1877, desarrollado posteriormente en su libro (Van't Hoff, 1884), el que permitió encontrar la expresión de la constante de equilibrio como una relación de las correspondientes constantes de velocidad. Guldberg y Waage finalizaron su primer trabajo haciendo referencia a las teorías previas de la afinidad química de Bergman y de Berthollet. Señalaron que la teoría de Bergman había sido superada mediante la evidencia experimental de

múltiples procesos y que entraba totalmente en conflicto con la teoría presentada por ellos mismos. Con respecto a la teoría de Berthollet indicaron que habían adoptado parte de sus postulados, pero matizando que la ley de acción de masas formulada por el científico francés señalaba que la afinidad era proporcional a la masa, lo cual había sido refutado por sus experimentos. Además, la pretendida inactividad de las sustancias insolubles o volátiles en las reacciones era una idea incorrecta. La disputa que había durado sesenta años fue resuelta por Guldberg y Waage mostrando que la idea de reacciones completas de Bergman era un caso límite de la idea de reacciones parciales de Berthollet, permitiendo ser explicadas ambas descripciones mediante una sola ecuación (Guldberg y Waage, 1867).

Como Servos (1990) señaló, el trabajo de los científicos noruegos no produjo un interés inmediato en el estudio de la ley de la acción de masa. La razón principal era que los estudios de afinidad no representaban un conjunto coherente de problemas, ni llamaban la atención de una red de científicos en comunicación cercana unos con otros. En el caso los dos hombres, su aislamiento lingüístico y geográfico, así como sus estilos personales, hicieron poco para promover los contactos productivos. Por otra parte, inicialmente, solo un número pequeño de aplicaciones de la ley fueron encontrados, y, como Guldberg y Waage lo afirmaron, los químicos estaban preocupados por encontrar nuevos compuestos, en lugar de estar preocupados por lidiar con investigaciones tediosas y menos gratificantes. Además, el aislamiento de los químicos respecto a sus colegas físicos no contribuyó al desarrollo de estas primeras ideas (Guldberg y Waage, 1867).

4.6. Las ideas de M. Berthelot y J. Thomsen y sus aportes desde la cinética al concepto de equilibrio químico

Las fuerzas químicas relacionadas en la acción de masas y luego relacionadas en los coeficientes de afinidad, no fueron medidas directamente, por lo que se realizó un esfuerzo considerable para buscar un método indirecto para evaluar estos coeficientes. W. Ostwald, en su disertación de Maestría en 1877 (Berthelot, 1875), mostró que el radio de los coeficientes de afinidad

(aproximadamente la constante de equilibrio), podrían calcularse fácilmente desde la masa activa presente bajo las condiciones del equilibrio químico.

Sin embargo para este tiempo, el radio tenía una importancia secundaria; los valores de los coeficientes eran los de principal interés. En esta investigación es necesario mencionar, las ideas de M. Berthelot en Paris y de J.Thomsen en Copenhague, quienes mencionaron que el calor evolucionó por las reacciones químicas como una medida de la afinidad química.

Para apreciar las contribuciones de Berthelot y Thomsen, es necesario considerar los métodos generales por los cuales se medían las fuerzas. Uno de los métodos para medir las fuerzas es el método estático directo, y el otro método es el dinámico indirecto. En el método estático, la fuerza que iba a ser medida estaba conectada a una fuerza ya conocida y variable como la de un resorte, y el sistema podía equilibrarse en condición de equilibrio, las dos fuerzas eran iguales en magnitud, y la cantidad de fuerza desconocida se determinaba directamente por observación de la cantidad de fuerza conocida requerida para lograr el equilibrio (Berthelot, 1875). Pesando los objetos con un dinamómetro es un ejemplo del método estático. Las reacciones químicas sin embargo no están sujetas a este tipo de medidas, en el método dinámico una fuerza realiza trabajo y la fuerza es calculada por la cantidad de trabajo realizado (Berthelot, 1875). Alrededor de la mitad del siglo XIX se establecieron dos relaciones importantes que permitieron medir la cantidad de trabajo realizado en una reacción química; los estudios de la ley de Hess sobre la sumatoria de los calores de reacción y el trabajo de Joule sobre el equivalente mecánico del calor. Para Berthelot y Thomsen el calor evolucionaba por una fuerza que operaba en las reacciones químicas, y este calor de reacción debía ser la determinación cuantitativa de la afinidad química. Thomsen enunció que la ley de Hess se derivaba como consecuencia de la ley de conservación de la energía, y que el calor de reacción es el resultado de la diferencia del contenido energético de un sistema antes y después de una reacción química. Como tal, el calor de reacción refleja la afinidad química involucrada en la reacción. Berthelot expuso un punto de vista similar a lo que llamo “principio del trabajo máximo”: “todos los cambios químicos que tienen lugar sin intervención de energía exterior tienden a producir los cuerpos o los sistemas de cuerpos en cuya formación se libera más calor”

(Berthelot, 1875). Esta ley sólo aplicaba para reacciones que ocurrían espontáneamente. Las ideas de Berthelot y Thomsen son consideradas la base de la segunda ley de la termodinámica, que es fundamental para el conocimiento que tenemos sobre el equilibrio químico. Este trabajo fue formalizado por Clausius en 1867. (Clausius, 1865)

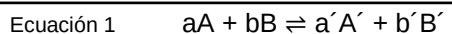
De acuerdo a la contribución de Berthollet, es interesante notar que durante la década de 1860 se revivió el interés sobre sus escritos. Lothar Meyer uso un libro de texto llamado “Teorías Modernas de Química” que incluía seis páginas de discusión sobre Berthollet en la introducción y lo referencio con respecto al efecto sobre la acción de masas. Julius Thomsen también valoró el trabajo de Berthollet como lo indico en un documento que publicó en 1869 en *Poggendorff's Annalen*, titulado “Sobre la “Teoría de Afinidad” de Berthollet”. También existe alguna similitud en el trabajo de Thomsen y Berthollet en cual los dos científicos dedican su atención a la relación de las reacciones entre ácidos y bases.

Thomsen realizó un gran trabajo experimental sobre los efectos térmicos, como el los llamo sobre las reacciones de neutralización y mezclas de soluciones salinas, pero sus intereses se enfocaron más a la afinidad química que al equilibrio químico. Tanto Thomsen como Berthelot son ahora considerados los fundadores de la termoquímica, pero en esta investigación son valorados como contribuyentes esenciales en el desarrollo del concepto del equilibrio químico.

4.7. Van't Hoff y sus valiosos aportes

En 1884, el químico holandés Jacobus Henricus Van t Hoff en su *Études de Dynamique Chimique* dirigió su atención a la ley de acción de masas. De sus estudios, Van t Hoff deriva la ley de acción de masas basado en velocidades de reacción, admitiendo que en un sistema en equilibrio, la velocidad de reacción directa es igual a la velocidad de reacción inversa (Van t Hoff, 1884). Sobre esta base llegaría a la representación de una ecuación química genérica equilibrio dinámico:

La ecuación general



Van't Hoff concluía que la velocidad de reacción de A con B podría ser expresada mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 2	$V = k \times p^a \times q^b$
------------	-------------------------------

Dónde v= velocidad de reacción directa, k= coeficiente de afinidad de reacción directa, p y q= masas activas de A y B; a y b = exponentes empíricos.

En el caso de los productos la ecuación de velocidad de reacción entre A' y B' está dada por:

Ecuación 3	$V' = k' \times p'^{a'} \times q'^{b'}$
------------	---

Dónde v' = velocidad de reacción directa, k' = coeficiente de afinidad de reacción directa, p' y q' = masas activas de A' y B'; a' y b' = exponentes empíricos.

Igualando las velocidades de la reacción directa e inversa puede concluirse que (Van't Hoff, 1884)

$$k \times p^a \times q^b = k' \times p'^{a'} \times q'^{b'}$$

Ecuación 4	$\frac{k}{k'} = \frac{p'^{a'} \times q'^{b'}}{p^a \times q^b}$
------------	--

Van t Hoff concluyó con sus experimentos, que la relación k/k', que se llama constante de equilibrio, era válido sólo para las condiciones de temperatura constante (Van't Hoff, 1884). Otro aporte de Van t Hoff fue introducir la doble flecha en la representación de un proceso químico intentando explicar la naturaleza dinámica de equilibrio químico.

En 1879, en un artículo titulado Über die Chemische Affinität, Guldberg y Waage obtuvieron una ecuación matemática similar a la constante de equilibrio de Van t Hoff. En este artículo, los científicos admitieron que los exponentes eran los coeficientes estequiométricos de la reacción química que representaría el sistema en equilibrio (Van't Hoff, 1884). La expresión matemática de equilibrio químico ofreció por primera vez una promesa cuantitativa de afinidad, una meta

desafiante para los químicos del siglo XVIII (Van't Hoff, 1884). Realizando un análisis cinético de los sistemas de equilibrio químico, desde 1865 a 1867, el químico inglés Augustus George Vernon Harcourt (1834 - 1919) y el matemático escocés William Esson (1838 - 1916) estudiaron las reacciones de permanganato potasio y ácido oxálico ácido, sugiriendo una relación matemática que implicó la concentración de reactivos con la temperatura de la reacción (Flammarion, 1909):

$$\text{Ecuación 5 } k = A \times T^c$$

Dónde: k = coeficiente de afinidad

A = constante que depende de cada reacción;

T = temperatura absoluta

c = masa activa.

Harcourt (1834 – 1919) y Esson (1838-1916) observaron un aumento en la velocidad de las reacciones químicas debido al aumento en la temperatura que podría ser representado por una progresión geométrica. La velocidad se duplicó prácticamente para cada aumento de 10 °C en la temperatura de la reacción. Basado en los resultados experimentales de químico Harcourt, el matemático Esson propuso una fórmula que relaciona la velocidad de reacciones con temperatura (Harcourt y Esson, 1912).

$$\text{Ecuación 6 } \log v_t = \log v_0 + \log \left(\frac{273 + t}{273} \right)^m$$

Dónde V_0 = Velocidad a 0°C; V_t = velocidad a una determinada temperatura en °C, m = constante específica para cada reacción, obtenida experimentalmente.

Ellos también observaron que algunas reacciones, como, por ejemplo, la del KMnO_4 con $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ocurrían en varias etapas, produciendo sustancias intermedias. En estas condiciones, los cálculos cinéticos son bastante complicados, puesto que dependen de las concentraciones de todas las

especies que intervienen en el equilibrio. Harcourt e Esson realizaron otros estudios cinéticos cuantitativos teniendo en cuenta reacciones consecutivas (Partington, 1957).

Basado en el estudio de la teoría cinética molecular, Rudolf Julius Emanuel Clausius (1865), matemático y físico, explica la evaporación y condensación de un líquido en un sistema cerrado y en equilibrio, el austriaco Leopold Pfaundler von Hadermur (1839 - 1920) explicó, en 1867, la descomposición parcial del NH_4Cl producción de HCl y NH_3 la idea de disociación y combinación ocurren simultáneamente (Partington, 1957). Pfaundler considera que en un estado de equilibrio, el número de partículas que se consumen, en un período específico de tiempo coinciden con el número de partículas que se forman. Concluyó que: una transformación química es un nuevo estado de equilibrio entre disociación y combinación, cuando se produce el cambio de temperatura.

En la disociación de NH_4Cl , con el aumento de la temperatura, el número de moléculas disociadas aumentaría hasta que se establezca un nuevo equilibrio (Pfaundler, 1867- Lund, 1968). Pfaundler es considerado al pionero en describir una reacción química teniendo en cuenta la dinámica de las partículas (Lund, 1968). A pesar de los intentos de los científicos por explicar el comportamiento de las sustancias de sistemas químicos en equilibrio y considerando los avances en esta área, los químicos preservaran por solucionar a partir de la cinética los problemas de las transformaciones.

En 1873 surgen los primeros estudios sobre el concepto de equilibrio químico abordado desde la termodinámica.

4.8. El equilibrio químico desde la termodinámica

El químico Alemán August Friedrich Horstmann (1842 – 1929) aplicó la conservación de la energía (primera ley de la termodinámica, 1874) a los fenómenos asociados a los sistemas en equilibrio, por ejemplo a la descomposición del clorato de amonio, demostrando que en un proceso de

equilibrio seguía las mismas reglas desarrolladas por Clausius aplicadas al equilibrio de vaporización de un líquido (Horstmann, 1873).

Basándose en la ley de conservación de la energía, Clausius en 1850 introduce el concepto de entropía enunciando la Segunda Ley de la Termodinámica junto con el físico matemático Irlandés William Thomson (Lord Kelvin, 1824 - 1907): mostrando que a diferentes temperaturas si se ponen en contacto dos cuerpos, la transferencia de calor se transmite de un cuerpo más caliente a uno más frío y nunca en sentido contrario, señalando una pérdida de calor al ambiente llamada entropía (Hess, 1840). El término proviene del griego *entropé* que significa cambio, sugiriendo una liberación de energía (Clausius, 1865 - Folie, 1888).

La variación de la entropía ($\Delta\eta$) en un sistema se ha calculado experimentalmente mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 7} \quad \Delta\eta = \eta_{II} - \eta_I = \int_{(I)}^{(II)} \frac{dQ}{T}$$

Dónde, η_I y η_{II} = estado inicial y final de entropía (II y I); dQ = variación de calor en el estado II al I;

T = temperatura absoluta en Kelvin.

En 1857, Clausius explicó que un sistema químico alcanza el estado de equilibrio cuando no presenta ninguna variación posible de la energía que conduce al cambio de entropía. Esto implica una máxima entropía y un valor mínimo de potencial químico que tiende a cero ($\Delta\eta = 0$) (Donnan, 1936).

Horstmann mencionó que las reacciones de descomposición de cloruro de amonio o de carbonato de calcio, fueron similares a los cambios físicos de estado propuestos en la ecuación termodinámica desarrollada por el físico francés Benoit Paul Émile Clapeyron (1799 - 1864), en

$$\text{Ecuación 8} \quad \frac{dP}{dT} = \frac{dQ}{T dV}$$

1848 y utilizado por Clausius (1822 - 1888) para explicar los procesos de vaporización (Partington, 1957). Así fue escrita la ecuación

Dónde, dP , dV y dQ = cambio de presión, volumen y calor de disociación, respectivamente; T = temperatura absoluta.

En 1879, Guldberg y Waage observan que las constantes cinéticas dependían de la temperatura, más no sugerían una relación matemática para demostrarlo. Van t Hoff aborda este problema, generalizando la ecuación de Clapeyron para aplicarla a todos los sistemas químicos en equilibrio con la presencia de gases. Admitió que la relación k/k' , es decir, la constante de equilibrio k varía con la temperatura según la siguiente ley (Leclerc, 1922):

Ecuación 9	$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{Q}{R \times T^2} + \text{constante}$
------------	--

Dónde, Q = cantidad de calor involucrado;

R = constante de gas en calorías ($\text{cal } 1.99 \text{ k}^{-1} \text{ mol}^{-1}$);

T = temperatura absoluta.

En 1840, el químico holandés Germain Henri Hess (1802 - 1850), publicó un estudio sobre el calor en las reacciones químicas, demostrando que una reacción química en secuencia depende de la energía en el estado inicial y final. Esta ley fue un caso especial de la ley de conservación de energía (primera ley de termodinámica) enunciado por Julius Robert von Mayer (1814 - 1878), médico alemán y físico, 2 años más tarde (Hess, 1840), basado en estos estudios, desde 1882 hasta 1886, el francés Pierre Eugène Marcellin Berthelot y el danés Hans Peter Jörgen Julius Thomsen (1826 - 1909), usando un calorímetro determina el calor de combustión de un gran número de compuestos y concluye que este calor era una medida cuantitativa de la afinidad de las sustancias. Por esta razón, se propusieron tres principios termoquímicos (Leclerc, 1922):

- 1) Principio de trabajo molecular: la cantidad de calor liberada en cualquier reacción es la suma de trabajos físicos y químicos realizados en esta reacción.
- 2) Principio del estado inicial y final: la cantidad de calor absorbido o liberado en un sistema sólo depende de su estado inicial y final.
- 3) Principio termoquímico de trabajo máximo: todas las reacciones químicas que se dan sin intervención de energía externa, tienden a producir sustancias cuyas reacciones liberan de más calor, es decir, el proceso químico es espontáneo sólo cuando se libera calor al sistema.

Este último principio permitía prever un gran número de reacciones en la práctica. Posteriormente, el principio termoquímico de trabajo máximo fue replanteado por el físico alemán y químico Walther Hermann Nernst (1864 - 1941) en 1889 y Berthelot y Thomsen admitieron que a bajas temperaturas las combinaciones químicas con liberación de calor tienden a ocurrir más fácilmente.

Al parecer (Berthelot, 1979) fue el primero en utilizar la palabra *endothermique* (endotérmica) para indicar la absorción de calor y *exothermique* (exotérmica) para indicar la liberación de calor. Berthelot y Thomsen merecen ser recordados por la relevancia de su trabajo para el desarrollo del concepto de equilibrio químico (Hess, 1840).

Por otra parte, Van t Hoff había establecido que la constante de equilibrio varía con la temperatura, como se muestra en la ecuación 10. (Leclerc, 1922)

Ecuación 10 $\frac{d \ln K}{dT} = \frac{Q}{R_s T^2} + \text{constante}$

En 1884, con la publicación de su *Études de Dynamique Chimique*, Van t Hoff enuncia el principio de equilibrio dinámica por el que admitió que, para cada sistema en equilibrio químico, a volumen constante, una elevación de la temperatura favorece la absorción de calor (Van t Hoff, 1884). En 1888, el químico francés Henri Louis Le Chatelier (1850-1936) cita en su obra titulada *Sur un des Énoncé Général des Lois Équilibres* algunos efectos observados por Van t Hoff cuando un sistema químico en equilibrio sufre alguna alteración debido a factores externos (Leclerc, 1922). Le

Chatelier generalizó: *cuando se somete un sistema en equilibrio a una modificación externa, el sistema responde alcanzando un nuevo equilibrio que contrarresta parcialmente el efecto de la modificación* (Le Chatelier, 1888). Esta generalización es conocida actualmente como el principio de Le Chatelier.

Entre 1876 y 1878, el químico americano Josiah Willard Gibbs publicó *On the Equilibrium of Heterogeneous Substances*, un planteamiento más general comparado con el trabajo de Van't Hoff, mostrando que el desplazamiento de las reacciones químicas depende de factores externos, consecuencia de las leyes de la termodinámica (Lindauer, 1962). Esencialmente, trabajo de Gibbs consistía en el hecho de que en cualquier reacción química espontánea, la entropía debe aumentar. Gibbs demostró que en cualquier reacción química a una temperatura determinada, existe una relación simple entre la variación de entalpía con la entropía estableciendo el potencial químico, como se muestra en la siguiente ecuación, como se muestra en la siguiente ecuación (Gibbs, 1878):

Ecuación 11	$\Delta U = \Delta Q - T\Delta\eta$
-------------	-------------------------------------

Dónde: ΔU = diferencia de potencial químico; ΔQ = variación de calor; T = temperatura absoluta; $\Delta\eta$ = cambio de la entropía del sistema.

Gibbs enunció que cuando ΔU es igual a cero, una reacción química alcanza la condición de equilibrio. Basado en las leyes de Van t Hoff, demostró cómo las concentraciones de los reactivos y productos en un estado de equilibrio estaban relacionadas con valores de temperatura de la energía del sistema, como sigue (Gibbs, 1878):

Ecuación 12	$\Delta U = -R_x T \ln k$
-------------	---------------------------

Dónde: R = constante de los gases en calorías ($R=1,99 \text{ cal k}^{-1} \text{ mol}^{-1}$).

Más tarde, en 1923, el químico americano Gilbert Newton Lewis (1875 - 1946), substituyó el término potencial químico rindiendo homenaje a la energía libre de Gibbs (ΔG). En la sugerencia de Lewis, declarado en *Thermodynamics and the Free Energy of Chemical Substances*, la energía libre se ha definido como trabajo útil disponible y, cuando la temperatura es constante, representa una disminución de la energía libre del sistema y puede interpretarse como una medida de la afinidad entre las sustancias involucradas (Lewis & Randall, 1923).

La ecuación de Gibbs propuesta por Lewis puede expresarse de la siguiente forma:

Ecuación 13	$\Delta G = \Delta Q - T \cdot \Delta \eta$
-------------	---

Dónde: ΔG = variación de energía libre de Gibbs; ΔQ = variación de calor; T = temperatura absoluta; $\Delta \eta$ = variación de entropía del sistema.

Seguramente debido a que el trabajo de Gibbs fue publicado en un periódico: *Transactions of the Connecticut Academy of Sciences*, no tuvo tanto impacto. Fue el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879) que se dió cuenta de la importancia de las obras de Gibbs, comenta en su libro *Theory of Heat*, en 1872 algunos de sus trabajos en termodinámica. Aun así, Gibbs no sonaba con fuerza en el mundo científico (Partington, 1957). Alrededor de 1890, Le Chatelier tradujo la obra de Gibbs para los franceses, y el físico - químico alemán Friedrich Wilhelm Ostwald en 1891, la tradujo al alemán. Finalmente el trabajo de Gibbs recibió la merecida atención (Hess, 1840).

En 1877, Ostwald inicio sus trabajos experimentales con una investigación sobre velocidades de reacción, por ejemplo, la reacción entre la sacarosa y el ácido acético para la reacción de acetamida y agua en presencia de un ácido fuerte (Arrhenius, 1906). Ostwald fue uno de los pioneros de la fisicoquímica y estudió la influencia de sustancias llamadas catalizadores que aumentan la velocidad de las reacciones químicas. En 1893, él demostró la acción catalítica de enzimas presentes en los organismos vivos (animales y plantas) y, en 1902, desarrolló el proceso llamado Ostwald-Brauer para la producción de ácido nítrico de la oxidación del amoníaco mediante el uso de platino finamente dividido como un catalizador (Partington, 1957).

Basado en estudios de constantes de afinidad de ácidos y bases y la velocidad de las reacciones, Ostwald defendió la teoría de la disociación electrolítica, demostrando que los ácidos débiles y bases tienen ionización incompleta en solución acuosa. Con esto, concluyó que los efectos de estas sustancias en la determinación de la velocidad de las reacciones era directamente proporcional a la concentración de iones H^+ u OH^- . (Ostwald, 1879 - Van Houten, 2002)

Ostwald realizó trabajos en electrólisis abriendo caminos importantes en la formulación de la ley de la conductividad de ácidos en solución acuosa, ahora conocida como la ley de dilución de Ostwald que dice: a temperatura constante, el grado de ionización o disociación de un electrolito aumenta con la dilución de la solución (Ostwald, 1879 apud Van Houten, 2002).

Ecuación 14	$K = \alpha^2 \times C$
-------------	-------------------------

Dónde: K = constante de equilibrio; α = grado de ionización de una sustancia en solución acuosa; C = concentración en mol x L⁻¹.

En 1887, el químico sueco Svante Arrhenius (1889) desarrolló una amplia investigación en disociación iónica, indicando que los electrolitos en solución se disocian en partículas cargadas eléctricamente y generan conductividad eléctrica (Arrhenius, 1889).

