

INVESTIGACIONES

Caracterización del discurso químico en profesores en formación inicial mediante una secuencia didáctica para la enseñanza del equilibrio térmico

Characterization of the chemical discourse of a group of teachers in initial training through a didactic sequence for the teaching of thermal equilibrium

Laura Valentina Pérez-Pérez^a
Diego Alexander Blanco-Martínez^a
Yolanda Ladino-Ospina^a
Fredy Ramón Garay-Garay^b

^a Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, Colombia.
dqu_lvperezp393@pedagogica.edu.co, dablanca@pedagogica.edu.co, ladino@pedagogica.edu.co

^b Universidad Católica de Colombia, Colombia.
frgaray@ucatolica.edu.co

RESUMEN

Este artículo se configura como un reporte de investigación que se centra en el desarrollo del discurso químico de un grupo de profesores en formación inicial, que aporta elementos en la investigación en didáctica de la Química. Para ello, se diseñaron una serie de actividades, sobre la red conceptual de equilibrio térmico que permitió analizar los conceptos, formas de significar y representaciones empleadas por los profesores a través de tres relaciones significativas categorizadas de acuerdo con las dimensiones estructura/composición y energía en los niveles molar y molecular propuesto por Jensen. Los resultados y el análisis evidencian que el grupo de profesores identifica y reconoce las relaciones entre las redes conceptuales abordadas en correspondencia con los niveles y dimensiones evaluadas, lo que permitió fortalecer el discurso químico, fundamental para la apropiación de un lenguaje científico y por ende de un conocimiento científico químico en la formación inicial de profesores.

Palabras clave: didáctica de la química, estructura/composición, energía, representaciones.

ABSTRACT

This article is configured as a research report that focuses on the development of the chemical discourse of a group of teachers in initial training, which provides elements in the research in Chemistry didactics. To do this, a series of activities were designed on the conceptual network of thermal equilibrium that made it possible to analyze the concepts, ways of meaning and representations used by teachers through three significant relationships categorized according to the structure / composition and energy dimensions in the molar and molecular levels proposed by Jensen. The results and the analysis show that the group of teachers identifies and recognizes the relationships between the conceptual networks approached in correspondence with the levels and dimensions evaluated, which made it possible to strengthen the chemical discourse, fundamental for the appropriation of a scientific language and therefore of a chemical scientific knowledge in the initial training of teachers.

Keywords: chemistry didactics, structure/composition, energy, representations.

1. INTRODUCCIÓN

Si bien investigaciones como la de Arévalo, Ortega, & Domínguez (2005) han mostrado que entender conceptos como temperatura, calor, capacidad calorífica y equilibrio térmico resultan de difícil comprensión para los estudiantes, no solo porque tienen un “significado común” que se diferencia del ámbito científico en que se aplican, sino que se requiere de la apropiación de un lenguaje propio de las ciencias para abordarlos, relacionarlos y también utilizarlos de forma asertiva. Superar estas dificultades y lograr que los estudiantes empleen un lenguaje científico adecuado para la explicación de sistemas termodinámicos contribuye al desarrollo de un discurso estructurado, empleando teorías y modelos científicos, que se emplean en la enseñanza de las ciencias debido a que se consideran elementos de aprendizaje (Flores-Camacho, Gallegos-Cázares y Lima, 2020).

Jensen (1998) argumenta que, desde un análisis de la historia de las ciencias, es posible ordenar con una estructura lógica el pensamiento y discurso químico a partir de tres niveles teóricos (molar, molecular y eléctrico) que se relacionan con las dimensiones estructura/composición, energía y tiempo. Organizar de esta manera el razonamiento químico permite reconocer la construcción histórica de esta ciencia en beneficio de la enseñanza de las ciencias con el fin de favorecer las nociones científicas de los estudiantes y en este caso particular, abordar la red conceptual de equilibrio térmico desde algunas de las dimensiones y niveles propuestos por Jensen.

