



Caracterización preliminar del sistema coloidal divulgado por los textos especializados y convergencia de las representaciones establecidas por los profesores en formación

Preliminary characterization of colloidal system disseminated by specialized texts, and convergence of the established representations by chemistry pre-service teachers

Caracterização preliminar do sistema coloidal divulgado pelos textos especializados e convergência das representações estabelecidas pelos professores em formação de Licenciatura em Química da *Universidad Pedagógica Nacional*

Resumen

El objetivo principal de la investigación es caracterizar el grado de convergencia entre el sistema coloidal desarrollado y divulgado en textos especializados y las representaciones (modelo) elaboradas por los profesores en formación de VIII semestre de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Para cumplir con los objetivos, se llevó a cabo una selección de textos especializados en la consolidación del sistema teórico de coloides, para lo cual se utilizó la técnica conocida como *muestras por conveniencia* y un enfoque cualitativo desde el método transaccional descriptivo. Los instrumentos con que se trabajaron fueron: matriz de evaluación textos especializados en coloides e instrumento dirigido a profesores en formación. Como resultado, se observó que algunos modos de representación como el matemático y el concreto no presentan niveles de convergencia entre lo analizado en los textos y lo indagado en los profesores en formación; así mismo, se realizó la aproximación histórica del concepto de coloide desde los documentos con validez histórico-epistemológica sobre la formación, uso y aplicaciones de los sistemas coloidales.

Palabras clave:

Sistemas coloidales, representaciones multimodales (modos), aproximación histórico-epistemológica.

Andrés Manolo Bernal Patiño*
Jennifer Carolina Laverde Perdomo**
Natalia Parra Estrada***
Quira Alejandra Sanabria Rojas****

* Universidad Pedagógica Nacional:
manolito84@hotmail.com

** Universidad Pedagógica Nacional:
carolinalaverdep@gmail.com

*** Universidad Pedagógica Nacional:
nparraestrada@gmail.com

**** Universidad Pedagógica Nacional:
qsanabria@gmail.com

Artículo recibido el 21-05-2011
y aprobado el 9-07-2013

Abstract

The main objective of this study is to characterize the degree of convergence between the developed colloidal system which has been disseminated in specialized texts and the representations (model) established by eight semester undergraduate students in a Chemistry Program at Universidad Pedagógica Nacional. To reach the objective, it was necessary to select specialized texts in the consolidation of the theoretical system of colloids by using the technique known as convenience samples and a qualitative approach. The instruments used were: Evaluation Matrix, specialized texts in colloids and a questionnaire applied to the undergraduate students. The results show that some modes of representation like the Concrete mode and the Mathematical mode don't have levels of convergence between the textbooks analysis and the report obtained by the undergraduate students. Finally, the researchers present the historical evolution of colloid concept, based on several documents that describe the use and applications of colloidal systems.

Resumo

O objetivo principal da pesquisa é caracterizar o grau de convergência entre o sistema coloidal desenvolvido e divulgado em textos especializados e as representações (modelo) elaboradas pelos professores em formação do oitavo semestre de Licenciatura em Química da *Universidad Pedagógica Nacional*. Para alcançar os objetivos, se realizou uma seleção de textos especializados na consolidação do sistema teórico de coloides, utilizando, para isso, a técnica conhecida como amostras por conveniência e um enfoque qualitativo a partir do método transaccional descritivo. Os instrumentos utilizados foram: Matriz de avaliação, textos especializados em coloides e um instrumento destinado a professores em formação. Como resultado, se observou que alguns modos de representação, como o Matemático e o Concreto, não apresentam níveis de convergência entre o analisado nos textos e o indagado aos professores em formação. Ainda assim, se realizou a aproximação histórica do conceito de coloide a partir dos documentos com validade histórica-epistemológica sobre a formação, uso e aplicações dos sistemas coloidais.

Keywords:

Colloidal systems, multimodal representations (modes), historical-epistemological approach.

Palavras-chave:

Sistemas coloidais, representações multimodais (modos), aproximação histórico-epistemológica.

Introducción

Este documento se enmarca en la línea de investigación Representaciones y Conceptos Científicos (1994) del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, en donde las ciencias en general y, por ende, la química tienen el soporte en los modelos definidos como representaciones que han sido construidas socialmente y que corresponden a la realidad que le ha sido asignada por la comunidad que estudia dichas entidades (Giere, 1992). El fin último de la representación científica es proponer una explicación a lo difícilmente percibido por los sentidos, como por ejemplo, la estructura y comportamiento de las sustancias. Para el caso en mención, se hace referencia a los sistemas coloidales y las diferentes explicaciones que se han elaborado para este referente teórico durante la segunda mitad del siglo XX que muestran el uso de modelos físicos, matemáticos, analógicos y simbólicos (Tomasi, 1999).

Actualmente no es desconocida la dificultad durante el proceso de enseñanza-aprendizaje en conceptos estructurantes de las ciencias, como los utilizados en el saber químico, debido a la poca difusión y escasa publicación de trabajos sobre la facilidad o dificultad de la enseñanza de los sistemas coloidales. Se eligió dicho tema para el desarrollo de esta investigación, en primer lugar porque en la actualidad las aplicaciones industriales y tecnológicas de estos sistemas son abundantes.

