

Del modelo cinético molecular de los gases en la formación inicial de profesores de química

Rómulo Gallego Badillo¹ - Adriana P. Gallego Torres² - Royman Pérez Miranda¹

¹ Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, D.C. Colombia

² Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, D. C. Colombia.

Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos

rgallego@pedagogica.edu.co - apgallegot@udistrital.edu.co

royman@pedagogica.edu.co

Este artículo recoge los resultados de una investigación realizada en el campo de la didáctica de la modelación, con profesores de química en formación inicial (estudiantes universitarios), que cursaban en el sexto semestre del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional, en el espacio académico Sistemas Físicoquímicos I. El trabajo se centró en la reconstrucción en el aula del modelo cinético molecular de los gases ideales (MCMG) y de su corrección por la propuesta de van der Waals. Las conclusiones indican que esa reconstrucción no se logró satisfactoriamente.

Palabras clave: Formación de profesores, modelo científico, educación en ciencias, filosofía de las ciencias, currículo.

This article comprises the results of a research study carried out in the field of Modelling Didactics by pre-service chemistry teachers of sixth semester at Universidad Pedagógica Nacional. The project was guided under the supervision by the teacher in charge of Physical and chemical systems, and it was mainly focused on the reconstruction of molecular kinetic model of ideal gases and the correction made by van der Waals. The results show that the objective of that reconstruction was not achieved at all.

Keywords: Teachers' education, scientific model, science education, science philosophy, curriculum.

Introducción

Los estudios recientes sobre filosofía e historia de las ciencias han puesto de manifiesto el papel fundamental que ejerce la formulación de modelos en la actividad científica (Giere, 1990). En el caso de la química, esta categoría filosófica está siendo empleada para una comprensión diferente del desarrollo histórico de esta ciencia (Tomasi, 1999; Caldin, 2002). Las reflexiones filosóficas en química son relativamente recientes (Scerri, 1997; 2001; 2003). Dentro de estas reflexiones se inscriben nuevas versiones de la historia de la química (Jensen, 1998a; 1998b; 1998c), que se apartan de las realizadas en años anteriores y que se utilizaron en esta investigación (Laidler, 1995; Ihde, 1984). Estas nuevas versiones históricas están dando origen a un replantea-

miento de la educación en química (Nelson, 2002), en la que la categoría filosófica de modelo parece no desempeñar un papel central. Desde una didáctica de la modelación en el caso de la química, las críticas en torno al dominio de la visión de Giere son sustantivas (Greca y Dos Santos, 2005). En este sentido, nuestro grupo de investigación ha sometido a la comunidad de especialistas una propuesta acerca del desarrollo de la ciencia química (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Gallego Torres y Torres de Gallego, 2007).

Parece haber consenso en torno a la idea de que todo modelo es una representación abstracta del conjunto de interacciones que los científicos delimitan como objeto de conocimiento. Existen discusiones en torno a la idea de que la estructura elaborada para cada modelo científico es diferente de las descrip-

ciones de los hechos o fenómenos que ese modelo enlaza inferencialmente (Hanson, 1958). Los expertos los clasifican en icónicos o gráficos, analógicos y simbólicos (Tomasi, 1999). Los modelos no constituyen verdades absolutas, ya que de acuerdo con las contrastaciones empíricas son conservados, reformulados o sustituidos. Los científicos elaboran modelos diferentes para explicar un mismo conjunto de fenómenos y muchos de ellos son modelos de modelos, por lo que es factible establecer jerarquías internas en un mismo contexto explicativo (Caldin, 2002).

A efectos de esta investigación, se acordó que cualquier modelo científico está conformado por una estructura conceptual y metodológica, de carácter hipotético deductivo. A partir de esas estructuras se formulan predicciones de hechos nuevos. Este proceso se realiza asignándole valores iniciales a las funciones o variables del modelo. El efecto esperado ha de proponer cuál será el estado final del sistema después de la manipulación experimental de esas variables. Si las contrastaciones de los resultados son positivas, el modelo se conservará. Si una de ellas es negativa, exigirá una modificación o cambio en la estructura conceptual y metodológica. Cuando el modelo es de un sistema lineal el proceso de contrastación sigue la relación proporcional de causa-efecto. Si lo es de un sistema no lineal y complejo, es posible que dada una causa, el efecto esperado se obtenga, como también que resulte un resultado no sospechado.

El análisis del MCMG permite afirmar que es hipotético-deductivo y que su estructura conceptual y metodológica describe y explica un sistema que es lineal. El MCMG clásico es, además, icónico-analógico, en razón de que en él se representan las moléculas como esferas duras, que chocan de forma elástica entre sí y con las paredes del recipiente que las contienen, a semejanza de como lo hacen las bolas en la mesa de billar. Este modelo fue modificado por van der Waals, debido a que las predicciones del comportamiento a altas presiones y diferentes temperaturas, no se correspondían con los resultados experimentales obtenidos, lo que obligó a la definición del comportamiento ideal y del comportamiento

real, como dos modelos científicos límites. Otros modelos se formularán para dar cuenta del comportamiento de los gases a esas condiciones extremas de presión.