Así mismo, en la formación inicial de profesores de Química, es necesario que los profesores comprendan los principios de la termodinámica (entre los que se encuentra el equilibrio térmico) y sus implicaciones en el comportamiento fisicoquímico de los sistemas objeto de estudio, ya que durante su proceso de formación inicial debe interpretar y presentar alternativas para la comprensión de diferentes fenómenos de la naturaleza, lo que implica describir molecular y matemáticamente un proceso y poder argumentar sobre su desarrollo en sistemas en equilibrio dinámico. Es por este motivo que la presente investigación se orienta a la caracterización del “discurso químico” a partir del diseño e implementación de una secuencia didáctica que tiene como mediador conceptual el equilibrio térmico. La investigación se lleva a cabo con un grupo de profesores en formación inicial en donde se evalúan los tipos de relaciones que establecen entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar y molecular, al abordar una serie de situaciones en donde se involucran los conceptos de calor y temperatura.

2. LA ESTRUCTURA LÓGICA DEL DISCURSO QUÍMICO

Jensen (1998) sugiere que el estudio de la historia de la química puede mostrar cómo organizar, mediante una estructura lógica, el discurso químico proponiendo interrelaciones entre niveles y dimensiones que corresponden a cinco revoluciones científicas propuestas por el autor, como se muestra en la tabla 1. Cada revolución conlleva a una reinterpretación del pensamiento y conocimiento existente y el inicio de un nuevo nivel de comprensión teórico con respecto al tiempo, la energía, la estructura y la composición de la materia (Chamizo, 2011).

Tabla 1. La estructura lógica de la Química según Jensen

	Dimensión estructura/composición	Dimensión energía	Dimensión tiempo
<i>Nivel molar</i>	Composición relativa de sustancias puras simples y compuestas, soluciones y mezclas. Designación empírica de alomorfos.	Entropía, calor de reacción. Energía libre y constante de equilibrio.	Leyes experimentales de velocidad. Parámetros de Arrhenius y/o entropía y calor de activación.
<i>Nivel molecular</i>	Fórmulas estructurales y absolutas. Racionalización de alomorfos como variaciones en su composición absoluta o estructural.	Interpretación molecular de la entropía. El calor de formación en términos de calor de atomización, promedio de energías de enlace, etc. Mecánica molecular.	Mecanismos de reacción molecular. Entropías de activación y complejos activados desde el punto de vista molecular.
<i>Nivel eléctrico</i>	Fórmulas electrónicas (Lewis y configuración electrónica). Variación en la composición electrónica o nuclear o estructura.	Cálculos de energía basados en la estructura electrónica. Interpretación del espectro.	Mecanismos de reacción iónico y fotoquímico. Efectos isotópicos. Cálculo de las energías de activación. Índices de reactividad electrónica.

Tomado y adaptado de Jensen, W. (1998) Does Chemistry have a logical structure?, pág. 680.

Esta propuesta permite la organización de los contenidos de acuerdo con una perspectiva epistemológica de la ciencia. Por lo que abordar conceptos y temáticas en ciencias, desde la perspectiva de Jensen, resulta relevante para la didáctica de la química ya que los contenidos curriculares son fundamentales para desarrollar competencias científicas en los estudiantes y obtener objetivos planteados en la enseñanza (Vallejos, 2016).

En la presente investigación se aborda la red conceptual de equilibrio térmico en las dimensiones estructura/composición y energía en los niveles molar y molecular, en correspondencia con los mecanismos de interacción entre la masa y la energía implicados en sistemas que tienden al equilibrio térmico, que le permitan al profesor en formación establecer relaciones significativas de tipo cualitativo entre estructura, composición y propiedad.

Así, por ejemplo, para conceptuar o definir el equilibrio térmico, también denominado ley cero de la termodinámica, es necesario realizar una revisión histórica de las redes conceptuales calor y temperatura, dado que la historia de las ciencias muestra que es en esta búsqueda de la naturaleza del calor que se formulan las leyes de la termodinámica.