En segundo lugar porque al realizar un estudio aproximativo sobre el desarrollo industrial y tecnológico, los sistemas coloidales constituyen un campo de investigación amplio que provee nuevas aplicaciones en determinados materiales o sustancias como: pinturas, pigmentos, adhesivos, agentes espesantes, lubricantes, catalizadores, adsorbentes, emulsiones fotográficas, papel, tintas de impresión,

micro-emulsiones, cremas, ungüentos, aleaciones, cerámicas, cementos, fibras sintéticas, plásticos, alquitrán, espumas, pesticidas y cosméticos. En la industria alimentaria productos de consumo como la leche, y sus derivados además de gelatinas, pectinas, alginatos, proteínas, y materiales sintéticos, como las sales de ácidos poliacrílicos, son usados como agentes espesantes o aditivos alimentarios. Este hecho muestra, de manera muy general, el notable interés en el mercado comercial sobre las aplicaciones de los sistemas coloidales.

De otra parte, la química farmacéutica se ha encargado de buscar nuevos y más efectivos medicamentos aplicando las propiedades de los sistemas coloidales como por ejemplo: los estudios adelantados con el dióxido de silicio reactivo que se utiliza en tabletas como agente granulante y deslizante.

El panorama de aplicaciones industriales descrito anteriormente trae a discusión la consideración de la enseñanza y aprendizaje de los sistemas coloidales para los profesores de ciencias en formación, puesto que tener una aproximación a la constitución y aplicación sobre los sistemas coloidales favorecerá las explicaciones y relaciones en cuanto a ciencia, tecnología y sociedad, tan ampliamente reconocidas y difundidas en la actualidad.

Debido a que este documento proviene de una experiencia en investigación educativa, se tendrán en cuenta para el análisis y discusión dos escenarios: la explicación de coloide –entendida desde la didáctica de las ciencias– y la necesidad de enseñanza del sistema teórico sobre coloides que tiene de por sí conceptos particulares.

La didáctica como ciencia consolidada

La didáctica de las ciencias como disciplina propone la modelación como un campo de

estudio para las ciencias, donde un modelo es entendido como una simplificación y, por tanto, representación idealizada de los sistemas que se supone existen en la naturaleza (Del Re, 2000). Dichas representaciones de las entidades son medios de validación de las proposiciones que se enuncian para explicar los sistemas objeto de estudio. Si bien se reconoce que existe actualmente polémica frente a cuál sería el término o grupo de ellos más significativo para abordar los medios de representación científica, se aclara que el término modelo científico se asume como representación sencilla, limitada y abstracta, que tiene consistencia en sí mismo y, por tanto, soporta modificaciones sin perder validez (Sanabria, 2007).

Estas categorías epistemológicas son susceptibles de ser categorizadas por medio de criterios que permite mostrar cómo operan en el proceso de enseñanza aprendizaje. De esta manera, se convierten en un mecanismo de mediación poderoso del aula de ciencias, para realizar la transición entre modelos de sentido común a modelos analógicos en primera instancia y posteriormente si es interés del individuo, a modelos científicos (Sanabria, 2007).

Existen modelos científicos que permiten establecer relaciones entre los fenómenos químicos concretos y los principios de la química (Izquierdo y Merino, 2009). Se utiliza el término *modelo* para hacer referencia a todo aquello que permite establecer relaciones entre los fenómenos químicos concretos y los principios de la química. En la tabla 1 se describen las representaciones multimodales que, a su vez, se caracterizan por modos, lo que facilitará una descripción del proceso de seguimiento de una transición de representaciones de origen común a representaciones científicas dentro de un proceso de enseñanza; dichos modelos ayudan a representar con diversos lenguajes y representaciones multimodales, los objetos de estudio que permiten avanzar en el proceso de modelización en el aula.

Tabla 1. Tipología de modos

Representaciones multimodales	
Modo concreto	Consiste en el uso de los materiales representativos del modelo.
Modo verbal	Consiste en el uso de metáforas y analogías.
Modo matemático	Consiste en el uso de expresiones matemáticas.
Modo visual	Consiste en la construcción de gráficos y diagramas.
Modo simbólico	Incluye modos visuales verbales y matemáticos.
Modo gestual	En las acciones.

Fuente: Izquierdo (2009).

Para el proceso investigativo se adoptó la categorización anterior, por proporcionar elementos descriptivos coherentes con los modelos desarrollados en los libros de divulgación científica, y por los estudiantes que formaron parte del ejercicio alrededor de los sistemas coloidales.

En cuanto a la necesidad de enseñanza de los sistemas coloidales y las implicaciones didácticas de aquella, es posible afirmar que no es un objeto de

estudio de prioridad en la actualidad, debido a que no se encontraron dentro de los medios de divulgación para ciencias consultados, experiencias sobre su enseñanza; excepto las afirmaciones de Vold (1949), quien sugiere que la importancia de la enseñanza del sistema coloidal se centra en los numerosos aportes a la industria y a los procesos biológicos, por la complejidad conceptual del mismo. Propone como estrategia de enseñanza el desarrollo de un proyecto en el que los estudiantes, a partir de los resultados de su indagación, comprendan todas las características y fenómenos en los que participan los sistemas coloidales; para después de reconocer las propiedades, puedan tomar un punto de vista crítico frente a las leyes que gobiernan el comportamiento de los sistemas coloidales.