Se recuerda que en la termodinámica clásica todo sistema es definido analíticamente por las variables o parámetros termodinámicos, así, $S = S(P, V, T, n)$. Ese sistema así definido, se concreta tecnológicamente mediante diferentes constructos instrumentales. La construcción del MCMG en esta investigación, como la modificación que de él hizo van der Waals, fue una oportunidad para que los profesores de química en formación inicial, analizaran la idea de que los modelos científicos no son verdades absolutas sino representaciones idealizadas de cada objeto de conocimiento y no de la realidad natural (Lombardi, 1998).

La revisión histórica condujo a que los estudiantes estudiaran el hecho de que el primer MCMG fue propuesto por Daniel Bernouilli (1700 – 1782), en 1738, como un capítulo de su libro *Hydrodynamica*, para explicar la ley de Robert Boyle (1627 – 1691) de la elasticidad de los gases, ley que Boyle enunció paralelamente con Edme Mariotte (1620 – 1684). Bernouilli adujo que los “fluidos elásticos” están conformados por diminutos corpúsculos que se desplazan de un lado a otro con un movimiento muy rápido. Consideró que esa velocidad no variaba cuando se disminuía el volumen a la mitad de su valor inicial. Postuló entonces que el número de colisiones de esos corpúsculos contra las paredes del recipiente se duplicaba al aumentar la presión. La propuesta de Bernouilli fue completada tiempo después por John Herapath (1790 – 1868), quien en 1820 envió a la Royal Society un manuscrito con un tratamiento explicativo del modelo cinético, que fue rechazado por H. Davy; Herapath lo envió entonces a *Annals of Philosophy*, donde se publicó en 1821.

John James Waterston (1811 – 1883) en 1846 remitió a la *Philosophical Transactions* un manuscrito en el que hacía un mejor tratamiento del modelo, dado que incluía por primera vez un análisis de distribución de la energía entre las moléculas y asumía que la velocidad de las moléculas era proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura. Su artículo fue

rechazado, aun cuando un resumen del mismo apareció en *Proceedings of the Royal Society*. En 1892, nueve años después de su fallecimiento, fue publicado en la *Philosophical Transactions*. En 1856, August Karl Krönig (1822 – 1879) publicó un corto texto sobre el MCMG que no tuvo mayor trascendencia, pero que ejerció una gran influencia en Rudolph Clausius (1822 – 1888) y en James Clerk Maxwell (1831 – 1879). En 1857 Clausius publicó un trabajo en el que se ocupó no sólo del movimiento traslacional sino también del rotacional de las moléculas. Este modelo es el que se encuentra en los libros de texto y es el que se enseña en programas académicos de pregrado (Laidler, 1995).

Fue igualmente objeto de discusión en el aula el hecho de que, en 1802, Joseph Louis Gay-Lussac (1787 – 1850) y John Dalton (1766 – 1844) formularon la ley de la dilatación constante y general de los gases y determinaron experimentalmente el coeficiente de dilatación. El valor que Dalton y Gay-Lussac obtuvieron para ese coeficiente fue $1/266$. Posteriormente, Heinrich Gustav Magnus (1802 – 1870) y Henri Victor Regnault (1810 – 1878) llevaron a cabo mediciones de mayor precisión y obtuvieron el valor hoy aceptado de $1/273$ (Lockemann, 1960). La relación directa entre la temperatura y el volumen fue enunciada por Jacques Charles (1746 – 1823) en 1787. Hay que destacar aquí que estas leyes se formulan en el interior de un modelo explicativo para el comportamiento mecánico de los gases.

Admitido el MCMG empezaron las investigaciones sobre el comportamiento de los sistemas gaseosos a diferentes temperaturas y altas presiones. Thomas Andrews (1813 – 1885) en 1869, definió y determinó experimentalmente las temperaturas y la presión críticas. Fueron estas investigaciones las que demostraron la desviación del comportamiento PV de los gases a altas presiones y por tanto, de la Ley de Boyle-Mariotte. Esta desviación fue explicada por Johannes Diderick van der Waals (1837 – 1923), quien a partir de sus mediciones hizo las correcciones al MCMG, proponiendo la ecuación que lleva su nombre. En este contexto, entre 1877 y 1878, Raoul Pictet (1846 – 1929) y Louis Cailletet (1832 –

1913), lograron licuar los denominados por entonces, gases permanentes. En 1886, Jacobus Henricus van't Hoff (1852 – 1911) empleó el MCMG para explicar el comportamiento osmótico de las soluciones (Laidler, 1995; Ihde, 1984).

Metodología

La investigación fue realizada con estudiantes del programa universitario para la formación inicial de profesores de química, del Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, de Bogotá, D. C., Colombia. En lo sucesivo serán denominados como “los estudiantes”. Se llevó a cabo en la asignatura “Sistemas Físicoquímicos I”, con una intensidad de 6 horas semanales, ubicada en el 5º semestre del Plan de Estudio. Estos estudiantes habían ya cursado y aprobado las asignaturas Teorías Químicas, I, II, III y IV, en las que el estudio del comportamiento del sistema gaseoso se halla contemplado, además de la primera, segunda y tercera ley de la termodinámica clásica. Los programas de estas asignaturas contemplan un tratamiento general de las desviaciones positivas y negativas del comportamiento ideal de los gases y, por tanto, de la conceptualización de ese comportamiento ideal desde la ley de Boyle. En el tratamiento de los diferentes modelos para los enlaces químicos habían ya trabajado la configuración de las moléculas y los efectos de polaridad derivados de tales configuraciones, incluidas las fuerzas de van der Waals.