3. CALOR

La naturaleza del calor tuvo particular importancia en los siglos XVIII y XIX donde prevalecen dos posturas: la que consideraba el calor como una sustancia material,

defendida principalmente por Black, Carnot y Lavoisier, y la que consideraba el calor como movimiento, donde se destacan los experimentos realizados por Thompson y Joule, sobre lo que éste último denominó, equivalente mecánico del calor.

A mediados del siglo XVIII, Joseph Black (1728-1799) realizó una serie de experimentos que fueron fundamentales para comprender los conceptos de calor latente, calor específico y calor sensible y, de hecho, cobran una importancia relevante para Lavoisier, quien los cita en sus memorias, sobre la teoría del calórico publicadas en 1783 y 1789. En la teoría del calórico Lavoisier logró explicaciones que, aunque no se mantienen vigentes, sí constituyeron un aporte importante en el desarrollo científico de esa época.

El experimento que corroboró la inmaterialidad del calor fue propuesto por Joule (1818-1889) y consistía en un calorímetro con paletas giratorias. Mediante el experimento, el científico determinó cuantitativamente la relación entre el trabajo mecánico y el calor, sugiriendo valores de 772 lb*pie (Joule, 1850) y de 890 lb*pie (Joule, 1879), que son aproximados a 4,3 y 4,6 J*cal⁻¹. De esta manera, concluyó que la cantidad de energía transferida en forma de calor producida por la fricción de los cuerpos, ya sean sólidos o líquidos, es proporcional a la cantidad de fuerza efectuada y que, siempre hay una transferencia de energía en forma de calor equivalente a 4,3 o 4,6 J cuando se realiza trabajo.

Posteriormente, Clausius explicó que el calor se caracteriza por dos tipos de transformaciones: la transferencia de calor desde un cuerpo con una temperatura alta a otro con una temperatura más baja y la transformación de trabajo en calor (Clausius, 1879). Así, formuló el principio de equivalencia de las transformaciones que en 1865 denominó entropía, S.

Los trabajos de Clausius dieron paso a la formulación de la primera y segunda ley de la termodinámica que terminan por reafirmar la inmaterialidad del calor y que más tarde aportaron para que el calor se relacione directamente con la energía. En específico, fue a partir de los trabajos de Duhem (1910) que se aclara que el calor no es una forma de energía, por lo que, a partir de aquí se puede explicar el concepto como una forma de transferencia de energía que tiene la capacidad de transformarse en trabajo y que, además, siempre conlleva una variación en la entropía del sistema.

Es importante resaltar que la transferencia de energía, en forma de calor, se puede intercambiar entre el sistema y los alrededores si hay un gradiente de temperatura entre los cuerpos que se ponen en contacto. También, puede ocurrir en procesos irreversibles, como cuando hay fricción entre materiales o en reacciones químicas. Esta forma de transferencia de energía puede llevar a un cambio en la temperatura o a observar un trabajo en el sistema (Rache, 2014).

Asimismo, en los procesos isotérmicos la energía transferida en forma de calor debe fluir permanentemente entre el sistema y otra fuente de energía. Durante una expansión isotérmica necesariamente el sistema absorbe energía en forma de calor de una fuente a alta temperatura, hacia el gas en expansión; mientras que en una compresión isotérmica la energía en forma calor fluye del gas hacia la fuente con menor temperatura para que el proceso se efectuó a temperatura constante.

Una observación común es que dos sistemas a diferente temperatura al ponerse en contacto tienden a igualar su temperatura. Con el tiempo los dos sistemas alcanzarán un equilibrio térmico transitivo, que es el estado en el cual no hay una transferencia neta de energía en forma de calor entre dichos sistemas. Este hecho permite enunciar la ley cero de la termodinámica.

La ley cero de la termodinámica establece que si dos sistemas A y B, están en equilibrio térmico, y B está en equilibrio térmico con un tercer sistema C, entonces A y C se encuentran en equilibrio térmico entre sí (Pineda & Maíllo, 2009). Esto quiere decir que si todos los sistemas en contacto tienen la misma temperatura forman una clase o conjunto que se caracteriza por no presentar transferencia de energía en forma de calor entre los sistemas que lo componen.