Es importante resaltar que entre los contenidos incluidos en la enseñanza del tema coloide se destacan subtemas o componentes como: soluciones, sistemas coloidales, interfaces, fluidos, fases, dispersiones y adsorción; los cuales, a nivel universitario, suelen ser tratados dentro de los cursos de teorías químicas y fisicoquímicas.

Adicionalmente, el desarrollo industrial que implica el uso de coloides, representa la aplicación de saberes de otros campos del conocimiento que, seguramente, no han puesto de manifiesto la necesidad de un estudio de manera independiente.

De la enunciación sobre coloides, se da cuenta en textos de amplia difusión como Brown, LeMay, Bursten y Burdge (2004), quienes establecen los coloides como suspensiones coloidales, tipos de mezcla donde la partícula que se dispersa es más grande que la del medio dispersante, pero no tan grande como para separarse por medio de la gravedad. Alrededor de esta explicación se puede afirmar que su carácter técnico la hace de difícil comprensión,

máxime si se consideran las pocas categorías que identifiquen y establezcan claramente lo que son los sistemas coloidales en la actualidad.

Algunos autores como Levine (2004) han propuesto que los sistemas coloidales se caracterizan por tener un tamaño de partícula grande, al menos en uno de sus componentes, medio dispersante y medio disperso; cualquiera de estos se puede encontrar en los estados de la materia. Como se lee, el panorama es complejo, pues la definición es técnica debido al contexto enmarcado en la enseñanza de la física y, a su vez, el grado de abstracción del concepto no hace sencilla la comprensión para el lector.

Un último caso se puede observar en Chang (2002), quien establece que la suspensión coloidal, o coloide, se considera un estado intermedio entre una mezcla homogénea y otra heterogénea, conformada por una sustancia dispersa entre otra conocida como dispersante. La ambigüedad de esta definición no permite determinar qué es un coloide y confunde respecto al concepto de mezcla. También se ha afirmado que los coloides son mezclas o materiales con diferentes proporciones en tamaño, longitud y espesor, y a su vez depende de la cantidad de dispersante que se adicione al medio disperso (Petrucci, Harwood y Herring, 2003). Se reitera lo complicado que puede ser tratar de estructurar una definición del concepto desarrollado en el presente trabajo, pues el autor del libro introduce el término material para definir el coloide, lo que genera confusión en cuanto a si es una fase intermedia, un material o una mezcla.

Estos argumentos, si bien no son la totalidad de las publicaciones, muestran el panorama general de la enseñanza de la química general acerca de los sistemas coloidales.

En concordancia con lo mencionado, y de acuerdo con las dificultades de aproximación teórica que han evidenciado estudiantes de Li-

cenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional sobre el tema que nos convoca, se está de acuerdo con la afirmación de Vold (1949), al enunciar como dificultad para el entendimiento del sistema teórico coloidal el alto nivel de abstracción que caracteriza a las representaciones científicas desarrolladas en los últimos cincuenta años.

En palabras de Chevallard (1991), una inadecuada interpretación del sistema de representación científico provoca explicaciones que producen más confusión que claridad. Si bien se enuncia la transposición didáctica, no se hará una discusión al respecto, puesto que una ruta que disminuye las explicaciones alternativas dentro de procesos de aprendizaje, es la reconstrucción histórica que el profesional de educación pueda hacer del sistema teórico que pretende hacer objeto de aprendizaje. La posibilidad de guiar o acompañar los procesos de aprendizaje de la química por parte de los docentes, implica que estos mantengan un compromiso no solo con aspectos asociados a la transferencia de saberes o divulgación de información reciente, también hace referencia al dominio y experticia sobre el desarrollo y consolidación de un sistema teórico.

A continuación se presenta el resultado del ejercicio de búsqueda y vinculación de los textos de divulgación científica con validez histórica, epistemológica y química que han sido usados como medios de difusión por los especialistas, y que permiten evidenciar la complejidad que en estos momentos ha alcanzado un concepto químico como coloide.

Aproximación histórica del concepto de coloide

Esta aproximación histórica se realiza a partir de los presupuestos de Lakatos (1983) por permitir explicar la ruta sobre la que se desarrolla el sistema teórico de interés. Lo presentado por este autor abarca aproximadamente 166 años, comenzando con los primeros documentos de los que se tiene referencia, se enuncian aquellos que a criterio de los autores han aportado al robustecimiento del sistema teórico de los coloides como una sucesión de teorías relacionadas entre sí, tal como lo establece Lakatos: como un programa de investigación.