El enfoque que se siguió fue el constructivista (Craven y Penick, 2001; Gil Pérez et al., 2002). El supuesto de partida fue que los estudiantes de la asignatura “Sistemas Físicoquímicos I” habían ya elaborado aproximaciones admisibles como ideas alternativas (Furió, 1996), que tenían que ser identificadas y caracterizadas para efecto del desarrollo de esta investigación, y, en consecuencia, se habían aproximado hasta cierto punto al MCMG y al modificado por van der Waals. Había entonces que precisar si el tratamiento realizado en esas asignaturas de “Teorías Químicas” había logrado en los estudiantes una

distinción necesaria entre las explicaciones macroscópicas y las microscópicas.

Puesto que se partió de la idea de que para el comportamiento de los gases históricamente se habían propuesto modelos, se admitió de partida que era necesario trabajar, de manera no directa, en torno a las concepciones de los estudiantes sobre modelo científico y los procesos de modelización que es hoy objeto de investigación (Grosslight, Unger, Jay y Smith, 1991; Van Driel y Verloop, 1999; Justi y Gilbert, 2002; Justi, 2002; Crawford y Cullin, 2004). De la misma manera, hay que señalar que la modelización es hoy objeto de trabajo en la educación en ciencias también con estudiantes de secundaria (Kawasaki, Herrenkohl y Yeary, 2004). Los resultados generales consignadas en estas referencias, orientaron las precisiones metodológicas del presente proyecto de investigación.

Por tanto, las preguntas que dirigieron el proyecto, dentro de una mirada no lineal en la perspectiva de un trabajo en el aula de reconstrucción que no obedecía a la lógica de la relación causa-efecto, fueron ¿Cuáles eran los conceptos básicos que estos estudiantes habían elaborado, como consecuencia de su experiencia formativa en las asignaturas de “Teorías Química” ya señaladas? ¿Eran esas elaboraciones las propias de la comunidad de especialistas? ¿Empleaban esos conceptos para construir explicaciones termodinámicas aceptables? ¿Poseían o no un modelo científico admisible para explicar el comportamiento de los sistemas gaseosos ideal y real? ¿De qué manera desde ese modelo diferenciaban esos comportamientos?

Dentro de la perspectiva constructivista adoptada, los responsables de esta investigación dejaron de lado los protocolos impuestos por las aproximaciones epistemológicas positivistas. En este orden de ideas, las actividades de educación química pretendidas se hallaban ligadas a elaboraciones concomitantes que por tal razón buscaban introducir las variaciones necesarias de los supuestos de partida. El proyecto que se desarrolló buscó separarse significativamente de una enseñanza de las ciencias como producto, como lo han explicitado las investigaciones en la historia social de las ciencias.

Los objetivos fueron: Primero, identificar y caracterizar las concepciones iniciales de los estudiantes sobre los conceptos fundamentales (variables termodinámicas) que definen un sistema gaseoso. Para esa identificación y caracterización, se diseñaron y aplicaron, al iniciar y al finalizar el proceso, una prueba tipo semántica y una prueba de composición (Anexo 1 y 2). Segundo, precisar el modelo dentro del cual explicaban la compresión y expansión mecánica y térmica, según el conocimiento de las leyes de Boyle-Mariotte y Charles y Gay-Lussac (Anexo 3). Se aplicó también, al iniciar y al finalizar el proceso. Esta prueba se complementó con una de resolución de ejercicios de lápiz y papel especialmente seleccionados, donde cual tenían que interpretar cada ejercicio en términos de un modelo científico (Anexo 4).

Después de los análisis teóricos correspondientes se les suministró a los estudiantes unas gráficas experimentales relacionadas con el comportamiento de los gases a altas presiones y diferentes temperaturas (Anexo 5). Siguió las discusiones sobre el comportamiento de los gases reales para la evaluación de la comprensión elaborada; nuevamente, se acudió a la selección de ejercicios de lápiz y papel relacionados con el comportamiento de los gases reales.

El tratamiento histórico-filosófico y de la educación en ciencias que se le dio al problema objeto de investigación, tanto como los contenidos de las pruebas, los criterios de análisis y la metodología de enseñanza, fueron primero discutidos entre los responsables del proyecto. Hechas las revisiones correspondientes, fueron sometidos a evaluación por parte de tres pares académicos (Radcliffe, 1983), investigadores en educación en ciencias. Las recomendaciones que hicieron los pares seleccionados se analizaron críticamente y se introdujeron las modificaciones y ajustes que se consideraron necesarios. Las modificaciones y ajustes fueron sometidas nuevamente a los mismos pares académicos, quienes estuvieron de acuerdo. Los fundamentos conceptuales y metodológicos de la investigación fueron explicitados y acordados con los estudiantes.

De ahí que el análisis de los resultados de la

formulación y aplicación inicial y final de cada una de las pruebas, después de los acuerdos con los pares señalados, fueron discutidos con los estudiantes de la asignatura “Sistemas Físicoquímicos I”, explicándoles los criterios de análisis empleados y señalándoles que tenían problemas conceptuales y metodológicos en relación con esta temática. Se negoció con ellos el diseño y aplicación de actividades didácticas, conformadas por exposiciones magistrales y discusiones en torno a las lecturas de publicaciones originales, de Fahrenheit, Celsius y Gay-Lussac, que fueron analizadas y discutidas en el aula, con la intervención de los responsables de la presente investigación. Se realizó la ubicación histórica del inicio de los estudios del comportamiento mecánico de los gases, desde el problema presentado por la bomba de Ctesibio de Alejandría, la solución dada por E. Torricelli (1608- 1647) y V. Viviani (1622 – 1703), alumno de Galileo; solución ésta que exigió acudir al concepto de equilibrio mecánico y la creación del de presión atmosférica, teniendo en cuenta el de presión hidrostática.