En 1889, Arrhenius la publicó On the Reaction Velocity of the Inversion of Cane Sugar by Acids, concluyó que en la reacción química de equilibrio eran comunes y activas las moléculas de azúcar. Admitió que sólo las moléculas que tienen una energía superior a un cierto valor, llamado la energía de activación, fueron capaces de reaccionar. Utilizando el concepto de la energía de activación, Arrhenius obtuvo una ecuación que describe la constante de equilibrio con la temperatura (Bastiansen, 1964, Versoto, 2007):

Ecuación 15	$K = A \times e^{-E_a / R\tau}$
-------------	---------------------------------

Dónde: K = constante de equilibrio; A = frecuencia constante o factor pre-exponencial (depende del número de impactos de área o del contacto entre las sustancias); E_a = energía de activación; R = constante de los gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); τ = temperatura absoluta.

Las leyes de la termodinámicas investigadas por Van t Hoff en 1879 y desarrollado para el comportamiento del gas ideal, requiere varios ajustes cuando se aplica a las reacciones de equilibrio químico que implica la presencia de gases o mezclas de líquidos (Hess, 1840). En busca de cálculos más exactos, Lewis, en 1907, introdujo el concepto de fugacidad, cantidad termodinámica que se mide en unidades de presión, y hace referencia al potencial químico de una sustancia. Este concepto expresa la capacidad de escapar de un sustancia de una fase a la otra (Pitzer, 1961). Para Lewis, el sistema alcanzó el equilibrio cuando la condición de la fugacidad de la sustancia es constante (Lerberghe, 1931).

El estudio histórico realizado fundamenta la introducción coherente e histórica del concepto de equilibrio químico mediante una apropiada secuencia de aprendizaje. La reconstrucción del concepto de afinidad química permite ayudar a cuestionar las ideas iniciales del concepto de reacción química con el que cuentan los estudiantes: sólo se producen en un sentido y siempre de forma completa. El cuestionamiento de estas primeras concepciones puede facilitar la construcción de dos conceptos básicos del equilibrio químico: su carácter de reacción incompleta y su 'irreversibilidad'. Es importante que de la mano de esta aproximación histórica se establezca de forma paralela un trabajo experimental adecuado por ejemplo la reacción de hierro (III) con sulfocianuro estudiada por Gladstone (1855) a mediados del siglo XIX permite desarrollar el concepto de reacción incompleta (Lerberghe, 1931). También es posible estudiar la 'irreversibilidad' de las reacciones químicas desde el punto de vista experimental a partir del cambio de color observado por el desplazamiento de los equilibrios (Lerberghe, 1931).

A partir de un estudio macroscópico de las reacciones químicas, seleccionando reacciones que propicien, no sólo la puesta en duda de las primeras ideas, sino que el estudiante genere un cambio conceptual (Wandersee, Mintzes y Novak, 1994) construyendo el concepto de reacción

completa e incompleta; posteriormente el estudio experimental pudo finalizar con la formulación de la ley del equilibrio químico.

De esta forma, las constantes de equilibrio K_c y K_p se introducen a partir del tratamiento matemático de una serie de datos empíricos. Una vez que se conocen las características de tipo macroscópico que definen los sistemas en equilibrio químico, es el momento de proceder a construir modelos que intenten explicar, a escala submicroscópica, todos estos aspectos previos (Partington, 1957).

4.9. Contribución del concepto de afinidad desde la teoría cinética y termodinámica al Equilibrio químico

Los tres campos principales en los que prosperó la química – física durante el siglo XIX fueron: la teoría cinética, la termodinámica y la electroquímica. El desenvolvimiento de la teoría cinética fue paralelo al de la termodinámica, y ambas se basaron en la física de principios del siglo XIX. Los químicos absortos con la lógica cualitativa de la química orgánica dejaron de lado las leyes matemáticas cuyos descubrimientos y aplicaciones constituyeron las características principales de la física y donde sus avances se hacían cada vez más evidentes.

La búsqueda de una explicación para la afinidad continuaba siendo una de las fuerzas propulsoras de las investigaciones químicas. Los químicos orgánicos cuya mente no era matemática, utilizaban el concepto de afinidad para designar los enlaces de valencia, otros químicos pensaron que los conceptos energéticos de los físicos ofrecían una mejor opción para entenderla, pero incluso ellos también dejaron de lado la afinidad como atracción química.

Es interesante analizar que la afinidad es un concepto que fue utilizado por muchos científicos buscando dar explicación a los fenómenos que iban estudiando o simplemente intentando definirla y tras esto realizaron investigaciones que revolucionaron la química. Aunque en algunos casos debieron esperar muchos años o desafortunadamente jamás lograron enterarse de la magnitud de

sus hipótesis. Es por esto que es preciso en esta investigación tener en cuenta cada uno de estos aportes desde dos campos principales de la química. Por lo tanto se realizará un análisis del carácter dinámico del equilibrio químico desde la cinética y la termodinámica teniendo en cuenta la importancia del concepto de afinidad para esta construcción histórica.

Aproximación histórica del concepto de Equilibrio Químico desde la cinética y la termodinámica	
Cinética	En 1777, Wenzel intentó medir la afinidad observando la velocidad con que los metales se disolvían en los ácidos. El método no respondió a lo que Wenzel esperaba, pero quizás el primer estudio de las velocidades de reacción. Las investigaciones de Berthollet, intentaron explicar las condiciones de equilibrio que se ejercían sobre las sustancias reaccionantes. Sus investigaciones nacen a raíz de su preocupación por explicar el concepto de afinidad.
	Ludwig Wilhelmy (1812 - 1864) investigó la hidrólisis del azúcar de caña en medio ácido. Midiendo el giro del plano de polarización óptica que la disolución había producido, y utilizando su valor para deducir la cantidad del azúcar invertida (Wilhelmy, 1850). Demostró que si se representaba por Z la concentración del azúcar, la disminución de esta sustancia (dZ) en el intervalo de tiempo dT venía dada por la expresión $-dZ/dT = kZ$. Esta ecuación referente a una reacción monomolecular fue la primera expresión matemática de un proceso químico (Ostwald, 1896 - 1902). Al mismo tiempo que Wilhelmy, Williamson había observado que, cuando una reacción produce sustancias con una velocidad definida, y a su vez estas sustancias reaccionan de nuevo, también con una velocidad determinada, para regenerar los materiales de partida, debe llegar un momento en el que se alcance un equilibrio químico. Este concepto de equilibrio dinámico no logro popularidad entre los químicos, y la labor de Wilhelmy fue continuada por Marcellin Berthelot y por L. Péan de St. Guilles (1832 - 1863).

Cinética	Berthelot y Guilles sin dejar atrás su intención de medir las relaciones de afinidad de las sustancias reaccionantes, estudiaron la cinética de la esterificación de los ácidos por los alcoholes. Ellos sólo investigaban la formación de los ésteres pero no su hidrólisis por lo tanto no pudieron darse cuenta que existía un equilibrio dinámico asociado a estas reacciones.
Cinética	Los científicos noruegos Cato Maximilian Guldberg y Peter Waage aunque realizaron sus aportes a los estudios cuantitativos del concepto de equilibrio químico, se considera pertinente incluirlos en los estudios cinéticos debido que sus conocimientos aportaron uno de los factores de los cuales depende la velocidad de reacción y fueron los primeros en captar la verdadera importancia del concepto de equilibrio. Enunciaron la ley de acción de masas, sobre la cual se basa la química moderna. El trabajo de ellos fue ignorado incluso después de haber sido publicado en francés en 1867 (Guldberg y Waage, 1867). Durante este tiempo, van't Hoff y otros científicos describieron cierto número de casos particulares de la ley. Por esta razón Guldberg y Waage publicaron en 1879 una exposición completa de su teoría en una importante revista alemana (Guldberg y Waage, 1879). Desde entonces han recibido todo el crédito debido a sus investigaciones.
Termoquímica	El danés Julius Thomsen (1826 - 1909) y el francés Marcellin Berthelot, otro químico orgánico, que se encontraba también en la transición del paso de la orgánica a la química física, hicieron, basándose en la ley de Hess, numerosas medidas de los calores de diversas reacciones; a Berthelot se le atribuyen los términos endotérmico y exotérmico. Tanto Thomsen como Berthelot concluyeron que en la medida de los calores de reacción se había encontrado al fin una determinación cuantitativa de la afinidad. Berthelot expresó esto como su "principio del trabajo máximo": todos los cambios químicos que tienen lugar sin intervención de energía exterior tienden a producir los cuerpos o los sistemas de cuerpos en cuya formación se libera más calor (Berthelot, 1875). Este trabajo

	fue criticado por Helmholtz, y más tarde, por Walther Nernst (1864 - 1941), quien demostró, en su teorema del calor la tercera ley de la termodinámica. Thomsen y Berthelot sin embargo después de mucho tiempo fueron considerados los precursores de la termoquímica y a ellos se atribuye la segunda ley de la termodinámica, base del equilibrio químico.
Termodinámica	August Friedrich Horstmann (1843 - 1929) fue quien, en 1869, dio el primer paso para transferir la termodinámica de los físicos a la labor del químico. Aplicó el concepto de entropía en sus estudios sobre la sublimación del cloruro de amonio (Horstmann, 1869) y demostró que el proceso seguía las mismas leyes que actuaban en la vaporización de los líquidos. De aquí que se le pudiera aplicar el mismo proceso matemático de Clausius – Clapeyron.
Cinética / Termodinámica	Van 't Hoff clarificó las reacciones de acuerdo con el número de moléculas reaccionantes, definiendo los distintos órdenes de aquellas y ayudando así a esclarecer la visión de los mecanismos de reacción (van 't Hoff, 1877), su trabajo fue fundamental para las investigaciones de Svante Arrhenius (1859 - 1927) que se dio cuenta de que no todas las colisiones entre moléculas eran causa de reacción, ni siquiera en el caso de las biomoleculares. Por ello propuso los conceptos de “moléculas activas” y de “energía de activación”. Sobre la base de estas ideas, la cinética se convirtió en una rama admitida de la química, que habría de contribuir extraordinariamente en la comprensión del curso real de las reacciones. Van't Hoff había demostrado a los químicos cómo la termodinámica se podía aplicar a su ciencia, especialmente en relación con las ideas de afinidad. En sus investigaciones de 1884, fue el primero en establecer la diferencia entre cinética química y termodinámica química y demostró que el máximo trabajo exterior producido en una reacción química reversible e isotérmica, podía servir como medida de la afinidad química (van't Hoff, 1884).

	De todas las contribuciones que le debemos a van't Hoff, sus ideas relacionadas con la afinidad química y el equilibrio químico son muy significativas, pero extrañamente estas contribuciones están entre los trabajos menos conocidos de este gran químico. Cuando nombramos a van't Hoff, pensamos en sus contribuciones a la química estructural y a la presión osmótica, pero usualmente no sobre el equilibrio químico. De hecho, nuestro conocimiento sobre el concepto de equilibrio químico difiere muy poco de los presentados por van't Hoff en "Estudio de Dinámica Química", presentado en 1884. Sus estudios en esta área van desde la innovación de doble flecha, que todavía es universalmente utilizado para indicar la naturaleza dinámica del equilibrio químico, hasta la bien conocida ecuación de van't Hoff que describe la variación en la constante de equilibrio como una función de la temperatura. Aunque a Guldberg y Waage se les da generalmente el crédito como los primeros en haber desarrollado la ley de acción de masa, van't Hoff también desarrollo la misma ley independientemente y desde una base diferente. van't Hoff derivó la ley de acción de masa sobre la base de las velocidades de reacción, siendo igual la velocidad de la reacción directa e inversa en el equilibrio. Esta es exactamente la explicación de la naturaleza dinámica del equilibrio químico y la derivación de la ley de acción de masas que se encuentra prácticamente en todos los libros introductorios a la química. Guldberg y Waage también usaron el concepto de velocidad de reacción, pero su concepto original de equilibrio químico involucraba la idea de un balance de fuerzas opuestas (Mooref, 1939). Las primeras dos secciones (120 páginas) de los "Estudios de Dinámicas Químicas" de van't Hoff están dedicados a una discusión sobre la cinética química, los desarrollos allí expuestos difieren un poco de los libros de fisicoquímica. En la tercera, cuarta y quinta sección de este libro trata de "La
--	---

	influencia de la temperatura en los cambios del equilibrio químico”, “Equilibrio Químico” y “Afinidad”. Debemos reconocer que van’t Hoff estuvo equipado con una herramienta muy poderosa que fue la termodinámica, que no estuvo disponible para los trabajos tempranos de muchos científicos que intentaron dar cuenta del concepto de afinidad química y equilibrio químico. En su tratado, van’t Hoff afirmó que el trabajo máximo hecho por un proceso químico podría relacionarse como una cuantificación de la afinidad química. Por fin la afinidad ilusoria había sido objetivamente definida!. Van’t Hoff definió la afinidad química como la máxima cantidad de trabajo, A, que podría obtenerse de un proceso químico menos la cantidad de trabajo requerido para mantener el sistema a un volumen constante. El símbolo A también se usa para representar la función de trabajo de Helmholtz, pero Sackur (Sackur, 1917) escribió que este símbolo representa afinidad. A menudo se cree que este símbolo fue introducido como una abreviación para la palabra Alemana sobre trabajo, <i>arbeit</i>. Parece que durante la última parte del siglo XIX este símbolo se utilizó libremente para representar ya sea trabajo, equivalente químico o afinidad. Van’t Hoff utilizó el símbolo A, pero lo llamó “el trabajo que puede hacerse por la fuerza de afinidad en una reacción química”. Van’t Hoff también reconoció que la segunda ley de la termodinámica impone varias restricciones sobre la naturaleza de los procesos por los cuales la cantidad máxima de trabajo puede ser obtenida, es decir, que el proceso debe llevarse de forma reversible e isotérmica; van’t Hoff fue cuidadoso para considerar ambas restricciones particularmente la influencia de la temperatura. Él menciona que la ley de acción de masa es válida únicamente en condiciones de temperatura constante, y que la influencia de la temperatura en la constante de equilibrio puede determinarse por las consideraciones involucradas en la segunda ley de la termodinámica. Considerando el equilibrio en un ciclo reversible de operaciones, van’t Hoff
--	---

	derivo su ecuación. $\frac{d \ln K}{dT} = \frac{q}{2T^2}$ Donde q es la “cantidad de calor que se absorbe cuando una cantidad/volumen del primer sistema (por ejemplo los reactantes) es convertido en la segunda (por ejemplo los productos) sin ningún trabajo externo aplicado” (Van’t Hoff, 1903). En sus estudios van’t Hoff aplica la ley de acción de masa y la ecuación (1), a una variedad de situaciones de equilibrios heterogéneos y homogéneos a muchas reacciones donde $q=0$ y en otras donde $q>0$ ó $q<0$. Después en el mismo trabajo enunció su “principio de equilibrio móvil” con la siguiente declaración: “cada equilibrio entre dos condiciones diferentes de masa (sistemas) sea modificado por la disminución de la temperatura, a volumen constante, el sistema se desplaza hacia la formación del calor” (Van’t Hoff, 1903). Este principio aplica a todos los casos posibles de equilibrio físico y químico. Realizando las sustituciones apropiadas para el caso de los equilibrios físicos (cambios de estado) la ecuación de Van’t Hoff se convierte en la ecuación de Clausius-Clapeyron. Van’t Hoff también demuestra que las conclusiones de Berthollet y Arrhenius fueron únicamente casos especiales de una formulación más general. Sin embargo el triunfo más grande de Van’t Hoff fue en la derivación de las reacciones isotérmicas, que se declara por la reacción general, $aA + bB \rightarrow cC + dD$ el trabajo máximo es $A = RT \ln K - RT \ln \frac{C_C^c C_D^d}{C_A^a C_B^b}$ Dónde C_A, C_B, C_C y C_D representan concentraciones, o presiones parciales de
--	--

	las sustancias A, B, C, y D respectivamente. Por lo tanto en el caso donde todas las sustancias están presentes por unidad de concentración, la constante de equilibrio, K, es una medida directa del trabajo máximo, que es A, y la afinidad relacionada. Por una diferenciación parcial de la ecuación de la reacción isotérmica, seguido por la sustitución apropiada, van't Hoff llegó a la conocida ecuación de Helmholtz, $A = q - T \frac{\partial A}{\partial T}$ La reacción isotérmica y la afinidad fueron el tema central de los estudios de equilibrio químico de las clases del siglo XIX; y debe mencionarse que van't Hoff al igual que Helmholtz estimularon mucho el gran interés del método de energía potencial para determinar el trabajo máximo. La química está en deuda con van't Hoff por su consolidación de la cinética química, termodinámica y las medidas físicas en la elucidación del fenómeno químico y por lo tanto debe ser recordado como uno de los fundadores de la fisicoquímica.
Termodinámica	Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903), profesor de física matemática en la Universidad de Yale. Este conocido científico, en 1870, concibió un enfoque más general del equilibrio químico comparado con van't Hoff. Por desgracia la escasa difusión de las Transactions of the Connecticut Academy of Sciences, revista donde se publicaron sus investigaciones, y la rigurosa forma matemática en que él expresó sus ideas, impidieron el reconocimiento general de su verdadero significado, excepto por parte de algunos especialistas, como el físico James Clerk Maxwell (1831 - 1879), quien a su vez expuso su importancia a J.D. van der Waals (1837 - 1923). Finalmente, Ostwald tradujo el trabajo al alemán, en 1899, y Henri Le Chatelier (1850 - 1936) al francés, en 1899, y fue entonces cuando llegó a ser conocido en el mundo científico. El químico

	holandés H.W.B Roozeboom (1854 - 1907) reconoció la importancia del trabajo de Gibbs y mostró que sus conclusiones iniciales sobre el trabajo de van't Hoff y otros podrían derivar de la base de los potenciales termodinámicos de Gibbs. Por lo tanto el equilibrio químico todavía se presenta con el argumento de van't Hoff; y recientemente en los libros de fisicoquímica se presentan los potenciales termodinámicos.
	Gilbert Newton Lewis (1875 - 1956) de la Universidad de California. En 1923, Lewis y Merle Randall publicaron en 1923 su obra clásica "Termodinámica", que fue en gran parte responsable de la aplicación de la termodinámica en los estudios de las reacciones química y el equilibrio químico. El "trabajo máximo" de van't Hoff más tarde fue sustituido por el término "energía libre" que ya anteriormente Helmholtz había denominado así. Por sugerencia de G.N Lewis este término fue definido como "el trabajo disponible para utilizar"; por lo tanto cuando un sistema a temperatura constante pasa espontáneamente de un estado a otro, el trabajo máximo utilizable que se convierte en disponible representa el decrecimiento en la energía libre del sistema. Este decrecimiento puede ser tomado como una medida de la afinidad en los procesos químicos (Lewis, 1953). Lewis actualmente hace poca referencia al término de afinidad; en muchos aspectos, el término energía libre reemplazó el concepto de afinidad química como la fuerza motora de las reacciones químicas. Sin embargo no ha sido totalmente sustituido ya que en la literatura termodinámica, de 1922, la escuela belga dirigida por Théophile De Donder dió todavía más precisión al concepto de afinidad.

Tabla N° 3 Aproximación histórica del concepto de Equilibrio Químico desde la cinética y la termodinámica

4.10. El desarrollo de la profesión química

Con el fin de concluir este capítulo es importante hacer un especial énfasis en el cambio que tuvo la ciencia durante el siglo XVIII y XIX, siglos que se consideran fundamentales en la construcción

del concepto de equilibrio químico. Ninguna historia de la ciencia estaría completa sin examinar un poco cómo ocurrió esta transformación en el transcurso de este tiempo. El cambio de la química como ciencia se refiere a su situación como disciplina científica, la relación existente con sus efectos sobre los químicos, considerados individualmente, y sobre la sociedad que se desarrolló.

A principios del siglo XIX, la medicina y la farmacia aún influían de manera notable sobre la química. Los químicos profesionales eran pocos y se consideraban como particulares y no como miembros de un grupo con personalidad. Al finalizar el siglo, la química era ya una profesión constituida, tenía centros de aprendizaje y sus egresados tenían puestos asegurados. La organización de la química y la divulgación de sus conocimientos se habían convertido en una de las actividades más importantes para los químicos.

A finales del siglo XVIII, Francia era el centro universal de la química. Esto se debía en gran parte a la abrumadora reputación de Lavoisier. Pero también al brillante círculo de químicos que le sucedieron, formado por hombres como Berthollet, Gay – Lussac, Chevreul y Dumas, quienes lograban captar la atención de los estudiantes extranjeros y franceses, atrayéndolos a sus laboratorios.

Estos hombres combinaban sus trabajos en la industria con lo académico estimulando el avance científico, pero sin formar un cuerpo lo suficientemente amplio para reemplazarlos, tanto en los laboratorios industriales como en los puestos académicos. En Francia se iniciaron muchos procesos industriales importantes, por ejemplo el método de Leblanc para obtener la sosa, la extracción de azúcar y de remolacha. Sin embargo, a medida que el siglo avanzaba, las ventajas de las que disfrutaba Francia al principio no pudieron evitar que la dirección de la química se desplazase a Alemania.

Es probable que la organización centralizada de la ciencia francesa fuese en parte responsable de este desplazamiento ya que las actividades importantes, tanto en química como en las otras ciencias eran supervisadas por la Academia de Ciencias, y sólo en París había instalaciones de

laboratorio adecuadas. Las universidades provinciales carecían de fondos y de edificios para la investigación química, por lo tanto los hombres de talento se veían en la necesidad de desplazarse hasta París y estos traslados tardaban mucho tiempo. Otro inconveniente era el manejo del poder, por ejemplo, Laurent y Gerhardt, se ganaron la enemistad del poderoso Dumas, y, a través de él, de la Academia de Ciencias, por esta razón nunca pudieron conseguir puestos adecuados a sus capacidades. Definitivamente la centralización del poder sobre la vida de los científicos constituyó una debilidad vital en la ciencia francesa, por lo tanto sus científicos buscaban nuevas salidas, en algunos casos fue trasladarse a Alemania.

Los primeros años del siglo pertenecían todavía a la época de las grandes personalidades: Berzelius dominó las décadas iniciales, y Dumas y Liebig, el final de su primera mitad. Se fundaron nuevas revistas para ocuparse de la masa creciente de manuscritos, y estas publicaciones llevaron, en general, los nombres de sus editores particulares (Leicester, 1967). Las revistas de Poggendorff y Schweigger eran conocidas y respetadas por los químicos y físicos de su tiempo, *Annalen der Pharmacie*, fundadas en 1832, tuvieron siempre a Liebig como uno de sus editores. Cuando él murió se les dio el nombre que ahora llevan; *Justus Liebig Annalen der Chemie*, y se convirtieron en la publicación química más importante de mediados del siglo. Posteriormente, y con el auge de la química orgánica, la política fue sólo publicar artículos de química orgánica, esta continúa siendo la directriz de publicación en esta revista.

El tiempo del individualismo se terminaba. La acumulación de literatura química era ya tan grande que en 1830 fue necesario fundar una revista de resúmenes, el *Pharmaceutisches Central-Blatt*, que luego se convirtió sucesivamente en el *Chemisch-Pharmaceutisches Centralblatt*, en 1850, y en el *Chemisches Centralblatt*, en 1856. Estos cambios de título reflejan la importancia relativa de las dos ciencias dentro del campo de la química, ya que solamente se publicaban resúmenes de trabajos químicos. En 1897, la Sociedad Química de Alemania asumió la responsabilidad de su edición, posteriormente la Sociedad Americana de Química continuó y amplió el modelo y, en 1907, empezó a editarse los *Chemical Abstracts*.