Por su parte, Joseph Maquer escribió, en 1776, por primera vez sobre los soles y estudió las partículas de oro suspendidas en un solo fluido. Este tipo de partículas ha sido estudiado desde la Edad Media por los alquimistas y ampliamente usado en la medicina (Ede, 2007). Probablemente, la razón del término *sol* se debe al color del sistema coloidal y la comparación de los alquimistas con el sistema solar (Ede, 2007). Luego, Robert Brown con su explicación matemática del *movimiento browniano* en 1827, sugirió cómo una partícula suficientemente pequeña como un grano de polen, inmersa en un líquido, presenta un movimiento aleatorio. El movimiento browniano pone de manifiesto las fluctuaciones y estadísticas que ocurren en un sistema en equilibrio térmico, según lo que estableció Wolfgang Oswald en 1927.

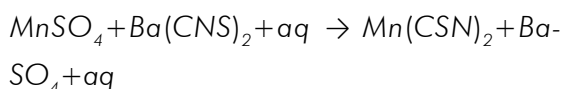
Durante los siguientes noventa años, con los aportes de Ferdinand Moritz Ascherson, quien investigó la relación existente entre la estructura de la célula y sus lípidos, y la explicación que elaboró a partir del trabajo hecho con anterioridad sobre los sistemas coloidales puesto que el movimiento del soluto cambiaba las características observables, enunció el fenómeno como *coagulación*. Su teoría se conoció como la *coagulación de la albúmina*, basado en la exposición de la albúmina de huevo a la grasa y la formación de una membrana conocida como *haptogenmembrane* (Benn, 1925).

Francesco Selmi, con la preparación de coloides en 1845, realizó una identificación formal de la existencia de los coloides al preparar soluciones de azufre, azul de Prusia y caseína, e identificar la apariencia al microscopio de pequeños glóbulos esféricos dispersos. Los aportes de Selmi fueron considerados el comienzo de la ciencia coloidal, al ser el primer autor que publicó y patentó sus descubrimientos frente al fenómeno, aunque es de las primeras publicaciones que hacen alusión a los coloides, como los autores ya mencionados, él seguramente no consideró que los coloides se distanciaban en su comportamiento de las disoluciones en general, lo que probablemente continuó la idea de no ser un comportamiento diferente a las mezclas homogéneas (Hauser, 1939).

Michel Faraday y el estudio de las propiedades ópticas en 1857, Thomas Graham y su explicación sobre difusión en 1864, John Tyndall y su descubrimiento sobre dispersión de la luz en 1869, y el aporte de Richard Zsigmondy 1917 con la construcción del ultramicroscopio constituyen el núcleo central del programa de investigación de los sistemas coloidales, como un conjunto de reglas metodológicas, heurístico-positivas unas y heurístico-negativas otras

pertenecientes al programa de investigación que se desarrollaba en esta época.

En los siguientes 25 años, Von Weimarn, a partir de la formulación de la Ley de precipitación, luego del estudio de la siguiente reacción en la que se representa la obtención de una gelatina y a partir de reactivos comunes, llega a la conclusión de que usando concentraciones suficientemente altas, el $BaSO_4$ se precipitaba en forma de gelatina, mientras unos pequeños cristales formaban una suspensión. Esta observación llevó a varios experimentos similares que concluyeron con la formulación de la ley de precipitación de Von Weimarn en 1925, definiéndola como la producción de finos cristales, jaleas y suspensiones dependiendo de la cantidad de reactivo empleado para su producción.



Simultáneamente, Wolfgang Oswald, en 1927, realiza la primera clasificación racional de coloides a partir del tamaño de la partícula estos generan (tabla 2). Esto fue posible por la invención de la ultracentrífuga de Svedberg, la cual puede determinar pesos moleculares y tamaños de las partículas en la región de 103 y 107 μm .

Tabla 2. Clasificación general de las dispersiones coloidales según Wolfgang Oswald en 1927

Medio	Partículas dispersas	Nombre común del sistema
Gaseoso	Líquido	Niebla, nubes, aerosol.
Gaseoso	Sólido	Polvo, humo, aerosol.
Líquido	Gaseoso	Dispersiones de gas, espumas.
Líquido	Líquido	Emulsiones.
Líquido	Sólido	Soles, soluciones coloidales.
Sólido	Líquido	Emulsiones sólidas, algunos geles.
Sólido	Sólido	Aleaciones, lentes.

Realmente algunos de los programas de investigación más importantes de la historia de la ciencia estaban implícitos en programas más antiguos con relación a los cuales eran claramente inconsistentes (Lakatos, 1983). Por ejemplo, la teoría de los sistemas coloidales estaba incrustada en la química de soluciones, ya que se abordaba desde las disoluciones; con el paso de los años, los coloides se fueron distanciando de la química de disoluciones, puesto que las explicaciones existentes solo daban cuenta de algunas generalidades sobre el origen de la disolución.

Como se pudo determinar en esta primera aproximación, el desarrollo teórico de los coloides se ha vinculado a otros campos del saber diferentes a la enseñanza de las ciencias. Conforme crece el joven programa, termina la coexistencia pacífica, la simbiosis se hace competitiva y los defensores del nuevo programa tratan de sustituir completamente al antiguo programa de investigación científico (Lakatos, 1983). En lo que respecta al tema de interés de este artículo, los sistemas coloidales pertenecen a una nueva rama de estudio especializada en cada uno de sus comportamientos, sin tratar de sustituir el programa antiguo, pero separándose notablemente de él, debido a que se consolida el núcleo firme de un nuevo programa de investigación científica esta vez solo para el estudio de los coloides como disciplina autónoma.