Ahora bien, como la energía en forma de calor se transfiere de un cuerpo con mayor temperatura a otro con menor temperatura, esta ley permite ordenarlos. Por tanto, a partir de la ley cero se pueden definir los conceptos de termómetro y de escala de temperatura, más no el significado de la temperatura. De igual manera, explica si un sistema está en equilibrio térmico o no, pero no muestra por qué los sistemas de forma espontánea tienden al equilibrio térmico.

Una forma abreviada de definir la ley cero de la termodinámica es decir que el equilibrio térmico es transitivo (Pineda & Maíllo, 2009).

4. MÉTODO

La muestra que participó del estudio la conforma un grupo de 16 profesores en formación inicial del programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia que cursaban el espacio académico de Teorías Físicas III. La muestra se escoge debido a que en la asignatura mencionada se abordan las leyes termodinámicas, entre estas la ley cero, en donde se busca que el docente en formación construya y estructure el lenguaje científico que le permita desarrollar explicaciones y argumentaciones científicas en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Lo anterior es relevante dado que un docente de Química debe ser un “experto” que ha aprendido, tiene un conocimiento y elabora un discurso de esta disciplina científica (Galagovsky & Bekerman, 2009, p. 957). Además, se ha demostrado que adquirir un dominio en el discurso académico propicia el desarrollo de habilidades cognitivas y metacognitivas que posibilitan concretar aprendizajes (Carranza, Celaya, Herrera y Carezzano, 2004).

Para caracterizar el discurso químico del grupo de profesores en formación inicial se diseñó una secuencia didáctica que se implementó durante 3 sesiones de una hora en donde se incluyeron actividades prácticas y teóricas. Para el diseño, implementación y evaluación de la secuencia se definieron tres relaciones significativas entre las dimensiones composición/estructura y energía en los niveles molar y molecular, como se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Relaciones entre el discurso químico establecidas para la secuencia didáctica

	Dimensión composición/estructura	Dimensión energía
Nivel molar	Identificar la relación entre el calor específico y la estructura y/o la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico.	Establecer relaciones significativas entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase, incluyendo en su discurso conceptos como calor latente y entalpía.
Nivel molecular	Esta relación no se incluyó en la implementación de la secuencia didáctica debido a que mediante el entramado conceptual de la química abordado se requiere profundizar y comprender la composición de una sustancia en el nivel molecular propuesto por Jensen (ver tabla 1)	Reconocer el concepto de temperatura desde el punto de vista de la Teoría cinética molecular, explicando el concepto en términos de la velocidad o de la energía cinética de las partículas.

La información se recolectó mediante tres instrumentos tipo cuestionario que contenían únicamente preguntas abiertas con el fin de identificar el lenguaje y el discurso químico que empleaba la muestra objetivo en las respuestas analizadas. Es importante mencionar que antes de la implementación de las actividades se aplicó un pre-test para identificar las concepciones previas de los estudiantes y de este modo realizar una comparación entre el discurso químico utilizado por los participantes antes y después de la implementación de la secuencia didáctica.

En cada instrumento se presentaban situaciones en donde se describía el fenómeno de equilibrio térmico, el concepto de temperatura o procesos de transferencia de energía en forma de calor. De igual manera, mediante los instrumentos se evaluaron las relaciones listadas en la tabla 2, para caracterizar el discurso químico de los estudiantes de acuerdo con los niveles y dimensiones definidos por Jensen (1998) antes y después de la secuencia didáctica.

Para la sistematización de las respuestas de los estudiantes se elaboró una matriz de vaciado de datos de tipo cualitativo que permitió la clasificación del discurso, empleado por la muestra objeto de estudio, en tres categorías de análisis (baja, media y alta), que se definieron según los criterios mostrados en la tabla 3. Dichos criterios se determinaron según las relaciones definidas en la tabla 2 y los referentes teóricos mencionados en el presente documento. En particular, se tuvo en cuenta el uso de términos y representaciones que le permitieron al estudiante comprender el entramado conceptual abordado desde dos de los niveles propuestos por Jensen (molar y molecular).