Alemania estuvo políticamente dividida, durante el siglo XVIII, y casi todos sus pequeños estados contaban con una universidad, por lo tanto sus científicos alemanes se hallaban esparcidos por todo el país, a diferencia de los científicos franceses que se concentraban en París. La estructura monolítica de la ciencia francesa favoreció la actividad de los científicos de primera fila, pero poco contribuyó a fomentar el desarrollo de un grupo de químicos que pudieran trabajar en otras partes menos espectaculares y reconocidas de la investigación, partes que comenzaban a constituir la base de la química, con el planteamiento de problemas cada vez más difíciles.

Después de que Liebig, finalizó sus estudios en París con Dumas, regresó a Alemania, a Giessen, allí se desempeñó como profesor de química, a la edad de veintiún años, fundó el primer laboratorio del mundo donde auténticamente se enseñaba la química de un modo eficaz. Así fue como se inició el desplazamiento del equilibrio químico de Francia a Alemania. En el laboratorio de Liebig los jóvenes recibían una formación organizada sobre los métodos de investigación química. Fue en su laboratorio finalizó el método maestro-discípulo, que había prevalecido durante tanto tiempo. En lugar de ello, el profesor planteaba el problema principal y los estudiantes lo investigaban, bajo su propio criterio, esta investigación debían desarrollarla durante todo el proceso de estudios. Cuando los estudiantes terminaban su trabajo pasaban a ocupar otros puestos, así estrechaban lazos no sólo con sus profesores sino con los que también habían sido sus compañeros. Este método ayudó al incremento de químicos en Alemania hasta tal punto que sobrepasó a Francia, que continuaba con su método de institución individualizada.

El sistema de Liebig se extendió por toda Alemania, y sus discípulos ocuparon la mayoría de las cátedras en universidades extranjeras, otros empezaron a buscar empleo en las industrias de reciente desarrollo. Tales industrias, fundadas sobre la investigación química, iniciaron su crecimiento por toda Alemania, y, como reflejo de la química de aquel tiempo, se dedicaron principalmente a los compuestos orgánicos.

Inglaterra conservó su posición como primera potencia industrial durante casi todo el siglo XIX, aunque la revolución industrial había comenzado allí, ellos dependían escasamente de la química.

Aunque sus industrias fueran metalúrgicas y textiles y utilizaran por supuesto procedimientos químicos, éstos no eran el resultado de una investigación sistemática. La química orgánica no ocupó un lugar privilegiado en la industria británica, y a pesar de que el primer tinte sintético, el malva, fue descubierto en Inglaterra por William Henry Perkin (1838 - 1907) a sus dieciocho años, la industria de los colorantes se extendió y permaneció en manos alemanas hasta la I Guerra Mundial.

El auge de los científicos alemanes era innegable ya que sus investigadores químicos creados en las universidades alemanas, trabajaban en los laboratorios de grandes industrias de drogas y colorantes, donde sus asesores eran sus profesores, quienes dirigían el desarrollo de las instalaciones con un criterio científico y que llevaban a sus propios laboratorios los problemas con que tropezaba en la industria, problemas que debían ser resueltos por sus nuevos grupos de estudiantes. En los laboratorios industriales se investigaron un número cada vez mayor de sustancias intermedias que eran el subproducto de las síntesis de compuestos específicos nuevos. Estos productos intermedios, estudiados en los laboratorios universitarios, fueron el punto de partida para lograr síntesis completamente nuevas. Hacia finales del siglo, Alemania ejercía su predominio tanto en la química teórica como en la industrial, y el estímulo que representó esta combinación de ciencia pura y aplicada, llevó a los estudiantes de todo el mundo hacia las universidades alemanas.

A pesar de la calidad de científicos que poseía Francia, indiscutiblemente no podía mantener el nivel de progreso de Alemania, por lo tanto su posición en el mundo de la química declinó paulatinamente. En Inglaterra, se desarrolló una química más uniforme debido a que los científicos perseguían sus propios intereses sin tener en cuenta las modas a su alrededor, por otro lado la ciencia no estaba centralizada como es el caso de Francia. Edimburgo y Manchester fueron centros químicos tan importantes como Londres, además los químicos ingleses no se dedicaron exclusivamente a la química orgánica. Por ejemplo Faraday y Graham siguieron sus propias directrices de investigación y sus resultados llegaron a comprenderse completamente muchos años después.

En Inglaterra en 1841, se fundó la primera Sociedad Nacional de Química, ya que existían sociedades locales: entre las primeras, las creadas en Filadelfia en 1789 y en 1792 (Miles, 1950), Chemical Society en Londres y la Journal, en 1847, con estas sociedades se establecía un modelo de química más organizada, paso fundamental para el desarrollo de la química como profesión. Los científicos ingleses eran individualistas, sin embargo acostumbraban a reunirse con sus colegas para discutir problemas de interés mutuo.

Las grandes naciones siguiendo el ejemplo británico, empezaron a organizar sociedades con sus revistas correspondientes. Entre las más importantes puede citarse: la Société Chimique de Paris (fundada en 1857) con su *Bulletin* (iniciado en 1858), la Deutsche Chemische Gesellschaft (1867) y su *Berichte* (1867), La Sociedad Rusa de Química (1868) y su *Journal* (1869) (hoy *Journal of General Chemistry*), la Assoziacione Italiana di Chimica (1871) y la *Gazzeta* (1871), y la American Chemical Society (1876) y su *Journal* (1879). Todavía se publican todas las revistas citadas, y muchos de los artículos más importantes de hoy aparecen en ellas (Leicester, 1967).

La química se hizo más y más compleja, así que algunas ramas especializadas desarrollaron sus propias revistas. La química orgánica progresó de la mano con la química general, aunque no estuvieran diferenciadas como disciplinas especializadas. El primer intento consciente de establecer una división autónoma de la química lo realizó Wilhelm Ostwald, cuando en su texto *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* (Leipzig, 1884 - 1887) habló de la química física como una disciplina autónoma. Su interés por la química física fue tal que fundó una de las primeras revistas especializadas en 1887, el *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Con el entusiasta apoyo de van'Hoff y Arrhenius, quedó establecida la nueva ciencia. Subsiguiente a esto, se crearon revistas de química orgánica e inorgánica, bioquímica, electroquímica, radioquímica, etc.

Con el avance del siglo, las naciones escandinavas y Holanda empezaron a destacarse por comenzar a preparar químicos de primera categoría en sus rigurosos centros químicos. En Rusia durante el siglo XIX surgió un grupo de científicos nacionales. Durante los primeros años, toda la actividad científica estaba concentrada en la Academia de Ciencias de San Petersburgo, situación

similar a la de Francia, con un agravante y era que la Academia estaba a cargo de los científicos alemanes principalmente debido a la escasez de científicos rusos. Sin embargo a finales del siglo, las universidades rusas de provincias, dirigidas por la Universidad de Kazan, iniciaron su desarrollo como escuelas independientes de investigación. Los científicos rusos iban a estudiar al extranjero y luego retornaban a ocupar puestos en los centros de su país. Debido a esto existió un gran avance de la ciencia rusa, que produjo hombres tan importantes como Mendeleiev, Butlerov y Markovnikov.

Mientras tanto en Estados Unidos en la época de la Revolución, y durante algunas décadas más tarde, el centro científico del país fue Filadelfia. Científicos como Benjamin Rush (1746 - 1813) (Miles, 1953) y Robert Hare (1781 - 1858), inventores del soplete oxhídrico (Smith, 1917), se cuentan entre los primeros químicos: Willard Gibbs uno de los más grandes científicos americanos del siglo, vivió y trabajó en el aislamiento y ejerció poca influencia en la química de su país. Las universidades americanas se convirtieron en centros de investigación química hasta después de haberse abierto la Johns Hopkins University en 1876, dirigida bajo el modelo de las universidades alemanas. Ira Remsen (1846 -1927), fue quien más influyó en introducir el sistema alemán en América.

En casi todos los países la química conservó un carácter académico, la causa de ello era que Alemania había logrado un adelanto industrial químico tan significativo que no valía la pena competir con la preparación de sus productos intermedios, colorantes, drogas y perfumes. Realmente fue la I Guerra Mundial, la que despertó a las naciones quienes decidieron trabajar fuertemente en sus fuentes de abastecimiento, aplicando sus conocimientos químicos y energéticos logrando edificar sus propias industrias. Las industrias químicas se cuentan hoy entre las actividades manufactureras más importantes en todos los países industrializados.

En este breve recuento de la profesionalización de la química vemos que el carácter internacional de ciencia con sus numerosas publicaciones y la extensa correspondencia entre los científicos, influyeron mucho en este gran avance. Por ejemplo a pesar de las guerras napoleónicas, Davy

visitó Francia en 1813 y recorrió sus laboratorios, esto nos muestra que el sentir del hombre de ciencia no se vio obstaculizado por los sentimientos nacionalistas. Otro factor que favoreció a la química fue que se reconociera como ciencia independiente. Pero, quizá fue todavía más importante la estrecha relación que se estableció entre la química técnica y teórica.

Fue Lavoisier quien principalmente proveyó al gobierno francés de explosivos de buena calidad, aparte de otros muchos problemas técnicos que resolvió en beneficio de sus compatriotas; Berthollet intervino activamente en las industrias francesas de tintorería y limpieza; Gay – Lussac proporcionó la torre que lleva su nombre a los fabricantes de ácido sulfúrico, y Davy trabajó en la lámpara de seguridad para los mineros. Bajo el imperativo de las guerras napoleónicas y del bloqueo continental se extendieron muchas industrias desde los laboratorios y las boticas: se incrementó la producción de azúcar; el método Leblanc estaba en auge, con los estudios realizados sobre el equilibrio químico la industria de colorantes se fortaleció, definitivamente la industria a gran escala comenzó en aquella época.

4.11. Acontecimientos e investigaciones importantes del siglo XVIII

Teniendo en cuenta la importancia de cada uno de las investigaciones y sus aportes a la sociedad, se realiza un recuento de los trabajos más significativos del siglo XVIII, intentando por supuesto no caer en una secuencialidad de acontecimientos por el contrario, se busca abrir un espacio donde se reconozcan investigaciones y eventos significativos para contextualizar al lector de una manera sistemática sobre acontecimientos que hacen parte del gran trabajo de institucionalización de la ciencia y por otro lado busca justificar porque el siglo XVIII es llamado el siglo de la revolución científica.

AÑO	DESCRIPCION
1703	Muere en Londres el astrónomo y matemático británico Robert Hooke. El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton es elegido presidente de la Royal Society.

1704	El naturalista británico John Ray termina de publicar la <i>Historia generalis plantarum</i> . El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton publica <i>Tractatus de quadratura curvatorum</i> .
1705	Muere el matemático belga Jacques Bernoulli, autor de un estudio fundamental sobre el cálculo infinitesimal e integral. El mecánico británico Thomas Newcomen construye la máquina atmosférica conocida como <<bomba de fuego>>, empleando los inventos de Denis Papin y Thomas Savery.
1706	Nace el futuro filósofo, físico y político norteamericano Benjamin Franklin.
1707	El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton publica <i>Arithmetica universalis</i> .
1708	El médico y químico alemán George Ernest Stahl desarrolla sus teorías animistas en <i>Theoria médica vera</i> . El filósofo irlandés George Berkeley escribe <i>Teoría de la visión</i> .
1710	Se funda la Academia de Ciencias de Berlín, y se inicia la publicación de la revista científica <i>Berolinensia ad Incrementa Scientiarum</i> .
1713	Se publica, de forma póstuma, <i>Ars coniectandi</i> obra de Jacques Bernoulli, sobre el cálculo de probabilidades.
1714	El relojero británico John Harrison introduce un método práctico para determinar la longitud marítima. El físico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit fabrica el primer termómetro de mercurio.
1716	Se inaugura la Biblioteca Real de Madrid.
1717	El matemático británico Brook Taylor enuncia el teorema que lleva su nombre. Se realiza, en Gran Bretaña, la primera inoculación contra la viruela.
1721	El filósofo irlandés George Berkeley escribe <i>tratado del movimiento</i> .

1723	Muere, en Delft (Holanda), el naturalista e investigador holandés Antoine van Leeuwenhoek, fundador de la microbiología.
1726	Jean I Bernoulli, matemático suizo, redacta <i>Tratado de las leyes de la comunicación del movimiento</i> .
1727	Daniel Bernoulli, físico y matemático suizo, elabora la primera teoría cinemática de los gases. Muere el físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton.
1728	El matemático suizo Leonhard Euler estudia las líneas geodésicas. El astrónomo británico James Bradley descubre la aberración y la nutación del eje terrestre.
1729	El astrónomo, hidrógrafo y matemático francés Pierre Bouguer publica sus trabajos sobre fotometría. El investigador francés Charles François Du Fay publica sus trabajos sobre la conducción de la electricidad.
1730	El físico y naturalista francés René Antoine Ferchault de Réaumur publica su trabajo sobre el termómetro en el que utiliza alcohol mezclado con un tercio de agua.
1731	Se funda la Academia de Cirugía de París. El erudito y político norteamericano Benjamin Franklin funda una biblioteca por suscripción en Filadelfia (Estados Unidos). El matemático francés Alexis Clairaut establece los fundamentos de la geometría analítica del espacio.
1732	El matemático, físico y filósofo francés Pierre Louis Moreau de Maupertuis escribe <i>Discurso sobre la figura de los astros</i> .
1734	El físico y naturalista francés René Antoine Ferchault de Réaumur escribe <i>Historia de los insectos</i> . Se funda la Universidad de Göttingen (Alemania).
1735	El metalúrgico británico Abraham Darby emplea, por primera vez, coque en un alto horno. El naturalista y médico sueco Carl von Linné publica <i>system naturae</i> , en el que realiza una clasificación binaria de los seres vivos.
1738	Linné termina de redactar <i>Classes plantarum</i> . El físico y matemático suizo

Daniel Bernoulli termina de escribir la <i>Hidrodinámica</i> .	
1739	Muere el médico y químico neerlandés Herman Boerhaave. El matemático y filósofo francés Jean Le Rond D'Alembert escribe <i>Memorias sobre el cálculo integral</i> .
1740	El suizo Charles Bonnet publica sus investigaciones sobre la partenogénesis.
1741	Se crea el Colegio de Cirugía de Montpellier (Francia).
1742	El físico y astrónomo sueco Andrés Celsius describe el termómetro centígrado. El físico y naturalista francés René Antoine de Réaumur modifica la escala termométrica centígrada del físico Celsius.
1743	Nace el filósofo, matemático y político francés Marie Jean Antoine Nicolás de Caritat, marqués de Condorcet. D'Alembert publica <i>Tratado de Dinámica</i> , punto de partida de la medicina racional.
1744	Euler publica la <i>Teoría del movimiento de los cometas o de los planetas</i> . El naturalista francés Charles-Marie de La Condamine descende por el Amazonas y trae a Francia el caucho, la quina, el curare y la técnica de la inoculación.
1747	El físico, filósofo y político norteamericano Benjamin Franklin realiza las primeras investigaciones sobre el pararrayos. D'Alembert publica <i>Reflexiones sobre la causa general de los vientos</i> y <i>Memorias de la Academia de Berlín</i> .
1748	Se publica <i>El hombre-máquina</i> en que Julien Offroy de La Mettrie, médico y filósofo francés, desde un materialismo radical, sostiene que el hombre es una estructura mecánica. Muere el matemático suizo Jean I Bernoulli.
1749	El naturalista francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon, fundador de la antropología y la geografía humanas, publica la <i>Historia Natural del Hombre</i> .
1750	Euler integra las ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes. Franklin publica <i>Experimentos y observaciones sobre la electricidad</i> .
1753	Franklin publica sus investigaciones sobre los pararrayos.

1754	El escritor francés Denis Diderot publica sus <i>Pensamientos sobre la interpretación de la naturaleza</i> . Comienza a publicarse el <i>Journal de Medicine et de Chirurgie</i> de Paris. El filósofo y naturalista suizo Charles Bonnet realiza experimentos sobre la absorción del agua por las hojas vegetales. Maupertuis publica <i>Ensayo sobre la formación de cuerpos organizados</i> .
1755	El matemático francés Joseph-Louis de Lagrange establece el cálculo de las variaciones. Euler publica <i>Instituciones del cálculo diferencial</i> . El físico y químico británico Joseph Black descubre el gas carbónico.
1757	El matemático italiano V. Riccati introduce las funciones hiperbólicas. El papa Benedicto XIV anula el decreto anticopernicano. Muere el físico y naturalista francés René Antoine de Réaumur. El astrónomo Louis de Lacaille publica <i>Fundamenta astronomiae</i> , donde cataloga cuatrocientas estrellas.
1759	El médico alemán Kaspar Friedrich Wolff sienta las bases de la embriología moderna en <i>Theoria generationis</i>
1760	D'Alembert publica <i>Ecuaciones diferenciales</i> . Euler escribe <i>Theoria motus corporum solidarum seu rigidarum</i> . El matemático y físico francés Jean Henri Lambert publica <i>Photometria</i> .
1762	M.C. Hanov convierte a la meteorología en una ciencia autónoma.
1764	El ingeniero británico James Watt perfecciona la máquina de vapor que había inventado el mecánico Thomas Newcomen.
1765	El físico y químico británico Henry Cavendish identifica el hidrogeno.
1766	Cavendish experimenta la composición del agua y del ácido nítrico. Euler descubre el cálculo de variaciones. El francés Le Roy inventa el resorte espiral isócrono en el cronómetro.
1767	El químico y filósofo británico Joseph Priestley publica <i>Historia de la electricidad</i> .

1768	El químico francés Antoine Laurent de Lavoisier es elegido miembro de la Academia de ciencias de París. El naturalista italiano Lazzaro Spallanzani realiza experimentos sobre la reproducción y fecundación de los anfibios. Euler termina de redactar <i>Instituciones calculi integralis</i> . Comienza el viaje del navegante británico James Cook al continente austral.
1770	Louis de Lagrange, matemático francés, publica <i>Reflexiones sobre la solución algebraica de las ecuaciones</i> .
1772	El químico y filósofo francés Joseph Priestley escribe <i>observaciones sobre el aire</i> . Lagrange escribe <i>Adiciones al álgebra de Euler</i> .
1773	Laplace demuestra que los movimientos y las distancias de los planetas son invariables. El naturalista italiano Lazzaro Spallanzani experimenta sobre la circulación arterial. Lagrange termina de escribir <i>Sobre las pirámides triangulares</i> .
1774	El médico y físico británico Daniel Rutherford descubre la existencia del nitrógeno.
1775	Lavoisier publica sus primeros trabajos sobre la oxidación. El físico italiano Alessandro Volta inventa el electróforo y el electroscopio condensador.
1776	El ingeniero británico James Watt y el industrial Matthew Foulton fabrican la primera máquina de vapor. El médico británico Edward Jenner consigue preparar la vacuna antivariólica.
1777	El físico francés Charles Augustin de Coulomb formula las leyes fundamentales del magnetismo y la electrostática en el libro <i>Investigaciones sobre la mejor manera de fabricar agujas imantadas</i> . Muere el naturalista y el médico sueco Carl von Linné. Buffon publica <i>Épocas de la naturaleza</i> .
1781	El astrónomo y músico británico sir William Herschel descubre el planeta urano.
1783	Muere el matemático y filósofo francés Jean Le Rond d'Alembert. El político e

	ingeniero francés Lazare Carnot publica <i>Ensayo sobre las máquinas en general</i> . Muere el matemático suizo Leonhard Euler.
1785	Coulomb formula los principios físicos que producen la atracción y repulsión de las cargas eléctricas y masas magnéticas.
1787	Se crea el Real Colegio de Cirugía de Madrid. El químico francés Lavoisier establece el principio de conservación de la materia.
1788	Muere el naturalista y escritor francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon. Lagrange publica <i>Mecánica analítica</i> . Antoine Laurent de Lavoisier, químico francés, escribe <i>Tratado elemental de química</i> , en el que estableció el Principio de Conservación de la Materia. El astrónomo británico Herschel construye su célebre telescopio de 12 m de longitud, y publica sobre el sexto y el séptimo satélite de Saturno. Antoine Laurent de Jussieu, botánico francés, publica <i>Genera plantarum</i> .
1790	El geómetra francés Gaspar Monge introduce los elementos de primer grado: línea recta y plano. En la Academia francesa se crea la comisión de pesos y medidas. Lavoisier introduce el calorímetro de hielo fundente para estudiar el calor animal. El mineralogista alemán Abraham Gottlob Werner publica un tratado sobre el origen de los filones minerales formados por precipitación química de materiales. El físico italiano Luigi Galvani publica <i>Fuerzas eléctricas en el movimiento muscular</i> .
1792	El físico italiano Alessandro Volta formula la ley de variación de la presión de un gas al variar la temperatura. Jeramias Benjamin Richter, químico alemán, publica <i>Fundamento de la medición de los elementos químicos</i> .
1793	Fundación del Museo de Historia Natural de París.
1794	Volta detecta el movimiento <<perpetuo>> de la electricidad. Muere en la guillotina el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier.
1796	Laplace propone, en su <i>Exposición del sistema del mundo</i> , una detallada hipótesis cosmogónica. Edward Jenner, médico y biólogo británico, aplica la primera vacuna contra la tuberculosis al niño James Philips.
1797	Lagrange publica sobre las teorías de las funciones analíticas. El matemático italiano Lorenzo Mascheroni publica <i>Geometría del compás</i> . Laplace publica

Exposición del sistema del mundo.	
1798	El astrónomo británico William Herschel publica sobre la banda infrarroja del espectro luminoso.
1799	El matemático alemán Carl Friedrich Gauss demuestra el teorema según el cual la ecuación algebraica de grado n tiene n raíces. Lagrange escribe <i>Lecciones sobre el cálculo de las funciones</i> . William Smith, geólogo británico considerado el <<padre de la moderna estratigrafía>>, levanta un mapa de las formaciones rocosas del Secundario en Inglaterra, basado en los depósitos de fósiles. Coulomb formula las Leyes del Frotamiento. Se publica sobre los usos de la piedra Rosetta, que posibilitará descifrar los jeroglíficos egipcios.
1800	Muere, en París, el matemático italiano Lorenzo Mascheroni. Alessandro Volta construye la pila eléctrica.

Tabla N° 4. Investigaciones que hacen parte de la institucionalización de las ciencias

4.12. Industria textil y uso de los colorantes

La “Société d’Encouragement pour l’industrie Nationale” creada en 1802 era la primera asociación nacional reconocida. Su función era promocionar actividades industriales entre otras. Fue bajo el patrocinio de esta asociación que el químico francés Jean-François Persoz (1805- 1868) publicó, en 1846, una obra en cuatro volúmenes titulada: *Traité théorique et pratique de L’impression des tissus*. En su obra se encuentran las mejores síntesis sobre la tecnología de la impresión de dibujos coloreados sobre fibras textiles, obra publicada unos años antes del cambio tecnológico que conduciría, a partir de 1856, a la progresiva introducción de colorantes sintéticos en las industrias de tejidos. Persoz describió las materias primas (orgánicas e inorgánicas) y su aplicación a los procesos de coloración; los principios generales de la tintura y la impresión, incluyendo un estudio detallado de máquinas e instrumentos. A través de esta obra se realizará un análisis sobre la industria de los colorantes, ya que es allí donde se encuentra que el Equilibrio Químico tuvo mayor impacto a nivel industrial.

4.12.1 ¿Profesionales de la tintorería o químicos?