A partir de la aproximación histórica presentada en relación con el concepto de *coloide*, se identifican ocho planteamientos que dan cuenta de la reconstrucción histórica de este concepto:

- Planteamientos de Joseph Maqguer en 1776; Ferdinand Moritz Ascheron, Francesco Selmi en 1845, como inicio de la ciencia coloidal.
- Estudios de Robert Brown en 1827, referentes al movimiento de las partículas en la fase dispersa (movimiento browniano).
- El uso de soluciones coloidales de oro.
- Según el modelo de Graham (1861), las sustancias pueden ser clasificadas según su difusión.
- Las partículas interceptan el haz de luz reflejado en la solución coloidal. John Tyndall en 1869.
- Se reconoce la importancia del ultramicroscopio inventado por Richard Zsigmondy (1917) como herramienta del desarrollo para la ciencia coloidal.
- Explicación de Wolfgang Oswald (1927) acerca del tamaño de partícula del coloide y su definición como sistemas dispersos.
- Primera clasificación de coloides por tamaño de partícula y clase de sistema.

Con estos criterios se pretendió indagar si los textos presentaban todos o algunos de los hechos históricos en su presentación de los sistemas coloidales.

Metodología

De acuerdo con el marco referencial y las intencionalidades que persiguió la presente investigación, se desarrolló el enfoque cualitativo desde el método transaccional descriptivo (Sampieri, 2010). La investigación se llevó a cabo en tres fases: selección de la población y la muestra, recolección de la información y análisis de información.

Se llevó a cabo una selección de textos especializados en la consolidación del sistema teórico de coloides utilizando para ello la técnica conocida como *muestras por conveniencia* (Sampieri, 2010), dicha decisión se sustentó en los siguientes aspectos: frecuencia de citas en

publicaciones como *journals*; bases de datos; cursos abiertos y obligatorios de prestigiosas universidades nacionales y extranjeras; facilidad de acceso por lo menos a universidades que cuentan con programas de investigación asociados a coloides; divulgación de aspectos históricos o historiográficos sobre la temática y que fueran conocidos por profesores que dirigen o han dirigido el espacio académico “Sistemas fisicoquímicos I y II” en la Universidad Pedagógica Nacional. Producto de dicha evaluación se estableció la preselección de los textos con los cuales contó la investigación para determinar la representación de modelos existentes de los sistemas coloidales. La tabla 3 muestra los libros seleccionados de acuerdo con estos criterios.

Tabla 3. Textos seleccionados por el grupo de investigación

Código	Título	Año/Edición	Autor(es)	Ciudad/Editorial
1	Introduction to Interfaces & Colloids The Bridge a Nanoscience.	2010 (Vol. 1, pp. 1-103).	Berg, J. C	Singapur: World Scientific Publishing
2	A short Textbook of Colloid Chemistry	1962 (2nd ed., pp. 1-17).	Jirgensons, B., y Straumanis, M.	NuevaYork: The Macmillan Company
3	Colloids and Interfaces with Surfaces and Polymers - An Introduction.	2007 (Vol. 1, pp. 1-269)	Goodwin, J. W.	John Wiley & Sons, Ltd
4	Introduction to Colloid Chemistry	1959 (Vol. 1, pp. 1-33).	Mysels, K. J.	NuevaYork: Interscience Publishers.

Fuente: Bernal, Laverde y Parra (2010).

Posteriormente se diseñó un instrumento basado en Cuéllar, Quintanilla y Pérez (2005), quienes indagaron por los modos matemáticos, visuales, simbólicos, concretos y verbales, además en el mismo instrumento se preguntó por la historia de los sistemas coloidales. Para dicha indagación se realizó una reconstrucción histórica de la evolución de los sistemas coloidales, para lo cual se utilizaron los textos originales (Ede, 2007; Hauser, 1939; Benn, 1925; Faraday, 1857; Graham, 1864; Zsigmondy, 1917; Ostwald, 1927). La intencionalidad de esta matriz que consta de cuarenta criterios fue proporcionar las representaciones multimodales, los elementos históricos y las aplicaciones tecnológicas de los cuatro textos

seleccionados. La matriz está dividida en siete categorías que abarcan los diferentes modos (matemático, visual, simbólico, verbal, concreto), historia y aplicaciones tecnológicas de los sistemas coloidales. De acuerdo con Cuéllar, Pérez y Quintanilla (2005), la matriz tuvo en cuenta las valoraciones: menciona satisfactoriamente (S), menciona (M) y no menciona (N). En la fase de recolección de la información se indagó a los profesores en formación de “Sistemas fisicoquímicos II” de la Universidad Pedagógica Nacional en cuanto a las representaciones multimodales planteadas por Izquierdo (2009), acerca de los sistemas coloidales. Para dicho propósito se diseñó un instrumento que estuvo conformado por seis preguntas y

cada una de ellas pretendía corresponder a una de las representaciones multimodales. El instrumento se aplicó a 23 profesores en formación y sus resultados fueron de uso exclusivo para la presente investigación.