Tabla 3. Criterios para la definición de las categorías de análisis

Dimensión y nivel	Categorías		
	Baja	Media	Alta
Composición y estructura a nivel molar	No Identifica la relación entre el calor específico y la masa con la estructura o la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico y en donde ocurre transferencia de energía en forma de calor	Reconoce la relación entre la temperatura de equilibrio y la masa de las sustancias donde ocurre la transferencia de energía y diferencia las sustancias mediante el calor específico, pero no lo explica en términos de la composición o estructura de los sistemas.	Identifica la relación entre el calor específico y la masa con la estructura o la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico y en donde ocurre transferencia de energía en forma de calor
Energía a nivel molar	No establece relaciones significativas entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase	Identifica la relación entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase, pero no incluye en su discurso conceptos como calor latente y entalpía.	Establece relaciones significativas entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase, incluyendo en su discurso conceptos como calor latente y entalpía.
Energía a nivel molecular	No reconoce el concepto de temperatura desde el punto de vista de la mecánica molecular	Explica el concepto de temperatura en términos de la teoría cinética molecular o el movimiento molecular pero no lo explica en términos de la energía cinética.	Reconoce el concepto de temperatura desde el punto de vista de la mecánica molecular, explicándolo en términos de la energía cinética de las partículas

Teniendo en cuenta la sistematización de los datos obtenidos se realizó la caracterización del discurso químico a partir de los niveles y dimensiones planteados por Jensen.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los párrafos que se presentan a continuación, se detalla y describe la caracterización del discurso químico con base en los tipos de relaciones que establecieron los estudiantes al implementar la secuencia de actividades. Esta caracterización se organizó teniendo en cuenta los niveles y dimensiones de Jensen.

En primer lugar, en la relación entre la dimensión composición/estructura a nivel molar se evidenció que la mayoría de los profesores en formación inicial identificaron una

correspondencia entre el calor específico y la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico. Así, después de la implementación, 7 profesores lograron establecer dicha relación, 6 la establecieron parcialmente y 3 no la establecieron. Para la clasificación de las respuestas según las categorías de análisis definidas se tuvo en cuenta la definición sobre el calor específico como la cantidad de energía en forma de calor que es necesario transferir a una unidad de masa de una sustancia para aumentar su temperatura en un grado. En particular, se resalta que cada sustancia tiene un valor de calor específico diferente.

Así, al proponer una situación donde se transfiere una cantidad de energía en forma de calor a dos materiales con diferente composición se observan afirmaciones como la que se presenta a continuación: *“el aumento de temperatura se dará de forma diferente debido a la composición del metal y del vidrio. Esto hace que el valor del calor específico sea distinto aumentando más rápido la temperatura del metal”*. Este tipo de respuestas donde se correlacionan términos como composición, estructura y calor específico se clasifican dentro de una categoría alta dado que permite diferenciar sustancias de acuerdo con el valor del calor específico en cada material.

De manera similar, los profesores emplearon un lenguaje químico que permite explicar el concepto de calor como una forma de transferencia de energía. Así, se encuentran afirmaciones como la que se presenta a continuación: *“Ocurren varios procesos de transferencia de calor de acuerdo con cada condición y sus variables”*. Lo anterior, evidencia que los profesores que emplearon este tipo de explicaciones comprenden la naturaleza del calor superando las dificultades de aprendizaje donde se evidencian concepciones alternativas sobre el concepto desde un punto de vista sustancialista (Talanquer, 2005).

En concordancia con lo anterior, es posible afirmar que los profesores en formación explican el concepto en un nivel molar en la propuesta de Jensen (1998), debido a que logran describir los materiales mediante información que obtienen de descripciones sensoriales (Galagovsky, Rodríguez, Stamatí, & Morales, 2003) sin incluir el uso de símbolos y fórmulas en su discurso químico.