Persoz publicó su gran compilación sobre la impresión de textiles, en 1846, esta tecnología había experimentado importantes cambios en relación a los primeros años del siglo. Se habían introducido nuevos métodos de análisis químico de las sustancias colorantes, así como mejoras en la extracción de la materia tintórea de las plantas o animales originales. El blanqueo de las telas había experimentado un cambio tecnológico importante con la introducción del cloro y sus derivados, sobre todo a partir de las propuestas del químico francés Claude-Louis Berthollet (Persoz, 1846). Las fibras textiles, y el algodón en particular, eran estudiadas a través de observaciones microscópicas o tratamientos químicos. Además, nuevos colores de origen mineral fueron introducidos en los años 1830-40 (sales de antimonio, cromo, manganeso), y el uso del vapor como fuente de energía se hizo extensivo a la calefacción de los baños tintóreos, a los procesos de secado y a la confección de los llamados colores al vapor (Prud'Homme, 1913).

Los materiales se combinaban con sales y óxidos para diversificar y aumentar la capacidad de adhesión a las fibras textiles (Persoz, 1862). La afinidad química newtoniana, Berthollet con su obra *Eléments de l'art de la Teinture* En el libro *Eléments de l'art de la teinture* (1791), presentó la afinidad química entre la fibra, el tinte y el disolvente del baño tintóreo como la explicación fundamental de los diferentes grados de fijación de colorantes en fibras (Prud'Homme, 1913), la nueva nomenclatura química difundida en Europa a finales del siglo XVIII, hacían parte de una nueva estrategia de racionalización y sistematización de la química aplicada escrita a la academia y dirigida a la cultura del taller. La publicación del libro de Persoz, se da en un espacio donde las fábricas de indianas, tienen un laboratorio donde están los químicos, tintoreros, impresores, coloristas, en otras palabras expertos de difícil categorización, ensayando nuevas fórmulas y procedimientos que serían posteriormente aplicados a nivel industrial.

Dodd, George en 1844, en su tratado inglés *The Textile Manufactures of Great Britain* definía:

“Generalmente existe un laboratorio equipado con todos los aparatos necesarios... para preparar experimentos químicos. Las estanterías están llenas de frascos y recipientes que contienen los ácidos, sales y óxidos metálicos necesarios para la experimentación, y hay una biblioteca que contiene los principales trabajos sobre la teoría y la práctica de la química. El fabricante de indianas no debe perder el tren del progreso de la ciencia, debe conocer todos los nuevos datos relacionados con la química de los colores tan pronto como éstos se hagan públicos”.

En la fabricación de indianas cuatro mezclas se disputan el protagonismo en la superficie de las telas: las sustancias de origen vegetal, animal y mineral de donde se extraían los colorantes naturales, las sales minerales fijadoras o mordientes, los productos sustractores de colores o descargas y los productos protectores o reservas (Dodd, 1844).

A finales del siglo XVIII y a partir de la publicación del libro de Berthollet, se define que los mordientes son productos con una doble afinidad química con la fibra textil y el colorante. El químico – tintorero debía conocer, las consecuencias y resultados de las sustancias utilizadas en el proceso de impresión. Las sales de plomo, estaño o la aplicación en tintura de diversos ácidos, álcalis y sales permitían la producción de diferentes colores usando un tinte de origen natural.

A finales del siglo XVIII se publicaba en revistas y libros datos y características físicas sobre la química elemental de las fibras textiles (lana, seda, lino y algodón). Estas publicaciones cada vez más detalladas permitieron una clasificación que permitía determinar la afinidad de éstas sustancias con los colorantes. Una ayuda invaluable de estos estudios fueron los microscopios de la primera década de 1800, ya que contribuyeron al estudio científico de las fibras textiles (Bolley, 1859).

El químico inglés Andrew Ure, traductor de los Elementos del arte de la tintura de Berthollet al inglés, publicó en 1822 en Philosophical Transactions, una prestigiosa revista de la Royal Society de Londres, los resultados sobre la composición en porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de las cuatro fibras textiles principales los siguientes datos fueron tomados de Recherches critiques sur la theorie de la teinture de Bolley en 1859:

	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno
Algodón	42.11	5.06	52.83	-
Lino	42.81	5.50	51.70	-
Seda	50.69	3.94	34.04	11.33
Lana	53.70	2.80	31.20	12.30

Tabla N° 5. Fibras textiles según Bolley

La aparición del nitrógeno en las fibras de origen animal facilitó la afinidad con los colorantes en el proceso de tincura e impresión. El sistema técnico de las indianas se fundamentaba en esta época institucionalización química textil de la segunda mitad del siglo XIX.

Edward Schunk, Frederick Crace-Calvert, Dolfus-Mieg, Bolley hacían parte de los numerosos químicos – tintoreros que se interesaron en el tratamiento de las fibras de algodón con diversos reactivos alcalinos o ácidos. John Mercer en 1844, descubre un nuevo tratamiento “mercerización” que consistía en tratar con hidróxido de sodio el algodón para aumentar su brillantez, resistencia y facilitar su tincurado posterior (Nieto – Galan, 1997).

La química empezaba a jugar un papel fundamental en el sistema técnico gracias a las fibras textiles compuestas por carbono hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en diversas proporciones, tal y como lo demostraban los análisis de los nuevos laboratorios textiles. Buscando mejorar las antiguas tradiciones artesanas, empiezan a surgir nuevas técnicas que disminuyan los contaminantes que rugen de las cubas tintóreas y de las mesas de impresión.

4.12.2 Las tinturas de origen vegetal:

El mercado de las tinturas aumentó notablemente en relación a los colores que habían sido accesibles para Europa en la Antigüedad y la Edad Media. Los nuevos continentes se convirtieron en una importante fuente de nuevos colorantes naturales como el índigo, la cochinilla o los *palos* americanos (Brasil, Campeche, Amarillo), que completarán tinturas occidentales como la rubia o

granza, el pastel, la gualda, el rojo de Adrianópolis o el azul de Prusia. En el proceso de coloración de las telas (lana, seda, lino y algodón) se requería además un gran número de sustancias químicas auxiliares, complementos fundamentales para la correcta fijación, estabilidad y resistencia de las materias tintóreas, de manera que los pequeños talleres, las manufacturas reales y las fábricas de estampados de algodón (las indianas) se convirtieron en auténticas despensas de sustancias que había que organizar, además de racionalizar su uso. Este era un mundo de tradiciones artesanales poderosas, que estaban firmemente arraigadas en la cultura gremial, donde el conocimiento tácito no siempre explicitado y la transmisión oral de procedimientos y recetas habían sido fundamentales. Lejos de la química analítica moderna, las muestras teñidas eran tratadas con ácidos y álcalis, disueltas en líquidos diversos y puestas en digestión durante tiempos previamente determinados, expuestas a la luz solar o a las condiciones meteorológicas más adversas para evaluar, a menudo de manera cualitativa, la resistencia (o solidez) de la tintura. Los procedimientos de tintura y de estampación eran complejos y llenos de pequeños detalles que solo los maestros tintoreros podían gobernar en la práctica cotidiana (Nieto-Galan, 2011)

El conocimiento tácito difícil de replicar en condiciones locales, se convertía en una selecta red de artesanos con intereses comunes y recetas que compartir. La temperatura, concentración de los baños, tiempo de agitación, los lavados y secados hacían parte del conocimiento empírico desarrollado en los laboratorios. Este intercambio fluido de opiniones y de matices sobre cada una de las operaciones contribuyó decisivamente a la racionalización del arte de la tintura a lo largo del siglo XVIII.



Figura 6. Laboratorio de tintorería siglo XVIII

Al gremio de los tintoreros no les gustaban los cambios que se querían introducir desde el mundo académico, como la nueva nomenclatura o las nuevas teorías sobre la afinidad. En la imagen, tintura de la seda en la Manufactura Real de los Gobelinos, también de la *Encyclopédie*.

En la década de 1850 la industria de los colorantes naturales era un negocio lucrativo de grandes proporciones. La entrada relativa a los colorantes en la *Chemistry* de Muspratt, escrita en la misma época del descubrimiento de Perkin, es la mayor extensión del tratado de la tintura vegetal, abarcando 316 página o alrededor de cinco veces el espacio dedicado al comercio de álcalis. En 1856 se importaron en gran Bretaña unas 75000 toneladas (76207 toneladas métricas) de colorantes naturales por valor superior a los dos millones de libras esterlinas. El color cobró importancia en la decoración de las casas, como en el vestuario de las mujeres debido al ascenso social en la Europa del siglo XIX, de la clase media consumista. Existía, pues, una demanda muy fuerte tanto de nuevos colores como de innovaciones para la moda de cada año. A continuación se referencian los colorantes naturales más importantes producidos en el año 1850.

Colorantes naturales producidos alrededor de 1850		
Nombre	Planta	Color
Ancusina	<i>Anchusa tinctoria</i>	Rojo oscuro
Aloetina	Aloes	Marrón
Achiote	<i>Bixa orellana</i>	Rojo anaranjado
Orchilla	Líquines	Violeta
Berberina	Raíz de agracejo	Marrón
Sándalo rojo	Sándalo rojo	Rojo
Brasilina	Árbol de Brasil	Rojo
Catecú	Cato	Marrón rojizo
Chica	<i>Bignonia chica</i>	Rojo
Cochinilla	Insectos	Rojo
Fustina	Fustete	Amarillo
Ácido gálico	Agallas	Negro
Índigo	Idigofera	Azul
Quermes	Insectos	Rojo
Campeche	Campeche	Azul violáceo
Alizarina	Rubia	Rojo
Morinda	Moronda	Amarillo
Quercetina	<i>Quercus nigra</i>	Amarillo
Rammacina	Bayas (Rammáceas)	Amarillo
Tinte de alazor	<i>Carthamus tinctorius</i>	Amarillo
Tinte de glasto	<i>Isatis sativa</i>	Rojo

Tabla N° 6. También se utilizaban las sales coloreadas de arsénico, cromo, cobre, hierro, manganeso y estaño.
FUENTE: J.S. Muspratt, *Chemistry Theoretical, Practical And Analytical*.

Glasgow (1854-60), vol. II, <<Colorantes>>

4.12.3. La fábrica de la familia Canals y Luis Fernández

Joan Pau Canals I Martí (1730-1786), fue nombrado director general de Tintas del Reino en 1764. Publicó una larga lista de informes sobre tinturas españolas y americanas y sobre otros productos químicos que se utilizaron ampliamente en la década de 1770: púrpura, urchilla, azul de Prusia, verde de Montpellier (acetato de cobre), grana-quermes, sales de plomo, el alumbre, caparrosa (sulfato de cobre), pastel, gualda, además de un estudio detallado de productos americanos útiles a la tintura.

Canals quería promover efectivamente tinturas locales que fuesen asequibles en España para evitar la dependencia colonial de las materias primas. Tradujo obras del agrónomo francés Henry Louis Duhamel du Monceau (1700-1782) y defendió las explicaciones mecánicas de Jean Hellot. En su investigación de un sustituto de la cochinilla la principal fuente de los rojos de las colonias americanas españolas– y también en un intento por reducir la tradicional dependencia respecto a los holandeses, Canals promocionó el cultivo de la rubia o granza en varios parajes castellanos próximos a Valladolid. Se le concedió el título de barón de La Vallroja en reconocimiento a los años que dedicó al cultivo de tintes precisamente de color rojo. Canals era otro de estos expertos de tintura, que no coincidía exactamente con las percepciones y valores artesanales de los maestros de taller, pero tampoco con la química académica que iba emergiendo cada vez con más fuerza en las décadas finales del siglo.

Luis Fernández. Aprendió el arte en Toledo, con una prestigiosa familia de tintoreros, los Sedeño. Fue también un destacado miembro de la Junta General de Comercio y Moneda, institución adscrita a la promoción de las artes y manufacturas en el contexto de las reformas borbónicas. Fernández fue, además, director de tintura de una manufactura real de seda en Valencia. Publicó *Ordenanzas generales, gubernativas e instructivas del arte de tintoreros*, en 1778 publicó un *Tratado instructivo y práctico sobre el arte de la tintura*, que defendía la necesidad de optimizar la división del trabajo en las manufacturas. En una magnífica colección de grabados a imitación de los de la *Encyclopédie*, Fernández describía con todo lujo de detalles el proceso de coloración de

las fibras de seda, resultado de concentrar en un solo espacio las actividades de varios gremios que hasta entonces tenían sus talleres por separado.

Canals, Fernández y otros expertos lucharon por conseguir suficiente autoridad en el arte de la tintura, sin renunciar, sin embargo, a un conjunto de conocimientos tácitos y de habilidades diversas que iban desde el conocimiento botánico de las plantas tintóreas a los detalles de las operaciones químicas y mecánicas realizadas en los baños. Sin viajes frecuentes, visitas y estancias en manufacturas y talleres, su formación habría sido imposible, y seguramente poco eficaz (Nieto – Galán 1997).

4.12.4 Republica de químicos – tintoreros de Europa:

August Wilhem Hofmann (influyó la industria de los colorantes en Gran Bretaña y Alemania), William H. Perkin y E.C Nicholson (industria británica de los colorantes sintéticos), Glasgow, Manchester, Londres, Rouen, París, Jouy, Colmar, Mulhouse, Hamburgo, Berlín, Leipzig, Augsburgo, Neuchatel, Ginebra, Lyon y Barcelona, hacían parte de los tintoreros y químicos interesados en el arte de aplicar colores naturales. Los encuentros entre estos químicos – tintoreros tenía que ver con discusiones en equipo en relación a las innovaciones químicas o mecánicas que eran frecuentes y contribuía a la formación de una especie de República de los químicos – tintoreros, a la que pertenecían químicos académicos como Berthollet, maestros tintoreros, mecánicos, impresores, obreros industriales, diseñadores, coloristas, fabricantes de productos químicos, etc. Esta República busca desvanecer los antiguos secretos gremiales y los localismos, tienen puntos en común, en especial el cosmopolitalismo, con aquella “República de las letras” (Daston, 1990) que constituían los sabios del siglo XVIII, que buscaban abolir el secretismo y compartir abiertamente los problemas técnicos de la tintura (Prud’Homme, 1913).

Las Manufacturas Reales españolas creadas durante el siglo XVIII fueron un ejemplo de circulación de expertos tintoreros e impresores (Nieto – Galán, 1995). Tendencia que continuó en

el inicio del siglo XIX, los viajes ahora recibían apoyo económico de las instituciones, por ejemplo la familia inglesa de los Lightfoot, una dinastía de fabricantes de indianas que viajaron incansablemente por el continente visitando Ginebra, Neuchatel, Karlsruhe, Mannheim, Düsseldorf, Rouen, París y el área alsaciana, donde hicieron contacto con prestigiosos impresores como Camile Koechilin, Dolfus – Mieg, Schlumberger y otros miembros de la Société Industrielle de Mulhouse (Persoz, 1846) que precisamente nació como resultado de la gran actividad relacionada con las indianas que se venía desarrollando en esa región desde el siglo XVIII y que armonizaba con gran éxito la química, la mecánica y la estética, las tres bases del arte de los estampados de algodón (Prud'Homme, 1913). Son numerosos los ejemplos donde las fronteras se hacían cada vez más pequeños en búsqueda de técnicas con un mayor éxito.

En las primeras décadas del siglo XIX se realizaron muchas patentes, resultado de un trabajo en equipo, también los libros y las revistas contribuyeron de manera importante a ese intercambio internacional de ideas y problemas relacionados con las indianas.

En los textos pioneros de finales del siglo XVIII es posible apreciar este fenómeno. Así, Berthollet, admitió al publicar sus *Eléments* en 1791, que había estado influenciado por Jean Baptiste Colbert y sus apreciaciones sobre tintura, así como de algunos textos alemanes del siglo XVIII (Berthollet, 1791). Edward Bancroft publica tres años más tarde *Experimental Researches Concerning the Philosophy of Permanent Colours* y reconocían la importancia y la deuda que se tenía con Berthollet y con J. A. Chaptal y sus *Eléments de Chimie* (Prud'Homme, 1913). Las revistas de química y artes de finales del siglo XVIII fueron un importante medio de comunicación técnica, que precedió a la aparición de un conjunto de publicaciones periódicas cosmopolitas, como el *Dingler's Polytechnisches Journal* (1820), que contenía traducciones y resúmenes de artículos francés e ingleses sobre tintura e impresión de telas, o el mismo *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse* (Nieto – Galán, 1994).

Otra forma de transmitir información era con la constitución de grupos de discusión, espontáneos y poco institucionalizados, que se preocupaban por compartir sus preocupaciones técnicas por

encima de sus competencias rivales. El químico inglés Lyon Playfair trabajaba en la empresa de James Thomson, el defensor de la calidad estética de las indianas en los años 1841 y 1842 reunía mensualmente a un grupo de treinta personas para discutir informalmente los problemas teóricos de la fabricación de las indianas (Hellot, 1750). La existencia de estos grupos evitaba los estilos particulares por ejemplo en Inglaterra predominaban las curvas, los zig – zag, las bandas y las figuras abstractas, en Alemania se potenciaban los colores poco brillantes con motivos arquitectónicos, en América Latina se inclinaban por los colores rojo, azul, amarillo brillantes pero sin diseño particular y en Oriente se utilizaban las figuras naturales. Por encima de todos ellos Francia seguía siendo recocida por la belleza y la solidez de sus colores (Dodd, 1844).

El descubrimiento del primer color de anilina por William Perkin en 1856 (Travis, 1993). El sistema técnico que se desarrolló con la industria moderna y que conjugaba las innovaciones mecánicas en el hilado y el tejido con los métodos de impresión continua, la química del blanqueo de Berthollet y los colores minerales al vapor, que se transformaban en multiplicidad de tonalidades e intensidades, hacían parte del cambio del químico – tintorero que protagonizaba la transición del mundo artesanal al fabril, se convertía ahora en un químico – colorista, e en una nueva cultura industrial cada vez más próxima a la ciencia.

Los nuevos colores sintéticos se encontraron con un sistema maduro desde el punto de vista mecánico, químico y estético que permitieron su rápida incorporación. Es así como coexisten los tintes de extracción vegetal o animal, con los nuevos manuales prácticos de tintura de la segunda mitad del siglo XIX.

Perzos cuando escribía su informe sobre la Exposición Universal de Londres en 1862, valoró los progresos del arte de la impresión de telas que se habían producido desde la Exposición de 1851 celebrada en Crystal Palace, su estudio abarcaba el diseño, el grabado, las máquinas de impresión, los mordientes, el blanqueo, la tintura, los aprestos, las sustancias químicas, así como el nivel alcanzado por la tecnología en diversos países y sus principales protagonistas (Persoz, 1862). Detrás de los volúmenes de Persoz y de su colección de indianas se escondía una tupida

red de conexiones personales, viajes, colaboraciones y secretos compartidos, que muestran la importancia para la comprensión y mejora de la estampación y de la tintura de telas de algodón tenía la comunicación y cooperación, un sueño reclamado por Pierre Joseph Macquer (Macquer, 1763).

4.12.5 Profesionalización vs Industrialización de la química:

A continuación se expondrá los resultados publicados por la Asociación General de Químicos de la Industria textil (*Association Générale des Chimistes de l'Industrie Textile*), el interés es mostrar, de qué manera son utilizados los conceptos químicos ya que en este apartado se busca hacer evidente la rivalidad que existía entre la comunidad de químicos puros vs los químicos industriales. En esta publicación la utilización del concepto de equilibrio químico se usa, para explicar el funcionamiento de los colorantes y aumentar su rendimiento, por ejemplo en el equilibrio químico presentado entre el hierro y el ácido ferricianhídrico el autor considera que la presencia de cantidades débiles de ácido ferricianhídrico son suficientes para impedir que el papel quede impregnado de tintura de galac. El lenguaje utilizado por M. Prud'homme para explicar la transformación del prusiato rojo en prusiato amarillo en presencia de soda, nos permite evidenciar que los avances en la conceptualización del equilibrio químico eran herramientas claves para optimizar las condiciones en el rendimiento de la industria de los colorantes.

La mayoría de las publicaciones sobre colorantes se realizaron en los laboratorios de las industrias alemanas debido a que Alemania cumplía con dos requisitos anteriormente nombrados en el apartado sobre la profesionalización de la química. Alemania patrocinaba la enseñanza y la investigación de manera generosa. En esta publicación de M. Prud'homme también es claro que la industria de los colorantes tiene que ver con una industria de estampado de textiles y de tintes naturales muy bien conformada, en la que hablamos de tintoreros profesionales, más que de químicos académicos, por supuesto sin desmeritar el papel fundamental que jugaron en la industrialización de la química.

Dicho de otro modo, la realidad industrial era distinta de la retórica de Hofmann, Perkin, Armstrong y Leivinstein, quienes según Homberg, en realidad luchaban por legitimar la disciplina académica de la química orgánica.

Tanto las declaraciones de Perkin, Armstrong, Roscoe y de algunos otros, como la propaganda encubierta en las esquelas fúnebres de los químicos, en donde se lamentaba la pérdida de la hegemonía británica en la industria de colorantes frente a Alemania, ponían el mismo énfasis en la expansión de las instituciones académicas para la enseñanza de la química. Con estas afirmaciones no se pretende juzgar la retórica característica de 1868.

La situación era muy favorable para la industria de colorantes en todos los sentidos, y los negocios respondían satisfactoriamente a consideraciones económicas a corto plazo como “costos de mercado y otras condiciones”. Más aún, dado que la producción británica de colorantes apenas suponía un uno por ciento del valor total de la producción de los textiles a los que se aplicaban, parecía no tener mucho sentido invertir en investigación y en trabajadores con formación científica, cuando resultaba más rentable las tecnologías paleotécnicas de los álcalis y textiles.

Hacia 1800, la participación británica en el mercado mundial experimentaba una caída a pesar de la continua expansión de su industria química, excepto por la industria de los colorantes, que finalmente se vieron afectados. No podríamos decir que este fracaso se deba a la decisión de Hofmann de regresar a Alemania o a la de Nicholson, Perkin y Maule de retirarse de la industria. Si tenemos en cuenta la fortaleza de la industria alemana, era mucho más rentable para Gran Bretaña, con sus vastas reservas de carbón, exportar a los alemanes materias primas de alquitrán de hullas e importar de ellos sus colorantes ya elaborados, para luego volver a exportárselos en forma de telas estampadas y tejidos de color. En 1913 Gran Bretaña importaba aproximadamente 1,8 millones de libras esterlinas en colorantes, pero se exportaban productos químicos industriales y fertilizantes por valor de 14,3 millones de libras esterlinas (Brock, 1992).

Con la aplicación de los conceptos químicos especialmente el de equilibrio químico y cinética en la industria de los colorantes surge un cuestionamiento ¿la química debía basarse en la teoría o en la práctica? La solución a este debate se da a finales del siglo XVIII cuando surge la distinción entre química pura y química aplicada, diferenciación que ponía en evidencia la utilidad de la química y que sin duda aseguró su popularidad. En la década de 1870, la química prosperaba en Gran Bretaña casi exclusivamente como una disciplina académica. A comienzos del siglo XIX, una pronunciada división social separaba en Londres a los miembros de la comunidad química de los filósofos químicos, aristócratas, empresarios industriales y químicos profesionales, cuya posición social era incierta hasta entonces, comenzó a fortalecerse e institucionalizarse al introducirse cambios en los planes de estudio de la medicina.