En la fase de análisis de información se compararon las representaciones encontradas y validadas en los textos, según la reconstrucción histórica preliminar, con las representaciones elaboradas por los profesores en formación de licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Discusión de resultados

Análisis de textos especializados

Un análisis preliminar permite establecer la fortaleza encontrada por cada texto analizado en cuanto a cada modo de representación, reconstrucción histórica del concepto de coloide y aplicaciones tecnológicas. Para el modo matemático se puede establecer el texto 4 como el que mejor lo representa, para el modo visual el texto 1 es el que mejor lo representa, así como también es el que mejor representa los modos simbólico y verbal. En cuanto al modo concreto, se podría decir que todos textos lo representan de forma similar. Con respecto a las aplicaciones tecnológicas, el texto 1 es el que les da mayor énfasis.

Así mismo se procedió a analizar la reconstrucción histórica hecha en los textos en que se utiliza el término modelo teórico, para hacer referencia a todo aquello que permite establecer relaciones entre los fenómenos químicos concretos y los principios de la química se encontró que el texto 2 es el que mejor presenta una reconstrucción histórica del concepto de coloide.

Tabla 4. Textos seleccionados por el grupo de investigación

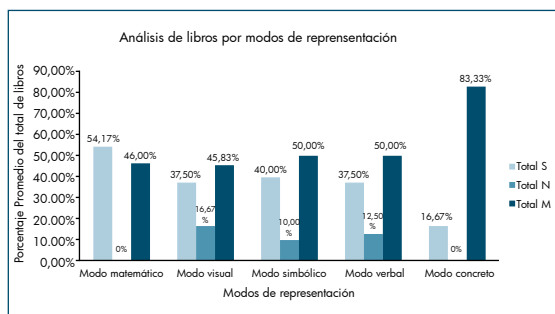
Código	Título
1	Introduction to Interfaces & Colloids The Bridge a Nanoscience.
2	A short Textbook of Colloid Chemistry
3	Colloids and Interfaces with Surfaces and Polymers - An Introduction.
4	Introduction to Colloid Chemistry

Fuente: Bernal, Laverde y Parra (2010).

En la figura 1 se observa el porcentaje de los modos de representación: matemático, visual, simbólico, verbal y concreto en relación con el porcentaje promedio del total de los libros analizados en el estudio. Se deduce que los promedios para las valoraciones "menciona satisfactoriamente (S)", "menciona (M)" y "no menciona (N)" son respectivamente 37,17%, 55,00% y 7,83%.

La suman de los porcentajes de las dos primeras valoraciones constituye 92,17% de los textos analizados; en este caso 3,69 mencionan o hacen mención a los diferentes criterios de representación de los diversos modos.

Figura 1. Análisis de libros por modos de representación.

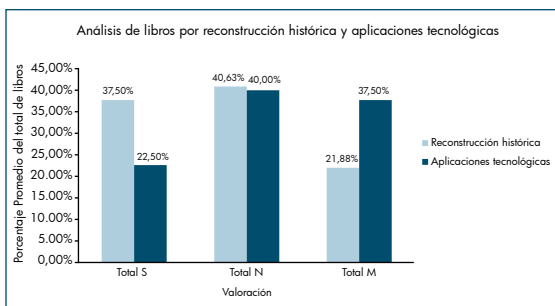


Fuente: Bernal, Laverde y Parra (2010).

Reconstrucción histórica del concepto de *coloide* y aplicaciones industriales

A continuación se presentan los resultados y el respectivo análisis obtenido de la aplicación de la matriz de evaluación de los textos especializados en coloides, por criterio, para la reconstrucción histórica del concepto de coloide y las aplicaciones tecnológicas.

Figura 2. Análisis de libros por reconstrucción histórica y aplicaciones tecnológicas.



Fuente: Bernal, Laverde y Parra (2010).

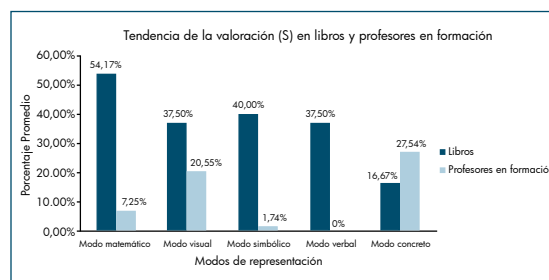
En la figura 2 se puede observar que un 40,63% de los textos no hacen mención a aplicaciones tecnológicas ni tienen en cuenta la reconstrucción histórica del concepto de los sistemas coloidales. También se puede deducir que por lo menos 0,88 y 1,52 textos hacen un recorrido histórico por el concepto y mencionan aplicaciones tecnológicas de los

sistemas coloidales respectivamente. Para la reconstrucción histórica se tuvieron en cuenta los ocho criterios nombrados en la aproximación histórica del concepto de coloide.

Análisis de profesores en formación

La figura 3 indica que salvo el modo concreto, en donde la diferencia porcentual es de tan solo -10,87% entre los resultados obtenidos para los textos y profesores en formación, no existe ningún tipo de correspondencia; en el caso del modo matemático se presenta la mayor diferencia porcentual con un valor de 46,92%; para los modos visual, simbólico y verbal la diferencia es de 16,95%, 38,26% y 37,50% respectivamente.