Se puntualizó que el diseño experimental hecho por Torricelli y Viviani se constituyó en el instrumento para medir la presión atmosférica (el barómetro). A continuación se realizaron las deducciones matemáticas y el cálculo de las unidades de medida de la presión. Luego en el grupo fueron analizadas las consecuencias epistemológicas y científicas de la obtención del vacío barométrico, de cómo la obtención de este vacío fue motivo para el experimento de O. von Guericke (1602 – 1686) y de qué manera los resultados con los hemisferios de Magdeburgo, constituyeron el punto de partida para que R. Boyle (1627 – 1691) y R. Hooke, dieran inicio a la química neumática (Ihde, 1984). En este orden de ideas, se analizó el primer modelo cinético molecular formulado por Daniel Bernoulli, para seguidamente estudiar el “modelo clásico” admitido por la comunidad de especialistas.

La siguiente actividad de la educación en química se concentró en el análisis matemático y gráfico de la Ley de Boyle-Mariotte. Se les solicitó a los estudiantes que elaboraran un

modelo para explicar el fenómeno de compresión y expansión mecánica de los gases, acudiendo al concepto de la elasticidad. Para este proceso, se les recomendó que acudieran a la invención y utilización de las representaciones icónicas y analogías que consideraran indispensables. No hubo aportaciones significativas en cuanto a esta solicitud, por lo que fue indispensable recordar la idea de que las moléculas son asumidas en el MCMG clásico, como esferas duras y para dar cuenta de su dinámica lineal, se acude a la analogía de la “mesa de billar”. En este punto se hizo la revisión crítica de las lecturas de los escritos originales de J. L. Gay-Lussac, E. Mariotte y D. G. Fahrenheit.

A continuación con el grupo se trabajó la Ley de Charles y Gay-Lussac. Se recordó que J. L. Gay-Lussac y J. Dalton estudiaron experimentalmente la dilatación térmica de los gases, determinaron el coeficiente de expansión y formularon la ley correspondiente y que el valor actual de ese coeficiente es de $1/273$. Discutidos los contenidos cualitativos, se realizó la deducción matemática de la Ley de Charles y Gay-Lussac y se analizó la inclusión de la temperatura absoluta. Se discutieron las ideas que esos futuros profesores habían elaborado en torno al concepto de temperatura, puntualizando que éste es hoy consensuado por la comunidad científica, como la medida de la energía cinética promedio de las partículas.

Fue también objeto de precisión la diferencia conceptual entre temperatura y calor. Se pasó, entonces, a elaborar una comprensión de la utilización del modelo científico ya construido, para explicar la expansión y contracción térmica de los gases. Con base en el modelo elaborado, el grupo se ocupó, primero, de la deducción algebraica y empleando el cálculo diferencial, de la denominada didácticamente ecuación combinada. Después, la deducción se llevó a cabo acudiendo a la representación icónica y analógica de una esfera puntual en una caja, siguiendo los postulados del MCMG clásico. La ecuación combinada de las leyes empíricas de Boyle y Mariotte y de Charles y Gay-Lussac, sirvió de referencia para indicar que la deducción de la

ecuación de estado conducía a una expresión análoga.

Los resultados obtenidos con la aplicación inicial de esta prueba fueron discutidos con el grupo, por lo que se les hizo caer en cuenta de los hechos experimentales que condujeron a la necesidad de corregir el MCMG clásico y la solución dada a dichos comportamientos por van der Waals. La siguiente actividad didáctica se enfocó en el interrogante de cómo demostrar matemáticamente la validez de la ecuación de van der Waals. Frente al silencio manifiesto por parte del grupo, se les indicó que se requería la obtención de la pendiente, esto es, la derivación matemática de Z vs. P ($\partial Z/\partial P$). Construido el modelo corregido se discutió cuál era la nueva definición de gas ideal que esta construcción científica les permitía sostener. Finalmente se trabajó el concepto de punto crítico (constantes críticas), la licuefacción de los gases, el cálculo de las constantes de van der Waals y la denominada Ley de los Estados Correspondientes.

Resultados y análisis

Los resultados de las pruebas se sintetizan a continuación.

Prueba 1. Semántica

En la aplicación inicial de la prueba la mayoría de las definiciones dadas por los estudiantes a los conceptos propuestos no fueron, de acuerdo a lo hoy consensado por la comunidad científica, científicamente admisibles. Hubo muy pocas consideradas como discutibles.

El resultado de la aplicación final de la prueba, luego de de las actividades de educación química diseñadas y puestas en práctica, muestran que de los 11 conceptos nombrados el 41,6 % de estos estudiantes elaboró entre 5 y 8 concepciones admisibles, un 25,0% dio entre 3 y 4 concepciones aceptables y un 16,6% dieron tan solo una definición admisible. Mientras que un 0,83% no tuvo ninguna definición admisible y con el mismo porcentaje hubo estudiantes con 10 definiciones admisibles. La prueba muestra que persisten problemas conceptuales signifi-

cativos en el 50,0% de estos estudiantes, relacionados con los once conceptos objeto de identificación y caracterización ya que no expresan ideas próximas a las aceptadas por la comunidad científica a pesar del trabajo didáctico efectuado.