Esta división social se hizo menos evidente gracias a los profesores profesionales de la química como William Cullen, Thomas Thomson y Thomas Graham y sus discípulos, quienes, aparte de mantener buenas relaciones con las industrias locales aprovecharon en el buen sentido de la palabra la British Association for the Advancement of Science, la Chemical Society que ellos mismos habían promovido en 1841 y, por último, el Royal College of Chemistry, institución privada, fundada en 1845 con el fin de desplazar hacia ella en centro de gravedad del mundo de la química (Brock, 1992 – Prud'Homme, 1913)

Por otro lado el grupo receptivo de Berzelius y de Dalton y el desarrollo de la química orgánica, en el continente europeo, logró reconciliar a la comunidad de los químicos recurriendo a las publicaciones donde se hacía referencia a que un estudiante interesado por cualquier actividad química aplicada, debía recibir una formación en química pura, preferentemente junto con una formación paralela orientada a la investigación.

Los fabricantes por su lado consideraban que la química se aprendía mejor en el trabajo de los laboratorios que en las aulas. Para refutar este argumento los químicos aseguraban que: 1. la enseñanza de la química aplicada podía descubrir secretos comerciales. 2. La enseñanza de los

principios de la química pura no sólo podrían mejorar las tecnologías existentes, sino que podrían desarrollarse otras nuevas a partir de las abundantes materias primas naturales no explotadas.

La química física proporcionó en el siglo XX, lo que los industriales deseaban y era mayor profundidad en los procesos químicos con la intervención de profesionales con capacidades analíticas y con amplios conocimientos en el manejo de la Energía. Definitivamente la creación del Institute of Chemistry en 1877 y con la Society of Chemical Industry en 1881, se reconoce que la química era algo más que la ciencia aplicada a la industria.

Boletín de la Sociedad Química	Colorantes
Equilibrio químico entre el hierro y el ferrocianuro de potasio en presencia de álcalis	La transformación del prusiato rojo en prusiato amarillo en presencia de soda caustica no es integral sino en presencia de un reductor. Esto puede interpretarse por la existencia de un estado de equilibrio químico entre los elementos presentes. M. Prud'homme constato el efecto que el prusiato amarillo en las soluciones de prusiato rojo y de soda disminuye mucho la velocidad de la oxidación de dichas soluciones, bajo el índigo por ejemplo. Esta velocidad es inversamente proporcional a las cantidades presentes de prusiato amarillo. En la ecuación de equilibrio figura el peróxido de hidrogeno que quizá se forma realmente. En todo caso, Proud'homme encontró que el agua oxigenada neutra transforma los ferrocianuros en ferrocianuros con liberación de potasio. Una solución de ferrocianuro de potasio y de soda caustica, a la que se le ha adicionado agua oxigenada, se decolora completamente y pierde toda actividad química: caliente ella expide oxígeno y se encuentra encerrada en el prusiato amarillo.

Equilibrio químico entre el hierro y el ácido ferricianhídrico	Existe igualmente un estado de equilibrio entre el hierro y los ácidos ferricianhídricos en solución. Prud'homme encontró, en efecto, que la presencia de débiles cantidades de ácido ferricianhídrico eran suficientes para impedir el papel impregnado de tintura de galac de colorearse en azul con el ácido ferricianhídrico. Se basó Prud'homme sobre esta propiedad para hacer un procedimiento simple de dosis volumétricas de prusiato amarillo.
Sobre el ácido rosólico	El ácido rosólico, cuya sal de soda constituye la materia colorante conocida como coralina, se prepara ordinariamente calentando a 150° una mezcla de fenol, de ácido oxálico y de ácido sulfúrico. Prud'homme mostró que se podía reemplazar el ácido sulfúrico por los ácidos bórico, arsénico y arsenioso, e incluso suprimir estos ácidos calentando simplemente el fenol con el ácido oxálico sublimado. El ácido rosólico proviene de la acción sobre el fenol del ácido fórmico, producto de la descomposición del ácido oxálico por el calor.
Materias colorantes nuevas derivadas del antraceno	Calentando una mezcla □- nitroglicerina, y de ácido sulfúrico, M. Prud'homme obtuvo dos materias colorantes nuevas, de la cual una tiñe los metales mortientes, los tiñe en color café y el otro en azul. La primera es conocida bajo el nombre de bruno de alizarina: o sea una amidoalizarina (1,2 - dihidroxiantraquinona). El segundo es el azul de alizarina cuyo empleo en tintura e impresión continúa siendo de los más considerables. M.C Graebe ha establecido que el azul de alizarina es la

	antraquinona. Esta síntesis de una quinoleína dio nacimiento entre las manos de M. Skarup, a un procedimiento general de quinoleínas. Jugaron un cierto rol en la medicina terapéutica.
El azul de antraceno, su nombre común alizarina azul	M.H. Koechlin y Prud'homme en este trabajo ellos indicaron la acción de los disolventes y numerosos reactivos, bajo el azul de alizarina, un procedimiento de tintura bajo mordientes en baño alcalinizado con amoníaco, la propiedad que posee el nuevo colorante de teñir en índigo es un modo de fijación en color vapor, a través del ferrocianuro de amoníaco y del acetato de cromo.
Acerca de cerulin sulfatado	El cerulin se disuelve bien en los bisulfitos alcalinos, Prud'homme mostró una combinación cristalizada encerrando dos moléculas de bisulfito. Este producto se encuentra en el comercio bajo el nombre de cerulin S y dio la idea de solubilizar de igual manera el azul de alizarina. El descubrimiento del azul de alizarina fue recompensado por una medalla de honor de la sociedad industrial de Mulhouse en Alemania. En su informe sobre la proposición hecha por el comité de química de discernir esta distinción Prud'homme, M. Albert Scheurer, secretario del comité. En su informe hecho por el comité de química de entregar la distinción a Prud, Scherurer secretario del comité, se expresa de esta manera: el producto se fija simplemente con acetato de cromo y los matices que permite obtener son puros y de una solidez superior a la del índigo. Mezclado con otras materias colorantes permite realizar

	los matices más variados con una transparencia y una fineza de tonos que sería difícil de sobrepasar. El azul de alizarina puede ser clasificado entre los colorantes de primer orden, conquistó su lugar al lado de la alizarina de la cual es derivado y su descubrimiento respondía a una necesidad incontestable.
Violeta de antraceno:	El colorante se parece mucho a la galeana, de la cual se distingue por diversas propiedades que el señor Prud'homme puso en evidencia: no transformación en cerulina bajo la acción del ácido sulfúrico, resistencia al jabón de las tinturas sobre mordientes de hierro y de aluminio, solidez más grande a la luz, no es sino verosímilmente un derivado por sustitución de la galeína. Fijada por el empleo simultaneo del acetato de cromo y del cloruro de calcio sobre tejido preparado en aceite, por rojo turco, esta combinación cambia del azul puro a un hermoso violeta.

Tabla N° 6. Tomado de: Quarantenaire industriel du chimiste Mau Prud'Homme 1873 - 1913

QUINTA PARTE: CONCLUSIONES Y NUEVOS PROBLEMAS

5.1. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos derivados del proceso de revisión documental a los textos originales de T. Bergman, E. F. Berthollet y Guldberg, C. M., Waage, P. y otros textos de referencia, se puede concluir lo siguiente:

- A través del estudio documental realizado de las fuentes primarias de Bergman, Berthollet, Guldberg – Waage y J. H. van't Hoff se reconocieron las condiciones culturales, sociales, políticas y económicas de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX en Francia, que permitieron el surgimiento del concepto de equilibrio químico tras la búsqueda de definir el concepto de afinidad. Se resalta desde lo cultural y social, la preocupación de los franceses por brindar una educación personalizada y de alta calidad, convirtiéndose en un centro universal de química, gracias a la reputación abrumadora de Lavoisier, Berthollet y Gay – Lussac, quienes atraían a sus laboratorios estudiantes extranjeros como es el caso de Liebig, que realizó sus estudios en Francia y retorna a Alemania, como profesor de química, fundando el primer laboratorio del mundo donde se enseñaba química. Las políticas educativas de Alemania donde la educación estaba descentralizada a diferencia de Francia, permitieron que la química emergiera con mayor rapidez y esto se hizo evidente en sus avances sobre la industria de los colorantes, por ejemplo. Con esto no busca desconocerse que el concepto de equilibrio surge gracias a las investigaciones pioneras que se dan en la comunidad de científicos franceses y a su correspondencia con los científicos de otros países. Por otro lado la emergencia del concepto de equilibrio químico también se le atribuye a las condiciones políticas que favorecieron las investigaciones de estos científicos, como es el caso de Berthollet quien con el apoyo económico de Napoleón, realizó viajes que le permitieron enriquecer sus conocimientos, encontrando anomalías en los estudios realizados por Bergman sobre

afinidad química y realizar importantes publicaciones (Memoires de Physique et de Chimie de la Société d'Arcueil).

- El concepto de equilibrio químico surge tras la búsqueda de la definición del concepto de afinidad. Podríamos decir que el equilibrio químico desarrollado es un subproducto de los estudios dirigidos a entender el concepto de afinidad química. Esto no le resta importancia en ningún momento al concepto ya que la química no sería la ciencia que es hoy, sin el equilibrio. Por otro lado, su progenitor, la afinidad química aún sobrevive de una forma más sofisticada y bajo otra variedad de nombres. Por ejemplo, el término nucleofílico, electrofílico y afinidad electrónica son ampliamente usados para designar tipos específicos de combinaciones. Por lo tanto la afinidad continúa en el desafío de estar en la mente de los físicos y químicos para adquirir nuevos conocimientos sobre los fenómenos antiguos de las combinaciones químicas.
- En cuanto a lo histórico y epistemológico, se considera que la construcción del concepto de equilibrio químico se produjo a través de un grupo de científicos, quienes trabajaron a favor de la producción teórica, impulsados por las situaciones sociales, políticas y económicas que se presentaron en este tiempo. Por otra parte, se evidenció por medio de las publicaciones de los científicos propuestos en principio, el interés por el aporte de sus conocimientos en temas sociales y educativos, siendo Berthollet y van't Hoff quienes en varios de sus escritos muestran la importancia que ellos veían en la calidad y el apoyo del proceso político y social en el ámbito educativo, pidiendo a sus gobiernos ambientes de calidad para sus estudiantes en formación. Tanto, Bergman, Berthollet, Guldberg – Waage y van't Hoff tras la búsqueda de la definición de la esquivo afinidad química, hicieron parte activa de la institucionalización, industrialización y profesionalización de la química, aportando las bases del Equilibrio Químico. Van't Hoff con sus reacciones de esterificación definiendo un balance entre dos reacciones opuestas a las que denominó equilibrios químicos. Guldberg – Waage quienes muestran la importancia de matematizar las reacciones en equilibrio y el planteamiento de su ley de acción de masa. Berthollet y sus investigaciones sobre el factor masa y algunas de las

condiciones de equilibrio químico. Bergman y sus publicaciones sobre atracciones electivas para explicar la diferencia cualitativa entre mezcla y agregados, planteando numerosas reacciones no contempladas en el corpus tradicional, permitieron nuevas anomalías, que generaron cambios de paradigma, entre ellos, el de las reacciones completas.

- La ley de acción de masa, despertó un considerable interés en la evaluación de los coeficientes de afinidad después de todo, esta expresión ofrecía por primera vez alguna promesa de la evaluación cuantitativa de la afinidad, un logro que no había sido posible medirse por muchos años, de hecho gran parte de la actividad científica del siglo XIX había estado caracterizada por la determinación de coeficientes por lo tanto existía la esperanza de que fuera posible determinar los coeficientes de afinidad. Guldberg y Waage consideraban que las fuerzas de afinidad eran las responsables de las combinaciones químicas, ellos la introdujeron en su ley de acción de masas como constantes de escasa relación con el significado de su labor. Lo verdaderamente importante estuvo en el reconocimiento de que las concentraciones de las sustancias reaccionantes constituían la “masa activa” que determinaba el equilibrio resultante de las reacciones directas e inversas. Al comprender la importancia de la concentración y la del concepto de equilibrio dinámico, pudieron completar el trabajo empezado por Berthollet.
- En el desarrollo histórico del concepto de equilibrio químico hay un número de eventos que permanecen estables como contribuciones significativas en nuestro conocimiento actual sobre el concepto. Estas son: el reconocimiento, aceptación e influencia de la concentración de los reactantes en una reacción química, la formulación cuantitativa de este efecto en la ley de acción de masa, la racionalización de la ley de acción de masa por la cinética química y la termodinámica. Por último la amplia aplicación de la termodinámica en las situaciones de equilibrio químico.

- Este estudio Histórico Social de las ciencias, aporta de una manera diferente en los procesos didácticos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias ya que potencialmente permite ampliar nuestro entendimiento del presente. Por ejemplo si consultamos cualquier libro de química general, encontramos que la teoría de Bergman y la de Berthollet, están en esencia presentes en la discusión de los factores que afectan la extensión de las reacciones en equilibrio químico ya que la explicación que se da en estos textos modernos es básicamente que la extensión depende de la naturaleza de las sustancias de la reacción y esto fue básicamente el postulado de Bergman sobre afinidades selectivas. Decir que el alcance de la reacción química depende de la concentración de las sustancias reaccionantes es simplemente la forma refinada de las afirmaciones de Berthollet sobre la acción de masa.

5.2. Problemas pendientes y nuevos problemas

Con el estudio histórico y epistemológico acerca del concepto de Equilibrio Químico se motiva a los profesores a desarrollar activamente su participación en los aspectos formativos de la historia de la ciencias que les permiten incluir elementos importantes, pedagógicamente beneficiosos al examinar momentos históricos de los científicos, discutir sus contextos sociales, involucrando la evolución de sus ideas y humanizando las ciencias; esto logra que los estudiantes vean más cercano y menos abstracto el equilibrio químico promoviendo una comprensión más significativa. Por otro lado este estudio histórico – epistemológico permite que el docente reformule su secuencia de aprendizaje sobre el equilibrio químico, realizando un paralelo entre lo experimental y lo histórico. Esto implica un estudio macroscópico de las reacciones químicas, apoyados en una selección de experimentos que propicien, no sólo la duda de las primeras ideas sino la elaboración de un cambio conceptual.

A partir de los aspectos procedimentales puede formularse la ley de equilibrio químico, de la misma forma que se hizo en el pasado. Después de trabajar las características macroscópicas de los equilibrios, se llega al momento de construir modelos que expliquen a escala microscópica.

Por último quedan preguntas por resolver: ¿A partir de dónde se enseña el concepto de equilibrio químico en el aula?, ¿se enseña el concepto de equilibrio químico de la manera como este se constituyó?, ¿qué aportes de la comunidad de expertos, se tienen en cuenta?, ¿es posible que a partir de un estudio histórico – epistemológico, logren integrarse diferentes disciplinas, en la búsqueda de explicar el concepto?

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ARISTIZABAL, PÉREZ Y GALLEGU. (2009). Equilibrio Químico: Una propuesta investigativa para la formación inicial de profesores de química. Tecné, Episteme y Didaxis: TED No. Extraordinario, 4º Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias.

ARRHENIUS, S.(1964); "On the Reaction Velocity of the Inversion of Cane Sugar by Acids", *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 4, Oldenbourg 1889, 226.Bastiansen.

ARRHENIUS, S. (1906);Theorien der Chemie . Nach Vorlesungen., *Universität Von Kalifornien*, Berkeley, 115.

BACHELARD, G. (2005). El compromiso racionalista. Siglo XXI Editores, México, pp. 80-95.

BANERJEE, A.C. (1991). Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium. Barcelona, Crítica, 1986.

BARNES, B.; LAW, J. (1976), «Whatever Should Be Done With Indexical Expressions»,en: H. M. Collins, dir. (1982), *Sociology of Scientific Knowledge. A Source Book*,Bath, Bath University Press, pp. 59-73.

BARNES, B.; SHAPIN, S. (1979), *Natural Order: Historical Studies of Scientific culture*, Londres, Sage.

BARONA, J. (1994). Ciencia e historia: debates y tendencias en la historiografía de la ciencia. Universitat de València. España. p. 21-38.

BASALLA, G., ed. (1968), The Rise of Modern Science; External or Internal Factors, Lexington, Heath.

BASTIANSEN, O. (1964); The Law of Mass Action . A Centenary Volume., *Det Norske Videnskaps-Akademi*, Oslo, 33.

BERGMAN, T. (1788) Traite des affinités chimiques ou attractions électives. Paris, Buisson.

BERGMAN, T. O. (1775) "De Atractionibus Electivis.

BERGQUIST, W. & HEIKKINEN, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. Journal of Chemical Education, 67, 1000-1003.

BERKNER, L. V. (1969), The Scientific Age. The impact of science on Society, New Haven, Yale University Press.

BERNAL, J. D. (1939), The Social Function of Science, Nueva York, MacMillan.

BERNAL, J. D. (1954), Historia social de la ciencia, Barcelona, Península, 1989.

BERTHELOT, M. (1903) La synthèse chimique Marcellin Berthelot, Alcan - Bibliothèque scientifique internationale, Paris.

BERTHELOT, M., SAINT-GILLES, L. P. (1879); Recherche sur les affinités, Chez Gauthier-Villiers, Paris.

BERTHOLLET, C. L. (1803) "Essay de statique chimique par C. L. Berthollet", F. Didot, Paris.

BERTOMEU SANCHEZ, ANTONIO GARCIA BELMAR. (2006). La revolución química: Entre la historia y la memoria.

BERTOMEU SÁNCHEZ, J. y A. GARCIA BELMAR (2001): Pedro Gutierrez Bueno y las relaciones entre la química y la farmacia durante el último tercio del siglo XVIII, Hispania, LXI (2), pp. 539 – 562

BHERTOLLET, M. (1890): La Révolution Chimique, Lavoisier, París, Alcan.

BROCK, W. H., (1998). Historia de la Química. Alianza. Madrid.

BUFFON. (1765) Histoire naturelle générale et particulière, Tome XIII. Paris: L'Imprimerie Royale.

CACHAPUZ, A.F.C. & MASKILL, R. (1989). Using word association in formative classroom test: Following the learning of Le Chatelier.s principle. International Journal of Science.

CAMPANARIO, J.M. (2002). The parallelism between scientists. and students. resistance to new scientific ideas. International Journal of Science Education, 24, 1095-1110.

CHALMERS, A. (1982). ¿Qué es esa cosa llamada Ciencia? Siglo XXI Editores. México: México D.F. p. 234.

CHAMIZO J.A. Y GARCÍA A. (eds) (2009). Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias.

CHIAPPETTA, E.L.; SETHNA, G.H. & FILLMAN, D.A. (1991). A quantitative analysis of high school chemistry textbooks for scientific literacy themes and expository learning aids. Journal of Research in Science Teaching, 28, 939-951. Científica, Tecné Episteme y Didaxis, No. Extra, Universidad Pedagógica Nacional. 9-24.

CLAUSIUS, R.(1888); .Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie., *Annalen der Physik und Chemie*,125, Berlin 1865, 353. Folie.

DE LA TORRE, E. y NAVARRO R. (1990). Metodología de la investigación, bibliográfica, archivista y documental. Editorial Mc.Graw-Hill, México: México D.F. p. 16.

DIDEROT, DENIS; d'Alembert (1751-1772), Jean Le Rond (ed) *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers par une société des gens de lettres*, París, Briasson, David, Le Breton, Durand.

DODD, George (1844), *The Textile Manufactures of Great Britain*. Charles Knight, Londres.

DONNAN, F. G., Haas, A (1936) .A Commentary on the Scientific Writings of J. Willard Gibbs - Thermodynamics., *Yale University Press*, London.

DOUGLAS McKIE., (1951). *The Essays of Jean Rey*, E. Arnold and Co., Londres

DOUGLAS McKIE., (1953). "Fire and the Flamma Vitalis", en *Science, Medicine and History. Essays on the Evolution of Scientific Thought and Medical Practice, Written in Honour of Charles Singer*, Vol. I, Oxford university Press, Londres, 1953. Pp. 469 – 488.

DRISCOLL, D.R. (1960). The Le Chatelier Principle, *Australian Science Teachers. Journal*, 6, 7-15.

DUMAS, J. B.; (1878) .*Leçons sur la Philosophie Chimique.*, Gauthier . Villars Imprimeur . Libraire.

DUNCAN, A.M(1970). The functions of affinity tables and Lavoisier's list of elements, *Ambix*, 37(1) 26-42.

ECHEVERRIA, J. (1995) Filosofía de la ciencia. Editores Akal.España enseñanza de la Termodinámica básica. Enseñanza de las Ciencias, 15 (3).

ÉVRARD, N.; HUYNEN, A. M. & DE BUEGER-VANDER BORGHT, C. (1998). Communication of scientific knowledge in class. From verbalization to the concept of chemical equilibrium. International Journal of Science Education, 20, 883-900.

FLAMMARION, E. (1909); L'Évolution d'une Science. La Chimie., Bibliothèque de Philosophie.

FURIÓ, C. & ORTIZ, E. (1983). Persistencia de errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico, Enseñanza de las Ciencias, 2, 15-20.

FURIO, C., CALATAYUD, M.L., BÁRCENAS, S.L. y PADILLA, O.M. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. Science Education, 84 (5), pp. 545-565.

GAGLIARDI, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 6(3), pp. 291-296.

GAGLIARDI, R. y GIORDAN, A. (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. Enseñanza de las Ciencias, 4(3), pp. 253-258.

GALLEGO BADILLO, R., GALLEGO TORRES, A., FIGUEROA MOLINA, R. & PÉREZ MIRANDA, R., (2007). Proyecto de investigación. Historia Social de la Educación en Ciencias en Colombia: La Segunda Mitad del Siglo XX". Bogotá: Conciencias-Universidad Pedagógica Nacional.

GALLEGO BADILLO, R., Y PEREZ MIRANDA, R. (1994). Representaciones y conceptos científicos: un programa de investigación. Departamento de Química, Universidad Pedagógica Nacional.

GARNETT, PAMELA J.; GARNETT, PATRICK J. & HACKLING, M.W. (1995). Students. alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.

GEOFFROY, E. F. (1718) "Tableau des différentes relations observées en chimie entre différentes substances", *Mémoires de l'académie Royale des Sciences*, Paris.

GIBBS, J. W. (1876); .On the equilibrium of heterogeneous substances. Connecticut Academy Transactions, Yale University Press, New Haven.

GIL, D. (1993). Aportaciones de la didáctica de las ciencias a la formación del profesorado, en Montero, L. y Vez, J. (eds.). *Las didácticas específicas en la formación del profesorado*, pp. 277-293. Santiago: Tórculo.

GLADSTONE, J. H.; (185) .On Circunstances modifying the action of chemical affinity. *Philosophical Transactions* 145.

GOETHE, J. W., (1999). *Las afinidades electivas*. Cátedra. Madrid.

GORODETSKY, M. y GUSSARSKY, E. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Education*, 8(4), pp. 427-441.

GRAPÍ, P., (2001) The marginalization of Bertholet's chemical affinities in the French textbook tradition at the beginning of nineteenth century, *Annales of Science*, 58, 111-135.

GRAPÍ, P. E IZQUIERDO, M (1997) Berthollet's conception of chemical change in context, *Ambix*, 44 (3) 113-130,

GRIFFITHS, A.K. (1994). A critical analysis and synthesis of research on students. Chemistry misconceptions. In Schmidt, H. J. (ed.) Proceedings of the International Symposium .Problem solving and Misconceptions in Chemistry and Physics., pp. 70-99. University of Dortmund: ICASE.