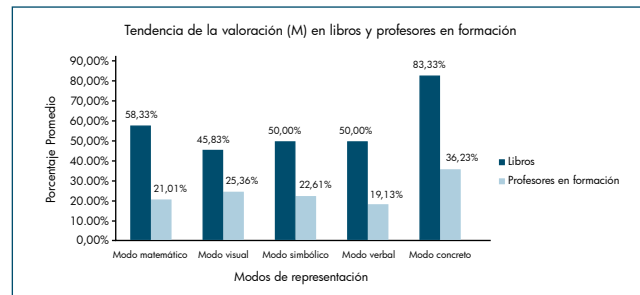
Figura 3. Tendencias de la valoración "S" en textos y profesores en formación.



Fuente: Bernal, Laverde y Parra(2010).

La figura 4 indica unas diferencias porcentuales más equilibradas en los diferentes modos. A diferencia de la valoración "S", en la que el modo concreto presentaba la menor diferencia porcentual, la valoración "M" presenta la mayor diferencia porcentual con un valor de 47,10%. La menor diferencia porcentual la presenta el modo visual con un valor de 20,47%, para el modo matemático, simbólico y verbal las diferencias son: 57,32%; 27,39% y 30,87% respectivamente.

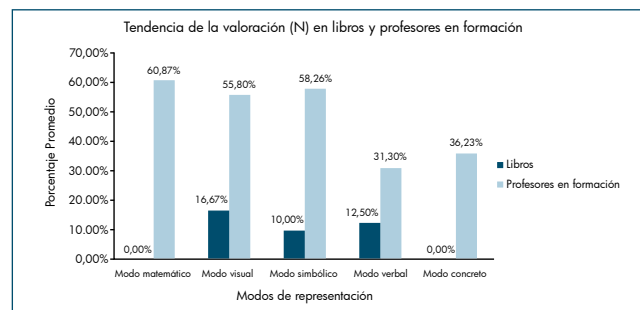
Figura 4. Tendencias de la valoración “M” en libros y profesores en formación.



Fuente: Bernal, Laverde y Parra(2010).

En la figura 5 se puede observar las mayores diferencias porcentuales de los tres modos¹. De nuevo, el modo con la mayor diferencia es el matemático con un valor de 60,87%, el modo de menor diferencia es el verbal con 18,80%. Las diferencias para los modos: simbólico, visual y concreto son 48,26%; 39,13% y 36,23%.

Figura 5. Tendencia de la valoración “N” en libros y profesores en formación.



Fuente: Bernal, Laverde y Parra (2010).

Del análisis anterior se puede desprender el nivel de comparación entre el concepto de coloides desarrollado por los profesores en formación y el concepto divulgado en los textos admitidos como especializados mediante el análisis de las diferencias. Para establecer dicho nivel es necesario tener en cuenta los cinco modos de representación por los cuales se indagó. Por ejemplo, para el modo matemático en la valoración “S” corresponde a la diferencia entre el promedio encontrado para los libros y el correspondiente para los estudiantes, es decir $54,17\% - 7,25\% = 46,92\%$). Para resumir, en primer lugar, los modos matemático, simbólico y verbal presentan la mayor diferencia porcentual con 46,92%, 38,26% y 37,5%, respectivamente, lo cual indica el menor grado de correspondencia entre las representaciones de los profesores en formación y los encontrados en los textos. En segundo lugar se encontró que los modos visual y concreto presentan una diferencia porcentual de 7,26% y -10,87%, respectivamente, es decir, un nivel bastante alto de correspondencia entre profesores en

¹ Para esta valoración los porcentajes por modo se leen de forma contraria a las demás valoraciones, debido a que es una valoración negativa y lo ideal sería que el porcentaje fuera cero.

formación y textos alrededor de los sistemas coloidales, teniendo en cuenta que en el modo concreto la diferencia se desplazó hacia el estudiante, lo cual indica que los estudiantes apropian de mejor forma estos dos tipos de representación modal.

Conclusiones

Es importante considerar que establecer un grado de convergencia entre el concepto de sistemas coloidales desarrollado por los profesores en formación y el expresado en los libros admitidos como especializados sería posible si se contara con estudios anteriores que arrojaran algún resultado que pudiera servir de base al presente trabajo; como no existe, se abordó la pregunta de investigación estableciendo como referencia el resultado de la aplicación del instrumento a los libros de texto admitidos como especializados, de esta forma se logró realizar un diferencial porcentual con respecto a lo encontrado en los profesores en formación después de aplicar los instrumentos.

Con respecto a los libros de texto utilizados, si bien es cierto que existe una amplia oferta de estos y la bibliografía en *journals* y *magazines* es abundante, en Colombia este tipo de información es muy restringida y concretamente se puede limitar a universidades con líneas o grupos de investigación en coloides; más aún muchos de esos *journals* no son de libre acceso, situación que pone de manifiesto la necesidad y las limitaciones que tiene el docente en formación en cuanto al acceso a la información, e impide necesariamente el avance del sistema teórico en lo referente a los sistemas coloidales. Es de resaltar que producto del análisis hecho a los criterios establecidos para las aplicaciones tecnológicas se encontró que las más nombradas son aquellas que usan

los sistemas coloidales en industrias como la cosmética, agroquímica y farmacéutica; adicionalmente en un 75% de los textos analizados se halló un amplio análisis de la química de superficies como propiedad de los sistemas coloidales, hecho que implica que se ha abordado más como un sistema teórico subyacente en la fisicoquímica que en la química misma.