Llama la atención la persistencia de errores sobre el concepto de mol, acerca del cual el 50,0% de estos estudiantes mantienen una concepción errónea. Algo análogo hay que decir con respecto al concepto de temperatura, que si bien mudaron hacia la idea de que no era una medida del calor, se quedaron en la sola alusión a la energía cinética de las partículas. Hay que destacar que para la mayoría de los estudiantes, las variables o parámetros termodinámicos se presentan de manera natural en el mundo, por lo que pueden ser encontrados en la naturaleza, descubiertos por observación. Afirman que el ser humano desde los inicios de la historia sospechó que en la naturaleza existían los sistemas termodinámicos. De la misma manera, entre esa mayoría de estudiantes se aludió a las imágenes no científicas propias del saber común y cotidiano. También hay que indicar que algunos de estos estudiantes emplearon la noción de caliente y de frío y no la de la diferencia de temperaturas. No accedieron a la conceptualización actual de temperatura.

¿Hasta dónde estos resultados hablan en favor de las estrategias didácticas empleadas en torno a la delimitación de estos conceptos y de la discusión llevada a cabo en el colectivo? ¿Hasta que punto fue eficiente y eficaz la estrategia didáctica? Ese 41,6% de estudiantes podría hablar en favor de que la estrategia didáctica, acerca de la reconstrucción de los conceptos, produjo resultados aceptables.

Prueba 2. De Composición

Esta prueba buscaba identificar y caracterizar la elaboración de un modelo científico a partir de los conceptos suministrados.

El análisis de los resultados iniciales de cada una de las composiciones elaboradas por los futuros profesores mostró que en la mayoría de éstas no se manejaban científicamente los conceptos, no presentaban coherencia conceptual y metodológica y no eran científica-

mente admisibles como modelo.

El examen de los resultados finales de las composiciones muestra que un 50% de ellas poseen un manejo científico de la mayoría de los conceptos y presentaban cierta coherencia conceptual y metodológica. El otro 50% no clasificó dentro de estos criterios. Permanece la idea de que los sistemas termodinámicos existen en la naturaleza; que el trabajo de los estudiosos es observar tales sistemas, “que esos sistemas por cuenta propia manifiestan los parámetros”.

Formulación de un modelo para los gases 1

El estudio de los resultados iniciales de esta prueba muestra que en ninguna de las elaboraciones de los profesores en formación inicial había propiamente un modelo. La mayoría de ellos sólo repitieron las operaciones algebraicas de las leyes de Boyle – Mariotte y de Charles y Gay-Lussac.

En el estudio de los resultados finales obtenidos se encontró que un 66,6% de los integrantes del grupo no elaboró un modelo cinético. Algunos de estos dibujaron gráficos para repetir las leyes. En un 16,7% de los estudiantes se insinúa un modelo, pero se presentan ciertos errores conceptuales. Se destaca que, nuevamente, los estudiantes se limitan a expresar un dominio meramente operativo.

Ejercicios de lápiz y papel 1

En el ejercicio 1, el 15,4% manifestó no entenderlo y el restante 84,6% que intentó resolverlo, no pudo construir un modelo basado en la ley de Graham, lo cual podría explicar la dificultad para resolverlo. Al ejercicio 2, sólo lo resolvió el 15,4% de los estudiantes desde el planteamiento de un modelo icónico. Para el ejercicio 3, puede decirse que todos los estudiantes abordaron su solución desde el esquema mental suministrado por la Ley de las Presiones Parciales. En cuanto al ejercicio 4, la mayoría no pudo elaborar una representación mental por lo que les fue imposible resolverlo. Los resultados de la tarea fueron interpretados por los investigadores en el sentido de que el grupo de estudiantes tenía problemas cuando se les exigía elaborar un modelo previo.

El caso de las lecturas de las publicaciones

Analizados los escritos presentados por cada uno de los estudiantes sobre las publicaciones suministradas, la conclusión fue que la mayoría de ellos se limitó a traducirlos al castellano y a relatar en sus propias palabras el contenido de tales publicaciones. No hubo una interpretación y, por tanto, una posición acerca de los orígenes de la construcción de los conceptos básicos del MCMG.

Formulación de un modelo para los gases 2

En cuanto al tratamiento de la modificación del MCMG hecho por Van der Waals, el análisis de los resultados iniciales propuestos por todos los estudiantes indicó que no construyeron un modelo. La interpretación de los resultados muestra que tienen problemas en la lectura de gráficas científicas. Ninguno de los estudiantes elaboró un modelo para dar cuenta de la variación de PV versus P y de PV/RT versus P, factor de compresibilidad (Z).

A su vez los resultados finales obtenidos reflejan que un 81,8% de los estudiantes no pudo elaborar un modelo cinético molecular para dar cuenta de las desviaciones observadas en las gráficas experimentales que se les suministraron de PV versus P y de PV/RT, factor de compresibilidad (Z), a altas presiones. Se concluyó que subsisten problemas relacionados con la interpretación de gráficas, ya que ninguno se refirió a la especificidad de las mismas. Hubo dos de ellos que se limitaron a mencionar a van der Waals sin analizar las gráficas. En las propuestas del 18,2% de los estudiantes parece haber un modelo, con ciertos errores conceptuales.