GULDBERG, C. M., WAAGE, P (1879) Über die Chemische Affinität“, Erdmann's Journal Für Practiche Chemie, Amsterdam.

GULDBERG, C. M., WAAGE, P. (1867) "Études sur les Affinités Chimiques“, Brögger & Christie, Christiania Oslo.

GRÄBER, W. (2002). The teaching and learning chemical equilibrium. In Gilbert, J.K. et al (eds.), Chemical education: Towards research-based practice, pp. 271-292. Dordrecht: Kluwer.

HABERMAS, J. (1968), Conocimiento e interés», en: J. Habermas (1984), Ciencia y técnica como ideología, Madrid, Tecnos.

HACKING, M. W. & GARNETT, P.J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. European Journal of Science Education, 7, 205-214.

HALL, R. J. (1971), «¿Se puede utilizar la metodología de la ciencia para decidir entre metodologías rivales?», en: I. Lakatos (1982), Historia de la ciencia y de sus reconstrucciones racionales, Madrid, Tecnos, pp.105- 119.

HARCOURT, A. G. V., Esson, W.; (1912) .On the Variation with Temperature of the Rate of a Chemical Change., Philosophical Transactions of the Royal Society of London .Série A, Londres, 187.

HELLOT, Jean (1750), L'art de la teinture des laines et des etoffes de laine de grand et petit teint.Pissot, Hérisant, Paris.

HENAO, B. Y STIPCICH, M. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Vol. 7, (1).

HESS, G. H.; (1956) .Thermochemische Untersuchungen., Annalen der Physik und Chemie 50, Berlin 1840, 385.Leicester.

HILL, C. (1965), Intellectual Origins of the English Revolution, Oxford, Clarendon Press.

HOLMES, F. L., (1989). Eighteenth-Century Chemistry as an Investigative Enterprise. University of California at Berkeley. Berkeley.

HOLMES, F.L. (1962). 'From Elective Affinities to Chemical Equilibria: Berthollet's Law of Mass Action'. Chymia, vol. 8, pp. 105-145.

HUDDLE, P.A. & PILLAY, A.E. (1996). An in-depth study of misconceptions in stoichiometry and chemical equilibrium at South African university, Journal of Research in Science Teaching, 33, 65-77.

IZQUIERDO, M. (1996). Relación entre la historia y la filosofía de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. Alambique pp. 7-21.

IZQUIERDO, M. VILUMARA,P.G. () Valoración de la obra Proust y Berthollet en los textos de química general. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, vol. 17, pp. 325-341

IZQUIERDO, M. Y ESTANY. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin. Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, vol. 13, pp. 349-378.

JIMÉNEZ, H., MARTÍNEZ, M. Y LÓPEZ, A. (2010). Propuesta de texto para la enseñanza de la termodinámica a nivel medio superior basado en Cuatro enfoques. *Latin American Journal Physics Education*, 4 (1), p.1028 - 1032.

JOHNSTONE, A.H.; MACDONALD, J.J. & WEBB, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14, 169-171. *Jornada da História da Ciência e Ensino*. 2007.

JUSTI, R. y GILBERT, J.K. (1999). History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science and Education*, 8, pp. 287-307.

KLEIN, U. y E. SPARY (2010) *Materials and Expertise in Early Modern Europe: Between Market and Laboratory*. University of Chicago Press. Chicago.

KRAGH, HELGE (1986). *Introducción a la historia de la ciencia*. Cambridge university Press. Critica S. L Barcelona.

KREIMER, PABLO (2009) *El científico también es un ser humano*. Universidad Nacional de Quilmes. Editorial Siglo XXI.

KUHN, S. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press, USA: Chicago.

LAIDLER, K.J. (1984). The development of the Arrhenius equation. *Journal of Chemical Education*, 61(6), pp. 494-498.

LAKATOS, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.

LAVOISIER, A. (1862 - 1893): *Oeuvres de Lavoisier publiées par les soins du Ministre de l'Instruction Publique*, París, 6 vols.

LE CHATELIER, H. L.; (1888) .Sur un Énoncé Général des Lois des Équilibres Chimiques., Comptes Rendus Académie des Sciences, Paris, 786.

LECLERC, M. R.; (1922) .La Molécule Équilibres et Réactions Chimiques., Payot & Cie, Paris.

LEICESTER, H. M.; (1956.) The Historical Background of Chemistry.Dover Publication Inc., New York

LEICESTER, H.M. (1967). Panorama histórico de la Química. Madrid: Alhambra.

LEITE, L. (2002). History of science in science education: Development and validation of a checklist for analysing the historical content of science textbooks. Science & Education, 11, 333-359.

LEMOINE, M.G.(1882), "Études sur les équilibres chimiques", en: Fremy ,M. (ed.), Encyclopédie chimique. Tome I, p. 69-372.

LEWIS, G. N. AND RANDALLM (1923), "Thermodynamics," McGraw-Hill Book Co., New York, p. 584.

LUND, E.W., (1965) Guldberg and Waage and the law of mass action, Journal of Chemical Education, 42(9) 548-549,

LUND, E.W., (1968) Activated complex. A centenarian? Journal of Chemical Education, 45 (2) 125-128.

LEVERE, T.,(1971). Affinity and Matter. Elements of Chemical Philosophy 1800-1865. Clarendon Press. Oxford.

LEWIS, G. N.; RANDALL, M.(1923); .Thermodynamics and the free energy of chemical substances. McGraw-Hill, New York.

LINDAUER, M.W. (1962). The evolution of the concept of chemical equilibrium from 1775 to 1923. *Journal of Chemical Education*, 39(8), pp. 384-390.

M. COLUBI. (1999) Boskovic y la visión mecánica de la naturaleza (1740-1785). Madrid, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid.

MAAR, J. H. (1999) "Pequena História da Química Uma História da Ciência da Matéria", Editora Para-Livro, Florianópolis. Madrid, Alianza Editorial, 1977.

MACQUER, Pierre-Joseph (1808), *L'art de la teinture en soie*. Servibres, Paris, (1a. Edición 1763).

MARTÍNEZ, J. y PÉREZ, B. (1997). Estudio de propuestas alternativas en la
MATTHEWS, M.R (1994) *Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual*. Enseñanza de las ciencias, 12 (2).

McMULLIN, E. (1982), «La filosofía de la ciencia y sus reconstrucciones racionales», en: G. Radnitzsky & G. Andersson, eds. *Progreso y racionalidad en la ciencia*, Madrid, Alianza, pp. 201-226.

MELLADO, V. y GONZÁLEZ, T. (2000). *La formación inicial del profesorado de ciencias*, en Perales, F. y Cañal, P. (dir.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Cap. 22. Alcoy: Ed. Marfi I.

MERZ, JOHN THEODORE A (1965), *History of European Thought in the 19th Century* (Nueva York: Dover Publications, Inc., vol. I, págs. 41, 89-109.

METZGER, H. (1923) *Les doctrines chimiques en France du debut de XVII siecle a la fin du XVIII*. Paris, PUF.

METZGER, H (1930) Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique, Alcan, Paris, pp. 160 – 161.

MIELI, A. (1948): Lavoisier y la formulación de la teoría química moderna, Buenos Aires – México.

MIERZECKI, R. (1991). The historical development of chemical concepts. Londres: Kluwer Academic Publishers.

MILES, M. B., y HUBERMAN, A. M. (1994). Qualitative Data Analysis: an expanded sourcebook. Newbury Park, CA: Sage.

MILLER, J.D., (1983). Scientific Literacy: A Conceptual & Empirical Review, Daedalus, 112(2), pp. 29-47.

MONCALEANO HERNANDO, FURIO CARLOS, HERNANDEZ JUAN y CALATAYUD, M. L. (2003) Comprensión del equilibrio químico y dificultades en su aprendizaje. Enseñanza de las ciencias, número extra, pp. 111-118

MONK, M. & OSBORNE, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for development of pedagogy. Science Education, 81, 405-424.

MOORE, G (1939), "A History of Chemistry," 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, p. 372.

NEWTON, I (1952) "Opticks", Dover Publication, Inc., New York.

NIETO-GALAN, A., (2001). Colouring Textiles. A History of Natural Dyestuffs in Industrial Europe. Kluwer. Dordrecht

NIETO-GALAN, Agustí (1994), *Ciència a Catalunya a l'inici del segle XIX. Teoria i aplicacions tècniques a l'Escola de Química de Barcelona sota la direcció de Francesc Carbonell i Bravo (1805-1822)*. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona.

OSBORNE, J. (1999). Promoting scientific argument in the classroom: A rhetorical perspective, en *Proceedings of the International ESERA Conference*, s/pp. Kiel: IPN.p. 80-95.

OSTWALD, W.; (1891) *Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Säuren auf den Rohrzucker Stattfindet* von Ludwig Wilhelmy., Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.

OSTWALD, W.2002; (1965) *Chemische Affinitätsbestimmungen.*, *Praktische Chemie* do für do *Jornal* 1879, 19. Ostwald.s *Klassiker*, Berlin 1873, 192. según Lund 1965.

PAIXAO, M.F. & CACHAPUZ, A. (2000). Mass conservation in chemical reactions: The development of an innovative teaching strategy based on the history and philosophy of science. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1, 201-215. [<http://www.uoi.gr/ceip>]
Paris 1878, 391.

PARTINGTON, J. R., (1957); *A Short History of Chemistry*, Dover Publications Inc., New York, 70.

PARTINGTON, J.R., (1970) *A history of Chemistry*. MacMillan, Londres.

PATY, M. (1985). Le Chatelier y la ley de los equilibrios químicos. *Mundo Científico*, 5(49), pp. 808-810.

PERALES F.J Y P. CAÑAL (Directores). (2000) *Fundamentos históricos didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, Ed. Marfil. pp. 65-83.

PEREZ, L.A (2004). *Estructura y Uso de los Conceptos Científicos*. Dpto. de Lógica y Filosofía de la Ciencia, 10, pp. 75 – 87

PERSOZ, Jean-Francois (1846), *Traité théorique et pratique de l'impression des tissus*. Victor Masson, Paris, (4 vols.)

PFAUNDLER, L.(1968); .BEITRÄGE ZUR CHEMISCHEN STATIK., Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie, Leipzig 1867 Lund.

PITZER, K. S., BREWER, L.(1961); .Revised Edition of Thermodynamics by G. N. Lewis and M. Randall., McGraw-Hill Book Company, New York.

PORTELA, EUGENIO (1999) *La química ilustrada Química. Siglo XVIII*. Akal. Tres Cantos, Madrid. Akal historia de la ciencia y de la técnica. Vol. 33. Química. S.XVIII.

POZO, J. I. (1991). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: Del cambio conceptual a la integración jerárquica. En: *Enseñanza de las Ciencias*. (Número extra. Junio).

PROUST J. L (1799). *Ann. Chim.*, 32, 26 – 54

QUÍLEZ, J. & SOLAZ, J.J. (1995) Students. and teachers application of Le Chateliers principle. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 939-957.

QUÍLEZ, J. (1995). El principio de le Chatelier: Un obstáculo metodológico en la enseñanza y el aprendizaje del equilibrio químico. PhD Thesis. University of Valencia.

QUÍLEZ, J. (2002). Aproximación a los orígenes del concepto de equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas. *Educación Química*, 13(2), pp. 101-112.

QUÍLEZ, J. (2004). A historical approach to the development of chemical equilibrium through the evolution of the affinity concept: some educational suggestions, *Chemistry education: research and practice*, Vol. 5, No. 1, pp. 69-87.

QUÍLEZ, J. (2004). Changes in concentration and in partial pressure in chemical equilibria: students. and teachers. understandings. *Chemistry Education: Research and Practice*, submitted for publication.

QUÍLEZ, J. (2006). The role of theories in early studies of chemical equilibria. *Bull. Hist. Chem.*, VOLUME 31, Number 2, pp. 45 -57.

QUÍLEZ, J. y SANJOSE, V. (1995). Errores Conceptuales en el Estudio del Equilibrio Químico: Nuevas Aportaciones Relacionadas con la Incorrecta Aplicación del Principio de Le Chatelier. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp.72-79.

R. J. BOSKOVIC (1758) *Theoria Philosophiae Naturalis*. Viena,; citada por la edición inglesa de J.M. Child. Cambridge <Mass.>, The Massachusetts Institute of Technology Press, reedición de 1966.

RAVIOLO, A (2007). Implicaciones didácticas de un estudio histórico sobre el concepto equilibrio químico. *Historia y epistemología de las ciencias*, 25 (3), pp. 415–422.

RAVIOLO, A. (1999). Color y enseñanza en equilibrio. *Educación en Ciencias*, (a) Revisión de experimentos sobre equilibrio químico, 3(7), pp. 21-27; (b) Revisión de experimentos sobre equilibrio químico (Segunda parte), 3(8),pp. 51-58; (c)

RAVIOLO, A. (2003). Modelos históricos sobre el equilibrio químico. *Educación en la Química*, 9(3), pp. 17-26. Matthews, M. (1992). History, philosophy and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education*, 1, 11-47.

RAVIOLO, A. (2005). Enseñanza y aprendizaje de modelos sobre el equilibrio químico. Una propuesta didáctica con alumnos universitarios españoles y argentinos. Tesis Doctoral. Facultad de Educación. Universidad Complutense de Madrid.

RAVIOLO, A. y MARTÍNEZ AZNAR, M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. Educación Química, 14(3), pp. 60-66.

RAVIOLO, A. y MARTÍNEZ AZNAR, M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. Educación Química, 16 (número extraordinario), pp. 159-166.

RESTIVO, S. (1985). The Social Relations of Physics, Mysticism, and Mathematics. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht. p. 147-156.

SACKUR (1917) (translated by G. E. Gibson), "Thermochemistry and Thermodynamics." The Macmillan Co..London, p. 317

SÁNCHEZ, P.J. y MARTÍN, F. (2003). Quantum vs. .classical. chemistry in university chemistry education: A case study of the role of history in thinking the curriculum. Chemistry Education: Research and Practice, 4, 131-148. [<http://www.uoi.gr/cerp>]

SCHEFFLER, I (1970). Philosophy and the Curriculum, en in Science and Science Education, Journal of Research in Reason and Teaching. pp. 3 1-44. (Routledge: Londres).
Scientifique, Paris 1909, 10.

SHAPIN, S. (1992), «Discipline and Bounding: The History and Sociology of Science as Seen Through The Externalism- Internalism Debate», History of Science, 30, pp. 333-369.

SHAYER, M., JOHNSON, D.C. & ADHAMI, M. (1981). Does CAME work (2) Report on Key Stage 3 results following the use of the Cognitive Acceleration in Mathematics Education, CAME, project in Year 7 and 8. In Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics Day Conference, St. Martin's College, Lancaster, 5 June 1999. London: BSRLM, 79-84

SHERRATT, W.J., (1982). History of Science in the Science Curriculum: An Historical Perspective, School Science Review 64, PP. 225-236, 418-424.

SHRYOCK, R. H. (1953), The Interplay of Social and Internal Factors in the History of Modern Medicine, The Scientific Monthly, 76, pp. 221-230.

SOLBES, J. TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo la historia de la ciencia en las clases de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas, Enseñanza de las ciencias, 19 (1), pp. 151-162.

SOLBES, J. y TRAVER, M. (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. Enseñanza de las Ciencias, 14(1), pp. 103-112.

STAVRIDOU, H. & SOLOMONIDOU, C. (2000). Représentations et conceptions des élèves grecs par rapport au concept d'équilibre chimique. Didaskalia, 16, 107-134.

STENGERS, I. (1993); La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la Química del siglo XVIII, en Serres (ed.) Historia de las Ciencias, 337-361. Cátedra, Madrid.

STIPCICH, M. Y TOLEDO, B. (2001). Una Analogía Estructural entre Piaget y Vigotsky como aporte para desarrollar diseños. Cuaderno Catarinense de Ensino de Física. Vol. 18, (1) p. 41-51.

THACKRAY ARNOLD (1970). Atoms and Powers. An Essay on Newtonian Matter-Theory and the Development of Chemistry. Harvard University Press & Oxford University Press.

THOMAS, P.L. & SCHWENZ, R.W. (1998). College physical chemistry students. conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1151-1160.

THOMSON, J.J., (1918). *Natural Science in Education*, HMSO. Londres. (Known as the Thomson Report).

TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana*. Ed. Alianza. Madrid España. p. 42, 162-180, 212.

TRAVIS, Anthony (1992), *The Rainbow makers. The origins of Synthetic Dyestuffs Industry in Western Europe*. Lehigh University Press, Lehigh.

TYSON, L.TREAGUST, D.F. & BUCAT, R.B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, v.11 fasc.1 p.44 - 57

VALERIANO IRANZO (2005); *Filosofía de la ciencia e historia de la ciencia*. Universitat de València. *Quaderns de filosofia i ciència*, 35, pp. 19-43.

VAN DRIEL, J. H., DE JONG, O., VERLOOP, N (2002); The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *Science Education*, 86(4), 572-590.

VAN DRIEL, J. H., GRÄBER, W (2002); .The teaching and learning chemical equilibrium. *Chemical Education: Towards research-based practice* . Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 271.

VAN DRIEL, J. H., VERLOOP, N., DE VOS, W.(1998), Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge, *J. Res. Sci.Teach.*, 35(6), 673-695.

VAN DRIEL, J.H (2002); Students. Corpuscular Conceptions in the Context of Chemical Equilibrium and Chemical Kinetics., *Chemistry Education*, 3, 201.

VAN DRIEL, J.H. (1990). Involved in equilibrium. An educational study into developing a chemical equilibrium concept. PhD Thesis. Utrecht: CDβ-Press.

VAN DRIEL, J.H., DE VOS, W. & VERLOOP, N. (1998). Relating students' reasoning to the history of science: The case of chemical equilibrium. *Research in Science Education*, 28, Van Driel, J. &

VAN DRIEL, J.H.; DE VOS, W.; VERLOOP, N. & DEKKERS, H. (1998). Developing secondary students' conceptions of chemical reactions: The introduction of chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*.

VAN HOUTEN, J.(2002); A Century of Chemical Dynamics Traced through the Nobel Prizes 1909. Wilhelm Ostwald., *Journal of Chemical Education*, 79,146.

VAN.T HOFF, J. H. (1984); .Études de Dynamique Chimique., *Publié par F. Muller & Co.*, Amsterdam.

VERZOTO, J. C., ROSSI, A. V.; .O (2007) Conceito de Equilíbrio Químico de Berthollet à Van.t Hoff.,

WANDERSEE JH, MINTZES JJ & NOVAK JD. (1994). Research on alternative conceptions in science. In: Gabel DL (ed.). *Handbook of research on science teaching and learning*:177-210. New York: MacMillan

WANDERSEE, J. H. & GRIFFARD, P.B. (2002). The history of chemistry: Potential and actual contributions to chemical education. In Gilbert, J.K. et al (eds.), *Chemical education: Towards researchbased practice*, pp. 29-46. Dordrecht: Kluwer.

WHEELER, A.E. & KASS, H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62, 223-232.

WILHELMY L. (1850). Poggendorfs Ann. Physik, 81, 413 – 433, 499 -526.

WISNIAK, J., (2000) The history of saltpeter production with a bit of pyrotechnics and Lavoisier, The Chemical Educator, 5, 205-209

ANEXOS

ANEXO N°1

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA

DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -

EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO

INSTRUMENTO N° 1

FICHA HEMEROGRÁFICA N° 1	
FECHA DE ELABORACIÓN	11 DE DICIEMBRE DE 2012
1. AUTOR DEL ARTÍCULO	GEOFFROY, E.F
2. TITULO DEL ARTÍCULO	TABLEAU DES DIFFÉRENTES RELATIONS OBSERVÉES EN CHIMIE ENTRE DIFFÉRENTES SUBSTANCES
3. PERIODICO, REVISTA O MEDIO ELECTRÓNICO	MEDIO ELECTRÓNICO
4. LUGAR DE PUBLICACIÓN	PARIS, FRANCIA
5. EDITORIAL	MÉMOIRES D'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES
6. AÑO, VOLUMEN Y NÚMERO	1718
7. FECHA DE PUBLICACIÓN	22 DE MARZO DE 1718
8. NÚMERO DE PÁGINAS	40
9. ASPECTOS HISTORICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO	
En los primeros años del siglo XVIII, los químicos franceses sin duda influenciados por sus colegas físicos, se referían a menudo a una concepción mecanicista de la naturaleza de inspiración cartesiana sin que por eso sea imposible hablar de un desarrollo de una química cartesiana, en efecto la manera según la cual Descartes había tratado acerca de los objetos de la química en la cuarta parte en los principios de la filosofía, reduciendo todas las operaciones químicas a procesos estrictamente mecánicos, obstaculizaba el desarrollo de una ciencia química que pudiese conservar su autonomía y su especificidad respecto a la física, es sobre todo Nicolás Lémery (1645 - 1715) quien contribuyo al desarrollo de una química estrictamente mecanicista popularizando en su célebre curso de química de 1675, una interpretación de la relación de los ácidos y de los álcalis fundada sobre la existencia de puntos y de poros que sacaba de los trabajos de François André. No existe nada equivalente en la obra de Descartes, pero se ha podido ver sin embargo en una teoría titulada "l'expression d'une chimie cartésienne" en la medida que se trata de dar cuenta de las operaciones de la química no ya invocando la eficacia de principios o de elementos que aportan	

a los cuerpos mixtos sus propiedades sino apoyándose exclusivamente en la grandeza, la figura y el movimiento de los corpúsculos de la materia lo que es perfectamente conforme al espíritu de la química cartesiana.

Los primeros años del siglo XVIII, Louis Lémery (1677 - 1743), hijo de Nicolas Lémery, fue el principal artesano del desarrollo de esta química mecanicista que encontró una espectacular aplicación en la tesis llamada *Conjeturas y reflexiones sobre la materia del fuego o de la luz*, que presentó el 13 de noviembre de 1709, delante de la Academia Real de las Ciencias. El consideraba que el fuego, como la luz y el sol mismo, estaba constituido de finas partículas de una materia sutil que se insinuaba en los poros de la materia y que se dejaba allí encerrar conservando todas sus propiedades lo que aportaba una elegante solución al irritante problema del aumento del peso de los metales que calcinamos, pero es igualmente con ocasión de la querella que le lanza a Etienne – Francois Geoffroy (1672 - 1731) de 1704 a 1708 a propósito de la fabricación artificial del hierro que Louis Lémery tuvo ocasión de llevar a cabo su interpretación mecanicista de los fenómenos químicos. Basta recordar que se trata de explicar la presencia del hierro en las cenizas vegetales: resultaba esta presencia de una producción nueva efectuada de la combustión, como lo afirmaba Geoffroy, o más bien provenía de la tierra como lo defendía Lémery, suponiendo que las finas partículas del metal podían en diferentes condiciones levantarse en las fibras del vegetal?