En segundo lugar, en la dimensión energía a nivel molar se formularon situaciones en donde ocurrían procesos de transferencia de energía en forma de calor implicados en algunas reacciones químicas y cambios de fase. En la categoría alta, se evidenció el uso de términos como calor latente, entalpías de reacción, puntos de fusión y ebullición, fuerzas intermoleculares y algunas expresiones asociadas a los procesos de transferencia y transformación de la energía, también, se observó el uso de diagramas de fase para explicar las situaciones presentadas. Estas explicaciones se configuran como un modo en que se estructura el discurso científico (Domínguez, 2013) y como una forma en que se puede emplear el lenguaje de la química teniendo en cuenta que esta ciencia tiene un lenguaje propio que se complementa con el lenguaje matemático y de la física (Pasmanik y Cerón, 2005).

Desde esta perspectiva, Caamaño (2015) plantea una sistematización de la estructura conceptual de la química a partir de los niveles de representación de esta ciencia, de los conceptos, y de los elementos representacionales. Es así que, en el nivel molar propuesto por Jensen (1998), el autor incluye conceptos como temperatura, puntos de fusión y ebullición, entalpía y elementos representacionales como los diagramas de fase. En este sentido, es posible afirmar que los estudiantes que emplearon estos conceptos y elementos representacionales lograron establecer la relación entre la dimensión energía y el nivel molar de Jensen, ya que explican el concepto a nivel macroscópico.

Finalmente, en la dimensión energía a nivel molecular se consideró relevante la relación entre el concepto de temperatura y la teoría cinético molecular. Específicamente, se puntualiza en el quinto postulado listado por Achinstein (1987) que establece una relación de proporcionalidad directa entre la temperatura y la velocidad media de las partículas. De igual manera, se tuvo en cuenta el uso del término de energía cinética para explicar el concepto de temperatura según la relación introducida mediante la constante de Boltzmann citada en la ecuación 1.

$$E_K = \frac{3}{2} K_B T \quad \text{Ecuación 1: energía cinética y temperatura}$$

En la tabla 4, se muestra la matriz de vaciado con los datos obtenidos después de la implementación de la secuencia didáctica.

De esta manera, se evidenció que, después de la implementación de las actividades, 7 profesores lograron establecer dicha relación, 6 la establecieron parcialmente y 3 no la establecieron.

En las respuestas de los profesores que alcanzaron una categoría alta se identificó el uso de representaciones clasificadas en el nivel molecular de Jensen, pues incluyen imágenes o dibujos que “corresponden con una representación mental de lo que sucede según el modelo articulado de la materia”. De igual manera, las explicaciones formuladas en torno al concepto de temperatura empleando la teoría cinético molecular en términos de la velocidad de las moléculas hace referencia a un nivel de representación submicroscópica (Caamaño, 2015). A continuación, se muestra un ejemplo del discurso químico utilizado por los estudiantes que lograron establecer dicha relación y otro de los que no alcanzaron a establecerla cuando se les presentaba una situación donde se comparaban dos sistemas a diferente temperatura.

Ejemplo de categoría alta: *“Lo que podemos observar es que por medio del movimiento browniano, el colorante se disipa más rápido en el sistema que contiene el agua caliente, porque este al tener mayor energía cinética en sus moléculas, los choques de las moléculas del agua con los del colorante son más efectivos y así, el colorante se disipa más rápido en comparación a la del agua a Temperatura ambiente”.*

Ejemplo categoría baja: *“Nosotros lo postulamos desde la teoría cinético molecular que establece que cuando una sustancia está en forma gaseosa va a ocupar menos espacio en el sistema. Entonces al agregar el colorante lo que va a tener es más espacio en el recipiente y ocupar todo el sistema”*

Las respuestas clasificadas en la categoría baja, evidencian algunas dificultades que se presentan en el aprendizaje de la Química asociadas al uso de modelos y teorías, dentro de las que se destaca la teoría cinético molecular. Estas dificultades se relacionan con los procesos de integración y diferenciación conceptual que debe llevar a cabo el estudiante o a la atribución de propiedades macroscópicas para explicar características submicroscópicas de los materiales (Caamaño y Oñorbe, 2004).