Ejercicios de lápiz y papel 2.

El 73,3% de los estudiantes resolvió cuatro de los cinco ejercicios propuestos, a partir de un modelo icónico. El otro 26,7% solo se limitó a aplicar la ecuación de van der Waals. Las soluciones que dieron los estudiantes a cuatro de los cinco ejercicios fueron numéricamente acertadas. Todos tuvieron dificultades con el ejercicio en el que se requería información referente a las constantes de van der Waals para el SO₂. Con este ejercicio se esperaba de los estudiantes que, de acuerdo con lo

estudiado sobre el cálculo de estas constantes a partir de la determinación experimental de las condiciones críticas, exigieran los datos correspondientes.

Es necesario agregar que a solicitud de los estudiantes, el profesor del curso llevó a cabo una sesión en la que fueron resueltos en común aquellos ejercicios de lápiz y papel 1 y 2 que los estudiantes no habían podido resolver.

El parecer de los profesores en formación inicial

Antes de resolver en el aula los ejercicios de lápiz y papel 2, los investigadores solicitaron por escrito a los estudiantes que expresaran su parecer sobre el desarrollo del proceso didáctico.

El 25,0 % de los estudiantes fue del parecer de que la estrategia didáctica empleada les ha permitido ir construyendo un “modelo mental” sobre el comportamiento de los sistemas gaseosos; que la lectura de documentos originales ha sido importante; que les ha aportado una manera nueva de trabajar con los alumnos. Un 12,5%, concuerda con el porcentaje anterior en cuanto a que la estrategia empleada les ha posibilitado la construcción de un modelo mental. Este grupo hizo alusión al cambio que este hecho ha generado en su concepción como docente. El 43,7%, reclama prácticas de laboratorio. Un 31,2% se opone a que el profesor emplee en sus exposiciones magistrales diapositivas; solicitan que desarrolle esa exposición “de memoria” en el tablero. Hay otros porcentajes no significativos de pareceres que hablan a favor de que la ubicación histórica de la temática sea objeto de un curso específico y que el profesor vuelva a la práctica habitual de resolver en el tablero los ejercicios de lápiz y papel.

Conclusiones

En cuanto a la prueba semántica, los profesores de química en formación inicial ingresaron al curso con ideas sobre los once conceptos objeto de identificación y caracterización, cuyo análisis mostró que no eran admisibles desde el punto de vista de la comunidad cien-

tífica. Los resultados de la aplicación final de esta misma prueba, muestran que hubo cierta mejoría en el 41,6% por parte de estos profesores, mejoría que quedó solo en el nivel de las definiciones cualitativas, por lo que los investigadores consideran esos resultados poco satisfactorios. Hay que destacar que algunos de los otros profesores en formación inicial mantuvieron concepciones erróneas sobre el concepto de mol.

Con respecto a los resultados iniciales de la prueba de composición, el análisis permitió concluir que no relacionaron los conceptos objeto de investigación para generar una aproximación admisible al MCMG. La mayoría de las composiciones obedecieron a las propias de las percepciones del saber común y cotidiano. Los resultados de la aplicación final de esta misma prueba dieron a entender que solo un 50,0% de los profesores en formación inicial lograron relacionar los conceptos, de manera que las composiciones presentadas fueron calificadas por los investigadores como científicamente aceptables. Al comparar estos resultados con los obtenidos por la aplicación final de la prueba semántica, los investigadores encontraron que en este 50,0% estaban los estudiantes que conformaron el 41,6% a los que se hace referencia en el párrafo anterior y algunos de los integrantes del 25,0% de quienes, en la prueba semántica, se considera que mejoraron significativamente sus concepciones. Recordamos que las composiciones fueron cualitativas y narrativas, por lo que no se aproximaron a la categoría de un modelo científico analógico y mucho menos a la de modelo simbólico.

En relación con la prueba sobre la formulación de un modelo para los sistemas gaseosos, con base en las leyes de Boyle-Mariotte y de Charles y Gay-Lussac, el análisis de los resultados de la aplicación final de esta prueba pone de presente que sólo un 16,7% de los estudiantes se aproxima a un modelo científico, y que en el otro 16,7% el modelo que propone es aceptable. Habría entonces un 33,4% de estudiantes que mejoró significativamente en relación con los resultados iniciales. Hay que subrayar que en el primer porcentaje persisten ciertos errores conceptuales. El resto de los profesores de química en formación inicial

no se acercó al objetivo de construir un modelo científico teniendo en cuenta las leyes mencionadas. Sin embargo, entre quienes así lo hicieron los diferentes modelos propuestos fueron icónicos. Para los investigadores la deducción hecha en el aula de clase de la ecuación combinada de los gases y de la ecuación de estado a partir de los postulados del MCMG no produjeron los resultados que se esperaron.

En el caso de las lecturas de los originales de Gay-Lussac, Mariotte y Fahrenheit, hay que destacar nuevamente, que los profesores en formación inicial los tradujeron al castellano y se circunscribieron a la simple repetición del contenido de los mismos. No asumieron una posición interpretativa y crítica frente a tales lecturas, ni acudieron a una versión histórica de tales elaboraciones. Todo esto a pesar de que la recomendación hecha fue precisamente de que no era válida una narración de aquello que contenían esas lecturas originales y de que la tarea esencial era una interpretación desde dicha perspectiva histórica de construcción.