Este diferendo permite ilustrar todo lo que oponía a los dos químicos en la manera de invocar los saberes adquiridos en su formación de químicos con vistas a resolver un problema difícil. La educación que Louis Lémery y Etienne – Francois Geoffroy recibieron de su padre era bastante diferente. Si le creemos al elogio de Dortous de Mairan en 1743, Nicolas Lémery disuadió a su hijo de empezar estudios de jurista para orientarlo hacia la medicina o la química según los principios de la filosofía moderna que no fuera en ese tiempo sino la filosofía de Descartes. Louis Lémery se volvió entonces doctor en medicina a los 21 años y entro a la Academia Real de las Ciencias a los 23, como alumno de de Tournefort y después de su propio padre. Parece que nunca salió de Francia sino en una sola ocasión cuando acompañó a Madrid al infante de España. Toda su

carrera la hizo en París, como profesor de química del Jardín real de las plantas a partir de 1708 y como médico enseñaba en el l'Hotel-Dieu, hospital de París a partir de 1710. Mostrándose un fiel discípulo de su padre, que Dortous de Mairan no dudaba en llamar el “Descartes de la química” estaba persuadido que la aplicación a la química de los principios cartesianos no era el único medio de hacer salir esta ciencia de las oscuridades del pasado. No era necesario ejercer la curiosidad estudiando doctrinas antiguas ni autores extranjeros que como no eran cartesianos le parecía que estaban apegados a los errores de los alquimistas.

10. ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO

La amplia aceptación de las teorías físicas de Newton impresionó a los químicos, que empezaron a examinar la afinidad en función principalmente desde su idea mecanicista de la afinidad química. Se supuso, en esencia, que toda partícula material estaba dotada de cierta fuerza atractiva, única causante de todas las reacciones físicas químicas. Aunque la hipótesis era espectacularmente satisfactoria aplicada a la física y a la astronomía resultaba demasiado vaga, en la mayoría de los casos, cuando se pretendía explicar con ella los problemas especiales planteados por las reacciones químicas. Las hipótesis, ya examinadas, de Boerhaave sobre la reacción y la disolución indican cómo se había utilizado el concepto de afinidad para explicar el comportamiento químico. Ahora bien, con el fin de que la idea newtoniana fuese de utilidad general, los químicos sintieron la necesidad de elaborar tablas de afinidad que expresasen la capacidad de reacción de los compuestos individuales unos con respecto de otros, y que sirviesen también, así lo esperaban, para predecir la de otros compuestos en reacciones similares.

ANEXO N°2

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO (RAE) N°1
INSTRUMENTO N° 2

Título del Documento		TABLEAU DES DIFFÉRENTES RELATIONS OBSERVÉES EN CHIMIE ENTRE DIFFÉRENTES SUBSTANCES	
Nombres y Apellidos del Autor		GEOFFROY. E.F	
Año de publicación	1718	País de origen	Francia
Palabras clave	Tablas de relaciones, afinidad, Optick		
Resumen de la investigación			
Esta publicación inicia con una pequeña biografía de Geoffroy, quien recibió una educación ecléctica, en este sentido Fontenelle reporta que su padre organizaba conferencias en su casa donde intervenían físicos, médicos y químicos entre los cuales Homberg, quien va a ser el verdadero maestro de Geoffroy en química. Es según la expresión de Fontenella, una verdadera educación de un hijo de ministro de la cual se benefició. Su padre consideraba que la profesión de boticario requería de conocimientos bastante extendidos. Pero sobre todo Geoffroy realiza numerosos viajes primero a Montpellier para recibir una formación en Farmacia diferente a la que su padre podría darle, después fue a Inglaterra, donde se ganó la amistad de la mayor parte de los ilustres de un país, después fue a Holanda, donde “viven tantos otros sabios” e hizo observaciones y adquirió nuevos conocimientos y finalmente viaja a Italia. Después hace como Louis Lémery una carrera únicamente parisina, enseñando la química en el Jardín real de las plantas a partir de 1707, luego fue profesor de medicina en el Colegio real en 1709, pero a diferencia de su colega, nunca deja de inspirar trabajos extranjeros, en particular los de Stahl y de gente cercana a Newton, prefiriendo			

mezclar los aportes de la tradicional química y de la filosofía natural de los ingleses, más que encerrarse en la física cartesiana.

Problema que aborda:

El autor plantea las intenciones Geoffroy sobre la construcción de la “Tabla de las diferentes relaciones” publicada en 1718 donde se hace referencia a las célebres páginas donde Newton describe los movimientos de atracción y repulsión entre las partículas de ácidos, sales y de sustancias metálicas de donde resultan los precipitados. Geoffroy bajo el paradigma de Newton se contenta con presentar un catálogo de operaciones químicas, como por ejemplo las que conciernen a la interacción de los ácidos, álcalis y de los metales se encuentran en otros autores, Geoffroy quiere demostrar la tesis de Newton: “There are therefore Agents in nature able to make the Particles of Bodies stick together by very strong Attractions”. Hay algunas atracciones fuertes de la naturaleza capaces de hacer que los cuerpos se mantengan juntos.

Objetivos de la publicación:

El objetivo de la publicación es generar tablas de afinidad para caracterizar diferentes sustancias, bajo el paradigma Newtoniano.

Hipótesis planteada por la publicación: La hipótesis planteada por Geoffroy es sobre los espíritus de los líquidos inflamables y la fabricación de tablas de relaciones químicas. Cuando Geoffroy va a Londres en 1698 para acompañar al conde de Tallard, nombrado embajador en Inglaterra, como su médico personal, y esto sin ser si quiera medico puesto que el no será doctor en medicina sino hasta 1704. Él se encuentra con Hans Sloane, secretario de la Royal Society del cual se vuelve rápidamente miembro. En los Philosophical transactions se ve la huella de Geoffroy, puesto que en el número de febrero de 1699 presentó un breve reporte titulado “el camino que toman los espíritus líquidos inflamables”. Allí se habla sobre las experiencias que permiten la fabricación de licores y la presentación del resultado de su mezcla se resumen en algunas líneas. Geoffroy presentó las dos sustancias en una reunión de la Real Sociedad y que allí reprodujo la primera de las experiencias mencionadas. Al regresar a Paris él envía el 21 de diciembre de 1698 un carta a Sloane sobre las aguas minerales de Saint – Amand, que es inmediatamente publicada en la Philosophical transactions y presenta los resultados de sus operaciones químicas que ha efectuado para

determinar la composición de esas aguas y sus propiedades medicinales.

Geoffroy fue admitido como alumno de Homberg en la Academia real de las Ciencias desde febrero 1699, es inmediatamente encargado de establecer las relaciones entre la Institución Francesa y la Real Sociedad. Encontramos un ejemplo de trabajo de Geoffroy en 1703: primero el proceso verbal del 24 de julio de ese año señala que “M: Geoffroy leyó un artículo de las Transacciones filosóficas que contienen comparaciones de diversos grados de calor hechas siguiendo un cierto método que será examinado por el termómetro de Monsieur Amontons”. En efecto, Amontons, quien había efectuado en junio de 1702 una presentación del nuevo termómetro hecho de vino y había explicado en abril de 1703 como este último podía servir de patrón de referencia para rectificar las medidas hechas con los antiguos termómetros, desarrolló delante de la Academia el 24 de julio de 1703 algunas observaciones sobre la tabla presentada por Geoffroy con una comparación entre las medidas efectuadas por el autor inglés y sus propias medidas.

Al mismo tiempo, Geoffroy informaba por supuesto a sus colegas ingleses de los trabajos de Paris: el 7 de marzo de 1699 envía una carta a Sloane, esa carta fue publicada el mes siguiente en la cual presenta la nueva organización de la Academia de las ciencias que había sido aprobada por el rey. En 1702, transmite una carta que fue publicada por la Philosophical transactions de marzo – abril de 1702, en la cual Blondel daba cuenta a uno de sus amigos de los trabajos de la Academia real de las ciencias del 12 de noviembre de 1701.

La presentación por Geoffroy delante de sus colegas de la Academia real de las ciencias extrae del libro Opticks de Newton no aparecería como un evento aislado. Geoffroy, emprende el 12 de junio de 1706 la lectura de algunos párrafos de la obra traducida al inglés, por el mismo y de manera episódica hasta 1707. Ignoramos cuales fueron los pasajes presentados, pero basta recordar que en la primera edición del Opticks en 1704 no tenía todavía la célebre “cuestión 31” que no fue introducida sino en la edición latina de 1706, como cuestión 23 y luego en la segunda edición inglesa de 1717.

Geoffroy aprovecho sus vínculos con las dos instituciones de sabios para difundir sus trabajos, en las dos asambleas, es así que la primera conferencia que hizo delante de la Academia de las ciencias el 12 de mayo de 1700, “Observaciones sobre las disoluciones y sobre las fermentaciones que se pueden llamar frías porque están acompañadas del frío de los licores en las cuales ellas pasan”, su conferencia fue igualmente publicada en Inglaterra en el Philosophical transactions de septiembre de 1701. Pero sobre todo encontramos en el Philosophical transactions de julio de 1709, bajo el título “Experimento sobre los metales, hecho con vidrio quimado por el Duke de Orleans” la traducción fiel, a una excepción cercana de la comunicación presentada ante la Academia de las Ciencias dos meses antes (2 de mayo de 1709). Se trata de un texto importante a más de un título.

Metodología y estrategias seguidas por la publicación:

Primero porque utilizando el espejo ardiente para calcinar los metales, Geoffroy cree darse a su análisis y hacer aparecer los dos componentes principales de todo metal: primero azufre o sustancia aceitosa y una tierra vitrificable o cal, lo que le parece afianzar su posición en la polémica que durante cuatro años ha tenido con Louis Lémery. El segundo punto importante es que Geoffroy expone claramente en ese texto la reversibilidad de la transformación de un metal en cal y de su cal en metal, poniendo así en evidencia que la producción “artificial” del hierro no es sino la puesta en escena de un procedimiento perfectamente natural. Nos damos cuenta inmediatamente de las similitudes de la teoría del flogisto de Stahl: las teorías de Geoffroy conciernen la formación de los metales estaban en efecto directamente inspiradas en los trabajos de Becher y de Stahl.

Tesis principal del autor

Las teorías de Geoffroy conciernen a la formación de los metales que estaban en efecto directamente inspiradas en los trabajos de Becher y de Stahl.

Argumentos expuestos por el autor:

Es discutible que la tabla de Geoffroy se confeccionó bajo el amparo del marco teórico de la teoría newtoniana de la materia, pero se puede afirmar que su confección inició una tradición que buscaba encontrar por inducción las leyes, que expresadas matemáticamente, gobernaban las reacciones

químicas.

Conclusiones del documento:

Este documento finaliza hablando sobre el nuevo curso de Chymie siguiendo los principios de Newton y Stahl. Este libro anónimo aparecido en 1723 fue atribuido a Jean-Baptiste Sénac (1693-1770), un médico que publicó varias obras sobre Anatomía y Fisiología. Probablemente se debe al trabajo de algunos estudiantes de Geoffroy y Boulduc inspirado en las notas tomadas durante la curso de sus amos, como sugiere más adelante Barón en el prefacio de su reedición del curso de Chymie. Nicolas Lémery de todos modos, más allá de sus imprecisiones, el libro es más o menos lo que podría ser en el momento la educación para un químico. En la primera parte, se realiza una introducción general, el autor desarrolla la teoría Stahlienne de tres tierras de Becher y agua, de los cuales están formados por sales de concreción ácidos, álcali y sulfuro, compuesta por un ácido y un principio inflamable pronto llamado flogisto. También es el flogisto, señalado otra vez como "principio sulfuroso" que está destinado a hacer parte de la Constitución de los metales: el autor se expresa aquí en términos idénticos a los de las Memorias de Geoffroy.

Bibliografía citada por el autor:

- Bernard Joly, "Descartes et la chimie" in L'esprit cartésien, éd. Bernard Bourgeois et Jacques Havet (Paris : Vrin, 2000), 216-221.
- Michel Bougard, La chimie de Nicolas Lémery (Turnhout: Brepols, 1999).
- François André, Entretiens sur l'acide et l'alcali (Paris: 1672). La seconde édition (Paris: 1677), qui contient une réponse aux objections développées par Boyle en 1675 dans ses Reflections upon the hypothesis of Alkali and Acidum (The works of Robert Boyle, ed. Michael Hunter and Edward B. Davis (London : Pickering & Chatto, 2000), vol. VIII, 409-411) peut être consultée en ligne sur le site [http:// polib.poleuniv-lille-npdc.fr](http://polib.poleuniv-lille-npdc.fr).
- Mémoires de l'ARS (=Mémoires de l'Académie Royale des Sciences), 1711 (1706), 88-96. La seconde date, entre parenthèses, est celle de l'année où fut présentée la communication. La première est celle de l'année de publication de l'édition des mémoires à laquelle je me réfère.
- Bernard Joly, "Quarrels between Etienne-François Geoffroy and Louis Lémery at the Académie

Royale des sciences in the Early Eighteenth Century : Mechanism and Alchemy“, in Chymists and chymistry. Studies in the History of Alchemy and Early Modern Chemistry, ed. Lawrence M. Principe (Sagamore Beach : Chemical Heritage Foundation/Science History Publications, 2007), 203-214. - Dortous de Mairan, “Eloge de M. Lémery”, in Histoire de l'ARS (Histoire de l'Académie Royale des Sciences), 1746 (1743), 195-208, plus spécialement 196. - Fontenelle, “Eloge de M. Geoffroy”, in Histoire de l'ARS, 1734 (1731), 93-100. - Ce sont toujours, bien entendu, les expressions de Fontenelle. - Philosophical transactions, vol. 21 (1699), numéro 249, 43-44. - Philosophical transactions, vol. 20 (1698), numéro 247, 430-432. - Procès-verbaux de l'ARS (Procès-verbaux de l'Académie Royale des Sciences), tome 18 (1699), 143v-144r. La liste des projets des académiciens pour l'année 1699, lue lors de la séance du 28 février définit ainsi le travail de Geoffroy :”Il travaillera sur les sels essentiels et il a même déjà commencé. De plus, comme il est de la Société Royale de Londres et que le commerce des lettres qu'il entretient avec monsieur Sloane qui en est secrétaire lui donne moyen d'être instruit de plusieurs choses particulières et curieuses qui se traitent dans cette société, et qui ne sont pas toujours dans les transactions ou Journaux qu'elle ordonne, il vérifiera et rapportera à la Compagnie les expériences les plus considérables qui viendront à sa connaissance.” - Mémoires de l'ARS, 1720 (1703), 50-56. - Mémoires de l'ARS, 1720 (1703), 200-212. - Philosophical transactions, vol. 21 (1699), numéro 251, 144-145.
Nombres y apellidos de quien realiza el RAE: Claudia Marcela Cruz Fecha en que se elaboró este RAE: 11 de Diciembre de 2012

ANEXO N°3

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
INSTRUMENTO N°3**

FICHA HEMEROGRÁFICA N° 2	
FECHA DE ELABORACIÓN	11 DE DICIEMBRE DE 2012
1. AUTOR DEL ARTÍCULO	GULDBERG. C.M - WAAGE P
2. TITULO DEL ARTÍCULO	ÉTUDES SUR LES AFFINITÉS CHIMIQUES
3. PERIODICO, REVISTA O MEDIO ELECTRÓNICO	LIBRAIRIE MÉDICALE & SCIENTIFIQUE
4. LUGAR DE PUBLICACIÓN	OSLO
5. EDITORIAL	BRÖGGER & CHRISTIE
6. AÑO, VOLUMEN Y NÚMERO	1867, NÚMERO 2
7. FECHA DE PUBLICACIÓN	1867
8. NÚMERO DE PÁGINAS	111
9. ASPECTOS HISTORICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO	
La primera teoría sobre el modo de acción de las fuerzas químicas, data de 1780, ella se debió a un químico, llamado Bergman; según él la afinidad química propia de una sustancia, se manifiesta con una intensidad variable, que puede incluso expresarse por medio de una cifra. Él considera que en una reacción, un cuerpo AC, actuando sobre un cuerpo B dará lugar a una reacción integral $AC + B = AB + C$ Si la afinidad de A es más grande por B que por C, como condición. En su ensayo sobre Estática Química, Berthollet, en 1803, expone sus ideas sobre gravitación, de velocidad de acción de masa, que llevaban a conclusiones completamente diferentes, su idea general era la siguiente: el	

equilibrio resultante de una reacción depende, ante todo, de las masas activas, de tal manera que, en un sistema dado, la acción determinante de cada sustancia es proporcional a él número de moléculas que las representa. Él decía entre otras cosas: una pequeña afinidad puede ser aumentada, compensada por una gran masa y una gran afinidad puede ser contrarrestada por una pequeña masa; es posible que una reacción que no funciona en ciertas condiciones, se produzca en otras, sobre todo si se aumenta la proporción de los cuerpos reactivos.

Estas ideas terminaron triunfando, infortunadamente, Berthollet cometió el error de generalizar demasiado sus ideas y de creer que por la acción de las masas, eran no solamente posible hacer funcionar una reacción sino incluso crear tipos nuevos de reacción.

Actualmente hemos conservado la noción de masa como compensación de la afinidad, con ella no se crean cuerpos nuevos, se acelera, se retardan las reacciones.

En la mezcla de una base y de varios ácidos la neutralización de los ácidos ocurre proporcionalmente a su masa molecular presente.

Mezcleemos un volumen normal de una solución de sodio con un volumen de una solución normal de ácido clorhídrico y un volumen de una solución normal de ácido sulfúrico. Cada uno de los dos ácidos según lo observado por Berthollet, debería tomar su parte de base, y se encontraría por este hecho saturado a la mitad, si tenemos dos volúmenes uno de los cuales es ácidos y un solo volumen del otro, al mezclarlos después de la acción haya quedado después de la acción cuatro cuartos de molécula de ácido sulfúrico, y dos tercios de molécula de ácido clorhídrico. Veremos lo que se puede modificar aquí.

Un caso diferente es aquel en el cual uno de los productos de la reacción se elimina de sí mismo, por ejemplo, la reacción del ácido clorhídrico sobre el nitrato de plata: Berthollet admitía que el reparto se hacía siempre al principio normalmente pero que después de la eliminación del cloruro

insoluble el equilibrio se rompía, lo que confirmó una retoma de la reacción con formación de una nueva cantidad de cloruro insoluble, y así sucesivamente hasta la precipitación completa de la plata o del ácido clorhídrico. Esta idea se encuentra completa en las leyes de Berthollet, que nos dan incluso en nuestros días tan grandes servicios a los que comienzan en el estudio de la química.

Las ideas de Berthollet, olvidadas durante medio siglo, fueron sacadas del olvido en el que había caído, hacia 1850, por un memorable trabajo de Berthollet de Péan de Saint – Gilles, acerca de la esterificación de los alcoholes por los ácidos, que fue seguido pronto por un trabajo muy importante de Wilhelmy sobre la velocidad de la inversión del azúcar. Estos dos trabajos influenciaron fuertemente sobre las ideas, y condujeron en 1867, a dos químicos noruegos Guldberg y Waage, a un nuevo enunciado de la teoría a la que darían una nueva forma matemática.

10. ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO

Los trabajos de Berthollet y Saint – Gilles dieron un nuevo enfoque experimental al estudio de las reacciones en disolución. Pensaron que las reacciones entre ácidos, bases y sales no eran adecuadas para el estudio de los equilibrios químicos ya que eran tan rápidas que cualquier técnica analítica destruía inmediatamente el equilibrio. Estas desventajas las superaron a partir del estudio de reacciones de esterificación ya que su velocidad de reacción era lo suficientemente lenta para poder estudiarlas y las cantidades de equilibrio de todas las especies químicas eran siempre considerables. Los trabajos de Berthollet y Saint Gilles fueron el punto de partida de las investigaciones llevadas por los científicos noruegos Guldberg y Waage. A partir del empleo de técnicas precisas de análisis cuantitativo trataron de encontrar alguna relación matemática que se ajustase a los datos experimentales obtenidos.

ANEXO N°4

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO (RAE) N°2
INSTRUMENTO N° 4

Título del Documento		ÉTUDES SUR LES AFFINITÉS CHIMIQUES	
Nombres y Apellidos del Autor		GULDBERG. C.M - WAAGE P	
Año de publicación	1867	País de origen	OSLO
Palabras clave	Fuerzas químicas, afinidad química, fuerzas, masas activas, equilibrio, ley de acción de masas.		
Problema que aborda: Los autores en su artículo buscan determinar la naturaleza de lo que ellos denominaron fuerzas químicas. Es decir, ante su convicción de que la química podía convertirse, al igual que la mecánica, en una ciencia que estudiase las fuerzas y sus efectos, su problema era abordar de manera matemática el concepto de afinidad.			
Objetivos de la publicación: El objetivo de los autores es demostrar una teoría matemática que explique el concepto de afinidad química. Por lo tanto en su publicación realizan el desarrollo matemático de lo que se conoce como la ley de acción de masa.			
Hipótesis planteada por la publicación: Las fuerzas químicas no son proporcionales a las masas de las sustancias participantes, como			

había señalado Berthollet, sino a sus masas activas (concentración). Para cada sustancia, su masa activa estaba elevada a un exponente; el valor del mismo se obtuvo mediante el tratamiento matemático de toda una serie de datos experimentales.

Metodología y estrategias seguidas por la publicación:

Ley de Guldberg y Waage: Las acciones químicas son proporcionales a las masas activas en presencia: esto quiere decir que la velocidad según la cual dos cuerpos cualquiera actúa el uno sobre el otro puede expresarse por un producto $k \cdot p \cdot q$, en el cual k es un coeficiente de afinidad, p y q son las masas activas, y que ahora podemos llamar la concentración.

Para que dos cuerpos AB y $A'B'$ reaccionen el uno sobre el otro, es necesario y basta solamente que las combinaciones susceptibles, den compuestos con afinidades saturadas, que las moléculas AB y $A'B'$ estén dotadas de una movilidad suficiente para que las moléculas reaccionantes o reactivas puedan encontrarse una con la otra; en fin que nos encontremos en condiciones exteriores convenientes y favorables al doble intercambio. En lo que respecta a esta última condición, sabemos que para que una reacción se produzca es necesario encontrarse a una temperatura conveniente. La experiencia ha mostrado que en los dos extremos de la escala termométrica, existen dos regiones, de las cuales la extensión varía con la sustancia, y más allá de las cuales ninguna reacción es posible. Una, la región de los fríos extremos verosímilmente esta propiedad se debe al hecho de que en ese momento las partículas materiales han adquirido un estado de reposo que ellas no tienen según la teoría cinética en temperaturas que son habituales.

La otra región es la de las temperaturas extremas debe esta propiedad a que los cuerpos no sabrían existir en estas temperaturas como cuerpos sino como sustancias simples y elementales. En temperaturas ordinarias, los constituyentes de una molécula vibran en la molécula, alrededor de una posición determinada de equilibrio, y se admite que la toma de contacto de las moléculas, las reacciones en otras palabras, se producen a través de esos átomos en movimiento que están dispuestos a unirse, después de las mínimas atracciones que presentan en diversos periodos de sus movimientos vibratorios, que los rechazan, por así decirlo al exterior de la molécula y fuera de la

esfera atractiva de sus afinidades propias. Ahora bien, admitir que la posibilidad de una reacción química dependa de los movimientos atómicos y moleculares de los cuerpos presentes, es decir implícitamente que ellas dependen también de la temperatura, nos encontramos aquí un a doble verificación experimental de la teoría cinética del gas. De una parte la disminución de temperatura, que disminuye los movimientos moleculares de la reacción se vuelve imposible, a pesar de que los cuerpos puestos en presencia tengan las afinidades más altas a las temperaturas ordinarias, y al otro extremo de la escala la libertad de movimiento se vuelve tal, que para cada cuerpo hay una temperatura en la que él no puede existir, a la temperatura de disociación él no puede existir, en razón de la libertad de los átomos, es por todas estas razones que el coeficiente de actividad k de Guldberg y Waage, está en función de la temperatura, tanto como la naturaleza de las sustancias reactivas y las otras condiciones de la reacción.