A manera de conclusión, mediante la implementación de la secuencia didáctica, se pudo evidenciar que siete profesores establecieron relaciones entre las dimensiones estructura/composición y energía a nivel molar y molecular al implementar las actividades de la secuencia didáctica. Por lo tanto, se fortaleció el discurso químico del grupo de profesores en formación inicial, que se demuestra por el progreso en las categorías formuladas después de la implementación de la secuencia didáctica como se muestra en la tabla 5:

Tabla 4. Matriz de vaciado de datos de tipo cualitativo según las relaciones establecidas entre las dimensiones y niveles de Jensen

Dimensiones y niveles	Composición/estructura a nivel molar			Energía a nivel molar			Energía a nivel molecular		
	Criterio de análisis	Identifica la relación entre el calor específico y la estructura y/o la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico.			Establece relaciones significativas entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase, incluyendo en su discurso conceptos como calor latente y entalpía.			Reconoce el concepto de temperatura desde el punto de vista de la Teoría cinética molecular, explicando el concepto en términos de la velocidad o de la energía cinética de las partículas.	
Número de términos o representaciones utilizados por los estudiantes	Estructura/composición	Calor específico	Transferencia	Calor latente	Entalpía de reacción	Diagramas de fase	Representaciones submicroscópicas	Energía cinética	Teoría cinética molecular
	13	13	9	7	9	12	13	7	3
Número de estudiantes en cada categoría después de la implementación de la secuencia didáctica									
Baja	3			6			3		
Media	6			3			6		
Alta	7			7			7		
Total, estudiantes	16			16			16		

Tabla 5. Comparación entre las categorías alcanzadas por los estudiantes antes y después de la implementación de las actividades

Relación dimensión y nivel	Composición/estructura (nivel molar)		Energía (nivel molar)		Energía (nivel molecular)	
	Número de estudiantes		Número de estudiantes		Número de estudiantes	
Categoría	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
No responde	2	0	3	0	2	0
Baja	10	3	7	6	6	3
Media	3	6	4	3	6	6
Alta	1	7	2	7	2	7
Total	16	16	16	16	16	16

Estas relaciones también están asociadas a los términos y representaciones que utilizaron los estudiantes para dar respuesta a las preguntas planteadas. Por este motivo, el aumento en las categorías alcanzadas representa un mayor uso de un lenguaje científico en el discurso químico.

6. CONCLUSIONES

Se evidenció que el grupo de profesores en formación inicial fortaleció el discurso químico debido a la comparación entre las categorías alcanzadas antes y después de la implementación de la secuencia didáctica. En específico, se observó que los profesores emplearon representaciones y términos en los niveles molar y molecular, en donde analizaron situaciones que abordaban la ley cero de la termodinámica en sistemas que tienden al equilibrio térmico.

De manera general, los profesores en formación lograron establecer los siguientes tipos de relaciones entre las dimensiones y niveles incluidos en la secuencia didáctica sobre equilibrio térmico.

- Identifican la relación entre el calor específico y la masa con la estructura o la composición de las sustancias en sistemas que tienden al equilibrio térmico.
- Establecen relaciones significativas entre el concepto de calor, los procesos químicos y los cambios de fase, incluyendo en su discurso conceptos como calor latente y entalpía.
- Reconocen el concepto de temperatura desde el punto de vista de la mecánica molecular, explicando el concepto en términos de la energía cinética de las partículas.

En términos generales el grupo de profesores comprende que el equilibrio térmico es transitivo, que es una forma de transferencia de energía, asociada a la interacción entre

la masa y la energía y que es función de la estructura, composición y propiedades de las sustancias.