Con respecto a la prueba 2 sobre la formulación de un modelo para los gases, los resultados de la aplicación inicial y final de la misma son coherentes con los resultados obtenidos en la prueba de formulación de un modelo para los gases 1. No accedieron a las implicaciones conceptuales y metodológicas del MCMG. No obstante, los resultados finales de esta prueba indican que un 18,2% tiene cierta aproximación al modelo científico reformulado por la corrección de van der Waals, aún cuando se identificaron algunos

errores conceptuales. Es de destacar que hubo entre ellos un cierto avance en cuanto a la interpretación de las gráficas de los textos de enseñanza relativos a dicha corrección.

La resolución de los ejercicios de lápiz y papel 1 y 2 mostró que los estudiantes poseen habilidad para aplicar mecánicamente los algoritmos propios de las formulas matemáticas de la unidad didáctica que se hizo objeto de trabajo en el aula, desde la perspectiva de una investigación en términos de la reconstrucción del MCMG. Este hecho supone que interpretan la situación planteada en cada ejercicio, sin embargo, parecen no estar en condiciones de expresar por escrito el modelo que extraen de cada ejercicio.

Sobre el parecer de los estudiantes en torno a la estrategia didáctica seguida, hay disparidad en las opiniones. Hay que subrayar que un 37,5% de los estudiantes manifestó que la estrategia fue positiva, por cuanto pudieron construir un modelo sobre el comportamiento de los sistemas gaseosos. En este grupo se encuentran aquellos que sobre los resultados finales de las pruebas de construcción de un modelo para los gases 1 y 2 conformaron el 33,4%.

El análisis de los resultados de esta investigación en el aula, señala que la modelación constituye un problema didáctico que requiere una formulación didáctica diferente a la habitual y estrategias de enseñanza que identifiquen, caractericen y partan de una revisión crítica y puntual de las experiencias escolares anteriores de los estudiantes. Agréguese que estos resultados parecen corroborar los que al respecto se han realizado en otros ámbitos.

Referencias

- Caldin, E. F. (2002). The Structure of Chemistry In Relation of the Philosophy of Science. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, Vol. 8, No. 2, 103 – 121. <http://hyle.org/journal/issues/8-2/caldin.htm>
- Craven III, J. A. y Penick, J. (2001). Preparing new Teachers to teach Science: The Role of the Science Teacher Educator. *Electronic Journal of Science education*, Vol. 6, No. 1. <http://unr.edu/homepage/crowter/ejse/cravenpenick.htm>
- Crawford, B. A. and Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. *International Journal of Science Education*, Vol. 26, No. 11, 1379 – 1401.
- Fahrenheit, G. G. (1724). Experimenta circa gradum caloris liquorum nonulrum ebullientium mistituta (1). *Phil. Trans.*, 33,1. En línea : <http://web.lemoyne.edu>

- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Gallego Torres, A. P. y Torres de Gallego, L. (2007). El objeto de saber de los químicos. Formulación, modificación y abandono del modelo icónico inicial. *Investigações em Ensino de Ciências*. Em línea: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol11/n3/v11_n3_a5.htm
- Gay-Lussac, J. L. (1802). The expansion of Gases by Heat. *Annalen de Chemie*, 43, 137. En línea: <http://web.lemoyne.edu>
- Giere, R. N. (1990). *Explaining Science* (Chicago: University of Chicago Press).
- Gil Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A. et. al. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, No. 11, 557 – 571.
- Greca, I. M. y Dos Santos, F. M. T. (2005). Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em ciências: O caso da física e da química. *Investigações em Ensino de Ciências*. Em línea: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v10_n1_a2.htm
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science conceptions of middle and high school teachers and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799 – 882.
- Hanson, N. R. (1958). *Observation and Explanation: A Guide to Philosophy of Science Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ilhde, A. J. (1984). *The development of modern chemistry*. New York: Dover Publication.
- Furió, (1996). Las concepciones alternativas del estudiantado, Dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, No, 7, 7, 7 – 17.
- Jensen, W. B. (1998a). Logic, history and the chemistry textbooks I: Does chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, No. 6, 679 – 687.
- Jensen, W. B. (1998b). Logic, history and the chemistry textbooks II: Can we unuddle the chemistry textbook? *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, No. 7, 917 – 828.
- Jensen, W. B. (1998c). Logic, history and the chemistry textbooks III: One chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, No. 8, 961 – 969.
- Justi, R. S. (2002). Modelling Teachers' views on the Nature of modeling and implications for the Education of modelers. *International Journal of Science Education*, Vol. 24, No. 4, 369 – 387.
- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modeling in learning science. *The International Journal of Science education*, 24, 1273 – 1294.
- Kawasaki, K., Herrenkohl, L.R., y Yeary, S (2004). Theory building and modeling in a sinking and floating unit: a case study of third and fourth grade students' developing epistemologies of science. *International Journal of Science Education*, Vol. 26, No. 11, 1299 – 1324.
- Laidler, K. J. (1995). *The World of Physical Chemistry*. New York: Oxford University Press.
- Lakatos, I. (1978). *The Methodology of Scientific Research Programmes – Philosophical Papers Volume I*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lombardi, O. (1998). La noción de modelo en ciencias. *Educación en Ciencias*, Vol. II, No. 4, 5 – 13.
- Mariotte, E. (1676). Nature of Aire. <http://web.lemoyne.edu>
- Nelson, P. G. (2002). Teaching chemistry progressively: from substances, to atoms and molecules, to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol. 3, No. 2, 215 – 228.
- Raftcliffe, J. S. (1983). Notions of Validity in Qualitative Research Methodology. *Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization*, Vol. 5., No. 2, 147 – 167.
- Scerri, E. R. (1997). Has the Periodic Table been successfully axiomatized? *Erkenntnis*, 47, 229 – 243.
- Scerri, E. R. (2001). The new philosophy of chemistry and its relevance to chemical education. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, Vol. 2, No. 2, 165 – 170.
- Scerri, E. R. (2003). Philosophical confusion in chemical education research. *Journal of Chemical Education*, Vol. 80, No. 5, 468 – 474.
- Tomasi, J. (1999). Towards “chemical congruence” of the models in theoretical Chemistry. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, Vol. 5, No. 2, 79 – 115. <http://hyle.org/journal/issues/5-2/tomasi.htm>
- Van Driel, R. S. y Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141- 1153.
- Vessuri, H. M. C. (1992). Perspectivas recientes en el estudio social de las ciencias. *Fin de Siglo*, No. 3, 40 – 52.