Por otra parte, se encontró una tendencia en los profesores en formación a establecer modos de representación concretos, lo cual converge notoriamente en la dificultad para establecer modos de representación matemáticos, comportamiento que se podría explicar debido a la presencia de reacciones químicas que el docente en formación reconoce como parte del lenguaje propio de la química. Esto difiere con lo poco explícito del modo matemático, donde más que resolver o plantear una ecuación directamente, el docente en formación tiene que partir de una situación abstracta y debe llegar a establecer algún tipo de representación matemática.

Es de destacar que en el análisis de la reconstrucción histórica, llevado a cabo en los textos aceptados como especializados, se encontró que los criterios con más recurrencia fueron los relacionados con el movimiento browniano y con la aparición del primer ultramicroscopio inventado por Richard Zsigmondy en 1917 como herramienta del desarrollo para la ciencia coloidal; por consiguiente, al comparar los resultados obtenidos de los profesores en formación en cuanto al modo matemático y teniendo en cuenta que se incluyó el movimiento browniano dentro de dicho modo, los profesores en formación obtendrían una mejor comprensión con respecto a este modo, si el estudio del sistema teórico se realizara desde una perspectiva histórico-epistemológica.

Referencias Bibliográficas

- Aduríz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1(3), 130-140.
- Benn, E. (1925). *The Foundations of Colloid Chemistry*. London: Emil Hatschek.
- Berg, J. (2010). *An Introduction to Interfaces y Colloids The Bridge a Nanoscience*, (Vol. 1). Singapur: World Scientific Publishing.
- Bernal, A., Laverde, J. y Parra, N. (2010). *Caracterización preliminar del sistema coloidal divulgado por los textos especializados y convergencia de las representaciones establecidas por los profesores en formación de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional*. Tesis de maestría inédita. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Brown, T., LeMay, E., Bursten, B. y Burdge, J. (2004). *Química: La ciencia central*. México: Pearson.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposición didáctica*. Argentina: Aique.
- Chang, R. (2002). *Química general*. México: McGraw Hill.
- Cuéllar, L., Quintanilla, M. y Pérez, R. (2005). La propuesta de Ernest Rutherford en los libros de texto en Colombia. Un análisis desde la historia de las ciencias y la visión de transposición didáctica en ellos. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, 1-6.
- Del Re, G. (2000). Models and analogies in science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 6 (1), 5-15.
- Ede, A. (2007). *The rise and decline of colloid science in North America*. England: Ashgate Publishing Limited.
- Faraday, M. (1857). On the Experimental Relation of Gold (and other metals) to light. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, 147 (1857), 145-181.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia un acercamiento cognoscitivo*, (Vol. 1). México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Goodwin, J. (2009). The Nature of Colloids. En John Wiley y Sons (Eds), *Colloids and Interfaces with Surfactants and Polymers* (pp.1-43). United Kingdom: John Wiley y sons, Ltd.
- Graham, T. (1864). On the Properties of Silicic Acid and Other Analogous Colloidal Substances. *Proceedings of the Royal Society of London*, 13, 335-341.
- Hauser, E. (1939). *Colloidal Phenomena*. NuevaYork: McGraw-Hill.
- Izquierdo, M. y Merino, C. (2009). Los modelos en la enseñanza de la química. *Enseñanza de las Ciencias*, número extraordinario, 3489-3491.

- Jirgensons, B. y Straumanis, M. E. (1962). *A short Textbook of Colloid Chemistry*, (2d. ed). Nueva York: The MacMillan Company.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza.
- Levine, I. (2001). *Química cuántica*. Madrid: Pearson Education.
- Mysels, K. J. (1959). *Introduction to Colloid Chemistry*, (Vol.1). Nueva York: Interscience Publishers.
- Ostwald, W. (1927). *A Handbook of Colloid Chemistry* (second ed.). Philadelphia: Emil Hatschek.
- Petrucci, R., Harwood, W. y Herring, F. (2003). *Química General. Reactividad química, compuestos orgánicos e inorgánicos*. México: Pearson.-
- Sampieri, R. (2010). *Metodología de la investigación*. Perú: McGraw-Hill.
- Sanabria, Q. (2007). *Modelos sobre diluciones electrolíticas. Implicaciones en la formación inicial de profesores en Química*. Tesis de maestría inédita, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Tomasi, J. (1999). Towards' Chemical Congruence of the models in theoretical chemistry. *International Journal for the Philosophy Chemistry* 5 (2), 79-115.
- Vold, R. (1949). Attitudes in the teaching of Colloid Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 26, 1-18.
- Zsigmondy, R. (1917). *The Chemistry of Colloids*, (1ra. ed). Nueva York: John Wiley and Sons Inc.