RECOMENDACIONES FINALES

A pesar de las fortalezas evidenciadas, se pueden encontrar algunas dificultades que sugieren la necesidad de una modificación en la secuencia didáctica que le permitan al profesor en formación establecer relaciones no sólo cualitativas y empíricas, sino también de tipo cuantitativo. Así mismo, se recomienda ampliar la secuencia didáctica incluyendo actividades que contemplen otros entramados conceptuales y la explicación de la ley cero de la termodinámica desde la perspectiva de la mecánica estadística, ampliando los niveles de comprensión teórica planteados por Jensen (1998).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achinstein, P. (1987). Scientific discovery and Maxwell's kinetic theory. *Philosophy of Science*, 54(3), 409-434.
- Arévalo, X., Ortega, A., & Domínguez, R. E. (2005). Los modelos en la construcción y evaluación de los conocimientos en fisicoquímica. *Enseñanza de las ciencias*, 1-6.
- Blaxter, L., Hughes, C. y Tight, M. (2000). *Cómo se hace una investigación*. Barcelona: Gedisa.
- Caamaño, A. (2015). La estructura conceptual de la Química: realidad, conceptos y relaciones simbólicas. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales* (78), 7-20.
- Caamaño, A., & Oñorbe, A. (2004). La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales* (41), 68-81.
- Carmo, L. A., Medeiros, A., & Medeiros, C. D. (2000). Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás. Atas do VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Florianópolis, SC, Brasil. Recuperado de https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/AlexMed/Exp_Joule.pdf
- Carranza M., Celaya, G., Herrera, J. y Carezzano F. (2004). Una forma de procesar la información en los textos científicos y su influencia en la comprensión. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 6(1). Consultado el día de mes de año en: <http://redie.uabc.mx/vol6no1/contenido-carranza.html>
- Chamizo, J. A. (2011). La imagen pública de la química. *Educ. quím*, 320-331.
- Clausius, R. (1879). *The mechanical theory of heat*. Mcmillan and co. London.
- Domínguez, M. A. (2013). Recursos explicativos sobre la energía en clases de Física del nivel secundario. Estudio de caso. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 15(2), 115-130. Recuperado de: <http://redie.uabc.mx/vol15no2/contenido-dominguez.html>
- Duhem, P. (1910). *Thermodynamique et chimie leçons élémentaires*. Hermann et fils. París.
- Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L. y Lima, C. (2020). Representaciones en Física: construcción y validación de un cuestionario para la Enseñanza Media Superior. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 22, e14, 1-17. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e14.1728>
- Galagovsky, L. R., & Bekerman, D. G. (2009). La Química y los lenguajes: un aporte para interpretar errores en los estudiantes. REEC: *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 952-975. Obtenido de <http://reec.uvigo.es/>
- Galagovsky, L. R., Rodríguez, M. A., Stamati, N., & Morales, L. F. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de las ciencias naturales. Un ejemplo para el

- aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 107-121.
- Jensen, W. B. (1998). Does Chemistry have a logical structure? *Journal of Chemical Education*, 679- 687.
- Joule, J. P. (1850). On the mechanical equivalent of heat. *Philosophical Transactions of the royal Society of London*, 61-82.
- _____. (1879). New determination of the mechanical equivalent of heat. *Royal Society*.
- Maxwell, J. C. (1867). On the on the dynamical theory of gases. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 49-88.
- Membriela, P. (2002). Investigación-acción en el desarrollo de proyectos curriculares innovadores de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 443-450.
- Morris, R. J. (1972). Lavoisier and the caloric theory. *The British Journal for the History of Science*, 6(1), 1-38.
- Pasmanik, D., & Cerón, R. (2005). Las prácticas pedagógicas en el aula como punto de partida para el análisis del proceso enseñanza-aprendizaje: un estudio de caso en la asignatura de química. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 31(2), 71-87.
- Pineda, C. F., & Mañillo, S. V. (2009). *Termodinámica*. Madrid: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Rache, J. M. (2014). Introducción a la termodinámica estadística: fotones y fonones. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51934>
- Rumford, B. C. (1798). An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series*, 80-102.
- Talanquer, V. (2005). El químico intuitivo. *Educación química*, 16(4), 540-547.
- Vallejos, N. F. (2016). Tendencias curriculares en educación química (1950-1990). *Estudios Pedagógicos*, 42(1), 20.