ANEXO 1

A continuación se suministra una serie de conceptos propios de la termodinámica clásica y del modelo cinético molecular de los gases. Desde las concepciones que cada uno de ustedes ha elaborado como consecuencia de sus experiencias escolares anteriores, expresar por escrito aquello que entienden por cada uno de ellos:

Termodinámica - Sistemas Termodinámicos – Parámetros o Variables Termodinámicas – Sistemas Cerrados y Sistemas Abiertos – Presión – Temperatura – Volumen – Número de Moles – Calor – Energía.

“Los criterios de análisis fueron las conceptualizaciones actuales admitidas por la respectiva comunidad de especialistas”.

ANEXO 2

En esta prueba cada uno de ustedes ha de redactar una composición empleando las definiciones que propusieron para los conceptos científicos contenidos en la prueba 1:

Termodinámica - Sistemas Termodinámicos – Parámetros o Variables Termodinámicas – Sistemas Cerrados y Sistemas Abiertos – Presión – Temperatura – Volumen – Número de Moles – Calor – Energía.

“Los criterios de análisis fueron: a) No hay un modelo; b) Hay un modelo; b1) De carácter descriptivo; b11) Propio del saber común; b12) Admisible científicamente; b2) Icónico o gráfico; b21) Analógico; b22) Simbólico; b23) Hipotético-deductivo”.

ANEXO 3

A continuación se les recuerda las leyes de Boyle - Mariotte y la de Charles y Gay-Lussac, tanto literalmente como en sus formulaciones matemáticas. A partir de estas leyes cada uno de ustedes ha de analizarlas y proponer un modelo científico para explicar el comportamiento P-V-T de los gases. Pueden recurrir al uso de las metáforas y analogías que estimen necesarias.

“Los criterios de análisis utilizados fueron los mismos que se emplearon para la prueba de composición: a) No hay un modelo; b) Hay un modelo; b1) De carácter descriptivo; b11) Propio del saber común; b12) Admisible científicamente; b2) Icónico o gráfico; b21) Analógico; b22) Simbólico; b23) Hipotético-deductivo”.

ANEXO 4

A continuación se les suministra una batería de ejercicios de lápiz y papel. Antes de resolverlos por aplicación de los algoritmos correspondientes, se les solicita que analicen cada uno de ellos y formulen un modelo físico de la situación problemática que se plantea.

“La selección de los ejercicios de lápiz y papel fueron tomados de la bibliografía contemplada en el programa oficial para este curso. Los ejercicios propuestos tuvieron que ver con las relaciones P-V, P-T y V-T y las propias de la ecuación de estado. De hecho se declara que en este proyecto de investigación, tales ejercicios no fueron objeto de análisis histórico, filosófico y de sus significados en la educación en ciencias. Para el análisis de las soluciones dadas, se observó si proponían un modelo o si, por el contrario, recurrían directamente a la aplicación mecánica de las fórmulas matemáticas”.

ANEXO 5. *(Formulación de un modelo para los gases 2)*

Se les ha entregado dos gráficas de resultados experimentales obtenidos midiendo los comportamientos de las relaciones P-V a T constante. La primera de ellas muestra los resultados experimentales del producto PV, logrados para varios gases a altas presiones y a 0°C. La segunda, muestra lo que sucede con el comportamiento (PV/RT) vs P (factor de compresibilidad Z) para varios gases a altas presiones y diferentes temperaturas. Por favor, analizarlas cuidadosamente desde lo que se ha estudiado sobre MCMG y proponer explicaciones para las curvas obtenidas del comportamiento de esos gases a altas presiones, desde la perspectiva de un modelo científico admisible.

“El supuesto de partida para el análisis de las propuestas que hicieron los estudiantes, fue que ellos poseían ya información acerca de las características de un modelo científico. Los criterios de análisis utilizados fueron los mismos que se emplearon para la prueba de composición: a) No hay un modelo; b) Hay un modelo; b1) De carácter descriptivo; b11) Propio del saber común; b12) Admisible científicamente; b2) Icónico o gráfico; b21) Analógico; b22) Simbólico; b23) Hipotético-deductivo”.