Más adelante se analizará cual es la influencia de esta masa activa sobre la velocidad de las reacciones, y cuales importantes modificaciones esta noción introdujo acerca de las reacciones químicas. Esto no quiere decir sin embargo, que la idea primitiva de Berthollet, no haya sufrido importantes modificaciones desde hace algunos años, en las cuales nuestras perspectivas acerca de la velocidad de las reacciones y el equilibrio de los sistemas químicos se han precisado, hemos visto, entre otras cosas, desaparecer poco a poco la concepción de un estado estático en química. Hoy un sistema químico que por disociación, alcance a un estado de equilibrio fijo, no es ya considerado como algo que esta estático, hoy más bien consideramos la invariabilidad del término de una reacción como resultante del equilibrio de dos velocidades de transformación inversas y se representa esta situación por el símbolo de equilibrio $\rightleftharpoons$; una reacción se pone bajo la forma: sistema inicial $\rightleftharpoons$ sistema final.

Tenemos que ver aquí con un sistema, cuando se trata de varios cuerpos, actuando unos sobre los otros, en función de la temperatura, de la presión, etc. El sistema se dice homogéneo, si la mezcla es perfecta, como en el caso de dos gases o de dos líquidos que se disuelven. De otro modo si hay un precipitado o dos estados físicos distintos de sustancias reactivas, entonces se dice que el

equilibrio es heterogéneo. Se considera incluso, en este caso, de los sistemas simples o de primer orden, tales como la disociación de un éter en el agua, luego hay sistemas de segundo, de tercer orden, más complejos a 2, 3 ... o materias reactivas, actuantes en el equilibrio final.
Tesis principal del autor: En el estudio de la estática de la dinámica química la expresión de “masa activa” figura también en la ley principal de Guldberg y Waage, el número de moléculas – gramo que figuran en la unidad de volumen del sistema. Como se toma casi siempre el litro como unidad de volumen la unidad de volumen, la molécula gramo, como unidad de peso, el término de masa activa es el equivalente de la concentración molecular.
Argumentos expuestos por el autor: En su publicación Guldberg y Waage afirman haber superado la teoría de Bergman ya que sus evidencias experimentales de los procesos que estudiaron entraron en conflicto con la teoría presentada por Bergman. Con respecto a la teoría de Berhollet indicaron que habían adoptado parte de sus postulados, pero matizando que la ley de acción de masas formulada por el científico francés señalaba que la afinidad era proporcional a la masa, lo cual había sido refutado por sus experimentos. Además, la pretendida inactividad de las sustancias insolubles o volátiles en las reacciones era una idea incorrecta.
Conclusiones del documento: Aunque consideraron que las fuerzas de afinidad eran las responsables de las combinaciones químicas, ellos las introdujeron tan sólo en su formulación de la ley de acción de las masas como constantes de escasa relación con el significado de su labor. Lo importante de la teoría estuvo en haber reconocido que las concentraciones de las sustancias reaccionantes constituían la “masa activa” que determinaba el equilibrio resultante de las reacciones directas e inversas. Al comprender la importancia de la concentración y la del concepto de equilibrio dinámico, pudieron completar el trabajo empezado sesenta años antes por Berthollet.
Bibliografía citada por el autor: No se presenta una bibliografía según los parámetros actuales, sin embargo en algunos momentos

hace referencia a trabajos de otros científicos.
--

Nombres y apellidos de quien realiza el RAE: Claudia Marcela Cruz
--

Fecha en que se elaboró este RAE: 11 de Diciembre de 2012
--

ANEXO N° 5

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
INSTRUMENTO N° 5**

FICHA HEMEROGRÁFICA N° 3	
FECHA DE ELABORACIÓN	11 DE Diciembre DE 2012
1. AUTOR DEL ARTÍCULO	MARCELLIN BERTHOLET
2. TITULO DEL ARTÍCULO	ESASÍ DE STATIQUE CHIMIQUE PREMIERE PARTIE
3. PERIODICO, REVISTA O MEDIO ELECTRÓNICO	RUE DE THIONVILLE
4. LUGAR DE PUBLICACIÓN	FRANCIA
5. EDITORIAL	ET LES EDITIONS STÉRÉOTYPES
6. AÑO, NÚMERO	1803, 116
7. FECHA DE PUBLICACIÓN	1803
8. NÚMERO DE PÁGINAS	524
9. ASPECTOS HISTORICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO	
Las guerras napoleónicas supusieron un gran estímulo para la creación de la floreciente industria de la química francesa. Se incentivó a los científicos franceses para que el país pudiera abastecerse de tabaco, material de tinción, algodón y azúcar. Con frecuencia Napoleón premiaba los logros de sus científicos industriales. Durante la época de Napoleón se promovió también la formación de científicos y se estableció un sistema de educación secundaria (el sistema de liceos o institutos). Éstos, junto con la École Polytechnique, donde se impartían cursos avanzados de matemáticas, ingeniería y química, estaban destinados a suministrar mano de obra científica a Francia. En vísperas de Waterloo los franceses producían anualmente alrededor de 15000 toneladas de sosa artificial y 20000 toneladas de tintes naturales y de tejidos de algodón	

estampados en Alsacia; mientras, químicos como Berthollet y Chaptal introducían por primera vez el empleo del cloro para el blanqueamiento artificial.

10. ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO

En este texto que está dividido por secciones, Berthollet aborda problemas muy interesantes sobre las fuerzas de cohesión, las disoluciones, la acción recíproca de las sustancias en solución la combinación química, acción recíproca de los ácidos y los álcalis, las combinaciones entre un ácido y una sustancia neutra, productos de las precipitaciones de ácidos con álcalis, la acción recíproca de las combinaciones neutras, la capacidad de saturación de los ácidos y los álcalis, la expansión de la condensación de sustancias elásticas, propiedades de los fluidos elásticos y afinidades resultantes, la acción de los disolventes, la eflorescencia y la propagación de la acción química. Este ensayo se escribe teniendo en cuenta los resultados obtenidos en sus viajes y en los trabajos que realizaba en las refinerías. Hace especial énfasis en la acción química.

ANEXO N°6

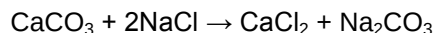
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO (RAE) N°3
INSTRUMENTO N° 6

Título del Documento		ESASÍ DE STATIQUE CHIMIQUE PREMIERE PARTIE	
Nombres y Apellidos del Autor		MARCELLIN BERTHOLLET	
Año de publicación	1803	País de origen	FRANCIA
Palabras clave	Fuerzas químicas, afinidad química, afinidad electiva, fuerzas, masas activas, fuerza de cohesión, disolución, acción recíproca entre sustancias, combinaciones entre ácidos y álcalis		
Problema que aborda:			
La afinidad química sería un tipo de fuerza análoga a la fuerza gravitatoria, ya que la fuerza de afinidad sería directamente proporcional a la masa de la sustancia reaccionante. Por tanto, cualquier reacción de desplazamiento nunca sería completa: se establecía una situación de equilibrio entre fuerzas de afinidad opuestas cuya magnitud dependería tanto de la diferencia de afinidades como de las proporciones relativas. Esta situación supondría, por analogía con la mecánica, una situación estática. El avance de una reacción química estaría determinado, según esta explicación, por el estado físico de las sustancias participantes, ya que ello afectaría el grado en el podrían ejercer sus afinidades.			
Objetivos de la publicación:			
Con su publicación buscaba demostrar que las afinidades dejaban de tener el carácter absoluto que les había atribuido Bergman ya que existía un segundo factor que era la masa de los reactivos, de tal forma que una gran cantidad de uno de los reactivos podía compensar su menor afinidad con respecto a otra, posibilitando con ello la reacción inversa a la inicialmente permitida mediante la única consideración de las tablas de afinidad.			
Hipótesis planteada por la publicación:			

La introducción de la idea de acción química, entendida como la tendencia entre dos sustancias a formar una combinación, que se ejercía atendiendo a su afinidad recíproca y a un parámetro cuantitativo que hacía referencia a la proporción de masas. La introducción del factor masa explicaba que las reacciones fuesen completas y que tanto la reacción directa como su reacción inversa fuesen posibles.

Metodología y estrategias seguidas por la publicación:

Las ideas de Berthollet, que fueron desarrolladas desde experiencias con reacciones químicas a gran escala, tuvieron un nuevo marco de implementación gracias al viaje que hizo a Egipto en 1798, durante la expedición de Napoleón. En efecto, allí observó la formación continua de carbonato de sodio al borde de los “lagos de sodio”. Podemos representar esta reacción como sigue:



Esta reacción fue la inversa de una predicha ya por la teoría de las afinidades selectivas. Berthollet dio cuenta de ella por medio de las grandes cantidades de cloruro de sodio y carbonato de calcio presentes y la remoción continua de los productos, de hecho, el carbonato de sodio formó una corteza alrededor de los bordes del lago, y la el cloruro de calcio se filtró hacia la tierra.

Él no negó la acción de las afinidades en las reacciones químicas, pero llamó la atención sobre la cantidad de masa como uno de los factores que afectan el resultado de una reacción. Esto es, la masa de los reactivos podría reversar la reacción predicha por la escala de afinidades relativas. Así, si dos sustancias compiten para combinarse con una tercera con la que tienen afinidades diferentes, una cantidad relativamente grande de la sustancia con menos afinidad podría ejercer una fuerza que puede sobrepasar la fuerza de la sustancia con mayor afinidad.

Berthollet se adhirió al concepto newtoniano de fuerza para explicar las reacciones químicas. Consecuentemente, la afinidad química era un tipo de fuerza gravitacional, porque la fuerza de afinidad fue proporcional a la masa del reactivo. Así, cualquier reacción de desplazamiento nunca

estaba completa: había un estado de equilibrio entre fuerzas de afinidad opuestas. La fortaleza de estas fuerzas por lo tanto, dependía de factores: la diferencia en sus afinidades relativas y la proporción cuantitativa. El estado de equilibrio logrado era, de una manera análoga a la mecánica, estático. Además, la extensión de una reacción química era determinada por el estado físico de los reactivos porque podría afectar el grado en el cual las afinidades podrían tener un rol.

Tesis principal del autor:

La afinidad responsable del proceso de disolución no es una fuerza absoluta ya que en la reacción del carbonato de sodio más cloruro de sodio donde se produce cloruro de calcio más carbonato de sodio existen fuerzas antagónicas que están en equilibrio químico.

Argumentos expuestos por el autor:

En 1789, Berthollet enfrentó el problema de la invariabilidad de las afinidades al tratar de encontrar una prueba confiable para determinar la pureza del nitrato. Las anomalías que halló cuando estaba lidiando con este problema, reaparecieron cuatro años después cuando fue nombrado director de una refinería de nitro para la producción de pólvora. La obtención de KNO_3 puro requería algunas recrystalizaciones y Berthollet tomó en consideración que a medida que incrementaba la concentración, la solución disminuía en su capacidad de disolver una nueva cantidad de nitrato. Interpretó esta anomalía afirmando que la afinidad responsable en el proceso de disolución no era una fuerza absoluta; por lo tanto, en este fenómeno habría un equilibrio entre las fuerzas antagónicas.

Conclusiones del documento:

Berthollet invita en sus investigaciones a unificar el conocimiento del fenómeno físico por la consideración de todas las fuerzas que afectan este fenómeno. Para enfatizar la existencia de estas fuerzas, llama la atención sobre los resultados de sus experimentos que fueron contrarios a los expuestos por Bergman y sus afinidades selectivas. En su intento de explicar estas contradicciones Berthollet desarrolló una serie de experimentos cuyos resultados interpretó bajo su hipótesis sobre la cantidad de sustancias.

En el artículo II de este mismo tratado el cita un número de experimentos que de acuerdo a él, ratifican su anterior afirmación, estos experimentos se resumen en la siguiente tabla:

Table 1. A Summary of Article II of Berthollet's "Researches"

Experiments which prove that in Elective Affinities, the Bodies whose Powers are opposed, divide between them the Body which is the subject of the Combination.

Expt.	Reactants and their proportions	Products
1.	1 part BaSO ₄ , 1 part KOH	K ₂ SO ₄
2.	1 part K ₂ SO ₄ , 1 part CaO	CaSO ₄ and K ₂ SO ₄
3.	1 part CaC ₂ O ₄ , 2 parts KOH	K ₂ C ₂ O ₄
4.	1 part CaC ₂ O ₄ , 2 parts HNO ₃	Ca(NO ₃) ₂
5.	1 part Ca ₃ (PO ₄) ₂ , 2 parts KOH	K ₃ PO ₄
6.	1 part KOH, 1 part CaCO ₃	K ₂ CO ₃
7.	1 part NaOH, 1 part K ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ and K ₂ SO ₄

El segundo y cuarto experimento son mal interpretados. Berthollet no indico las cantidades de los productos obtenidos en estos experimentos, excepto por el primer experimento donde explico que la cantidad de sulfato de bario que se descompuso fue pequeña. Esta omisión de la cantidad de los productos fue extraña de acuerdo a los principios de Berthollet, sin embargo Berthollet dijo que podía explicarse por las afinidades selectivas.

Berthollet ideo un esquema experimental brillante, en el cuarto experimento demostró la partición de una base por dos ácidos por el aislamiento del nitrato de calcio de la mezcla que aún contenía algo del oxalato de calcio. Por lo tanto concluyó que tanto el ácido nítrico como el ácido oxálico, dividían la base entre ellos. Berthollet concluyó que usó un exceso de ácido nítrico en este experimento, en su intento de establecer una conclusión general, Berthollet intento generalizarla en muchos experimentos.

Las conclusiones del artículo II son: La acción de una sustancia que tiende a descomponerse en una combinación disminuye en proporción mientras su saturación avanza, para esta sustancia puede ser en este caso componerse de dos partes, una saturada y otra libre, la original puede ser considerada inerte y desconectada de la siguiente. La cantidad disminuye en relación al avance de la saturación, mientras que por el contrario la acción de la que ha sido eliminada incrementa en proporción, desde el equilibrio de las fuerzas contendientes al final de la operación y limita el efecto.

Como la declaración de Berthollet lo indica el concepto de equilibrio fue utilizado para denotar un balance de las fuerzas químicas, exactamente como el término es utilizado en mecánica. En su énfasis sobre el efecto de la cantidad de sustancia, Berthollet concluye que fue posible obtener combinaciones de composiciones diferentes solamente por las proporciones de los reactantes.

Bibliografía citada por el autor:

No se presenta una bibliografía según los parámetros actuales, sin embargo en algunos momentos hace referencia a trabajos de otros científicos.

Nombres y apellidos de quien realiza el RAE: Claudia Marcela Cruz

Fecha en que se elaboró este RAE: 11 de Diciembre de 2012

ANEXO N° 7

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
INSTRUMENTO N° 7**

FICHA HEMEROGRÁFICA N° 4	
FECHA DE ELABORACIÓN	11 DE Diciembre DE 2012
1. AUTOR DEL ARTÍCULO	J. H. VAN'T HOFF
2. TITULO DEL ARTÍCULO	PHYSICAL CHEMISTRY IN THE SERVICE OF THE SCIENCE
3. PERIODICO, REVISTA O MEDIO ELECTRÓNICO	REVISTA VIRTUAL GALICA BIBLIOTHÉQUE NUMÉRIQUE
4. LUGAR DE PUBLICACIÓN	CHICAGO USA
5. EDITORIAL	THE DECENNIAL PUBLICATIONS OF THE UNIVERSITY OF CHICAGO
6. AÑO, NÚMERO	1903, Segunda Serie, Vol. XVIII
7. FECHA DE PUBLICACIÓN	10 de Junio de 1903
8. NÚMERO DE PÁGINAS	140
9. ASPECTOS HISTORICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO	
Se realiza en la ciudad de Chicago Illinois con el visto bueno de la Asociación de Químicos Americanos de la época. van't Hoff en este momento era miembro de la academia de ciencias de Prusia, Profesor ordinario honorario de la Universidad de Berlín, este documento fue parte del aporte de unas conferencias para los estudiantes de la Facultad de Química en la Universidad de Chicago en donde publico este documento. Este hecho ocurrió dos años después de recibir el premio Nobel de Química.	

Presenta una reconstrucción de los aportes de la Fisicoquímica en nacimiento a disciplinas como la Fisiología, la Geología, la misma Química entre otros; al igual de permitir el conocimiento de acontecimientos ocurridos en la época. En la introducción del documento resalta de manera especial los aportes que Kekulé, como su mentor, hizo dentro de los trabajos que presenta durante finales del siglo XIX y principios del siglo XX antes de su muerte en el año de 1911.

Resalta la utilización de las teorías de Avogadro dentro de sus trabajos en la Fisicoquímica especialmente en sus investigaciones sobre la presión osmótica, por otro lado la importancia de los proyectos realizados en conjunto con Arrhenius, quien gracias a la teoría de las disoluciones permitió grandes avances a sus contribuciones teóricas.

El desarrollo de la Fisicoquímica según los escritos de J. van't Hoff (1903) se basa, en dos piedras angulares. Una es la teoría de las soluciones, y depende esencialmente de la extensión del principio de Avogadro a estas. La otra es la aplicación de la termodinámica, y en especial el principio de Carnot-Clausius, a los problemas químicos.

10. ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS DE IMPORTANCIA EN EL TEXTO

Resalta la importancia de la construcción de las teorías científicas en comunidad científica y en especial los aportes de quienes fueron sus más allegados colaboradores entre los cuales se encontraban por su puesto Arrhenius y Ostwald, entre otros; al igual que la influencia de científicos como Kekulé generaron en sus apreciaciones sobre el mundo material.

Discute la importancia de un ambiente adecuado para la educación en el que se permitan espacios que estimulen el desarrollo intelectual de sus estudiantes; lo anterior posiblemente fueron ideas que surgieron a partir de sus trabajo como decano en una de las universidades Europeas donde laboro según el recuadro de su hija de vida.

ANEXO N°8

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
DESARROLLO DE LA TESIS DE GRADO: APROXIMACIÓN HISTÓRICO -
EPISTEMOLÓGICA DEL CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO
RESUMEN ANALITICO EDUCATIVO (RAE) N°4
INSTRUMENTO N° 8

Título del Documento		Physical Chemistry in the service of the science		
Nombres y Apellidos del Autor		Jacobus Hernicus van't Hoff		
Año de publicación		1903	País de origen	CHICAGO
Palabras clave		Física - Química, Punto muerto, fórmulas químicas, presión osmótica, afinidad química, equilibrio químico.		
Problema que aborda: Los principios teóricos de la Fisicoquímica y los aportes desde la presión osmótica. La relación de la Fisicoquímica con la Química pura. La relación y los aportes a otras áreas del conocimiento como la Fisiología, la Geología y la Industria de los metales entre otras. Los nuevos problemas que surgen a partir de este análisis. La conceptualización de afinidad referente al equilibrio químico.				
Objetivos de la publicación: Mostrar el avance en la teoría de las disoluciones, la cual se apoya en la teoría de presión osmótica para explicar los procesos biológicos en plantas y animales. También hace referencia al aporte de la Termodinámica en especial el de la Ley de la conservación de trabajo y energía, y el principio de Carnot – Clausius. El principio de la conservación de la energía es simple por sí mismo, esta no surge o desaparece; el cambio de una cantidad es inmutable, es el único posible; las condiciones				

con las que se debe hacer el tratamiento de problemas químicos se centra en el trabajo mecánico, el calor, la luz, y energía eléctrica.
Hipótesis planteada por la publicación: De acuerdo al interés de la presente investigación, se extrae la hipótesis que se considera pertinente para los análisis correspondientes. Propuso los conceptos de “moléculas activas” y de “energía de activación”. Sobre la base de estas ideas, la cinética se convirtió en una rama admitida de la química, que habría de contribuir extraordinariamente en la comprensión del curso real de las reacciones. Van’t Hoff había demostrado a los químicos cómo la termodinámica se podía aplicar a su ciencia, especialmente en relación con las ideas de afinidad. Fue el primero en establecer la diferencia entre cinética química y termodinámica química y demostró que el máximo trabajo exterior producido en una reacción química reversible e isotérmica, podía servir como medida de la afinidad química
Metodología y estrategias seguidas por la publicación: Van’t Hoff derivó la ley de acción de masa sobre la base de las velocidades de reacción, siendo igual la velocidad de la reacción directa e inversa en el equilibrio. Esta es exactamente la explicación de la naturaleza dinámica del equilibrio químico y la derivación de la ley de acción de masas que se encuentra prácticamente en todos los libros introductorios a la química. Guldberg y Waage también usaron el concepto de velocidad de reacción, pero su concepto original de equilibrio químico involucraba la idea de un balance de fuerzas opuestas.
Tesis principal del autor: Van’t Hoff afirmó que el trabajo máximo hecho por un proceso químico podría relacionarse como una cuantificación de la afinidad química
Argumentos expuestos por el autor: En sus estudios van’t Hoff aplica la ley de acción de masa y la ecuación de van’t Hoff, a una variedad de situaciones de equilibrios heterogéneos y homogéneos a muchas reacciones donde $q=0$ y en otras donde $q>0$ ó $q<0$. Después en el mismo trabajo enunció su “principio de equilibrio

móvil” con la siguiente declaración: “cada equilibrio entre dos condiciones diferentes de masa (sistemas) sea modificado por la disminución de la temperatura, a volumen constante, el sistema se desplaza hacia la formación del calor”. Este principio aplica a todos los casos posibles de equilibrio físico y químico. Realizando las sustituciones apropiadas para el caso de los equilibrios físicos (cambios de estado) la ecuación de Van’t Hoff se convierte en la ecuación de Clausius-Clapeyron. Van’t Hoff también demuestra que las conclusiones de Berthollet y Arrhenius fueron únicamente casos especiales de una formulación más general.

Conclusiones del documento:

Van’t Hoff definió la afinidad química como la máxima cantidad de trabajo, A , que podría obtenerse de un proceso químico menos la cantidad de trabajo requerido para mantener el sistema a un volumen constante. El símbolo A también se usa para representar la función de trabajo de Helmholtz. A menudo se cree que este símbolo fue introducido como una abreviación para la palabra Alemana sobre trabajo, *arbeit*. Parece que durante la última parte del siglo XIX este símbolo se utilizó libremente para representar ya sea trabajo, equivalente químico o afinidad. Van’t Hoff utilizó el símbolo A , pero lo llamo “el trabajo que puede hacerse por la fuerza de afinidad en una reacción química”. Van’t Hoff también reconoció que la segunda ley de la termodinámica impone varias restricciones sobre la naturaleza de los procesos por los cuales la cantidad máxima de trabajo puede ser obtenida, es decir, que el proceso debe llevarse de forma reversible e isotérmica; Van’t Hoff fue cuidadoso para considerar ambas restricciones particularmente la influencia de la temperatura. El menciona que la ley de acción de masa es válida únicamente en condiciones de temperatura constante, y que la influencia de la temperatura en la constante de equilibrio puede determinarse por las consideraciones involucradas en la segunda ley de la termodinámica. Considerando el equilibrio en un ciclo reversible de operaciones.

Bibliografía citada por el autor:

No se presenta una bibliografía según los parámetros actuales, sin embargo en algunos momentos hace referencia a trabajos de otros científicos.

Nombres y apellidos de quien realiza el RAE: Claudia Marcela Cruz

Fecha en que se elaboró este RAE: 11 de Diciembre de 2012