

Los puentes teóricos, un aporte a la didáctica de la química

Diana Carolina Martínez Rodríguez*, Fredy Ramón Garay Garay**

Resumen

El presente artículo es producto del trabajo de grado de la maestría en Docencia de la Química de la Universidad Pedagógica Nacional, en el que se construyeron tres puentes teóricos con base en las ideas epistemológicas clave, entre postulados teóricos del semanticismo de Van Fraassen y la didáctica de la química, para la enseñanza y el aprendizaje del concepto de valencia, aplicado a un grupo de estudiantes de grado once de la institución educativa General Santander en el municipio de Soacha (Cundinamarca). En la investigación se involucraron los componentes metodológicos sugeridos por Crotty y se usó el análisis conversacional para identificar los modelos parciales escolares y su respectiva modificación a modelos científicos escolares en cada uno de los estudiantes. Se observó que la inclusión de los puentes teóricos fue eficiente.

Palabras clave: semanticismo, isomorfismo, modelos parciales escolares, modelos científicos escolares, valencia, puentes teóricos, didáctica de la química.

Bridging Theory: A Contribution to Chemistry Education

Abstract

The present article is the result of graduate work for a Master's degree in Chemistry Education, at Universidad Pedagógica Nacional, in which three

* Docente y secretaria de Educación de Soacha. dianachemistry@gmail.com

** Director del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Católica de Colombia.
cienciasbasicas@ucatolica.edu.co

theoretical connections were developed out of key epistemological concepts, the theoretical postulates of Van Fraassen's semanticism, and chemistry education (for teaching and learning the concept of valence) applied to a group of 11th grade students at the General Santander educational institute in the municipality of Soacha (department of Cundinamarca). The investigation involved the methodological components suggested by Crotty and used conversational analysis to identify the biased scholarly models and their respective modifications to scientific scholarly models in each of the students. The inclusion of the theoretical connections was found to be efficient.

Keywords: semanticism, isomorphism, biased scholarly models, scientific scholarly models, valence, bridging theory, teaching chemistry.

Introducción

El concepto de “valencia” en química es objeto de estudio en gran cantidad de investigaciones de carácter didáctico, en las que se destaca su importancia dentro de la red conceptual de la química; véanse en este sentido: *Didáctica para la enseñanza del concepto de valencia química* (Tejada, Acevedo y Mendoza, 2015); *El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza* (Gallego y Miranda, 2004); *Conceptos fundamentales en química 1. Valencia* (Chamizo y Gutiérrez, 2004), entre otras. Por ejemplo Bachelard (1989) resalta su valor, dentro del simbolismo que el filósofo de la química debe estudiar. De ahí que la construcción epistemológica, filosófica y didáctica del concepto sea el pilar teórico de esta investigación.

Así pues, ¿cómo los puentes teóricos pueden ser eficientes para establecer relaciones coherentes entre la filosofía y la didáctica de la ciencia, que permitan la transformación de los modelos parciales de los estudiantes a los modelos parciales correspondientes al conocimiento científico de la valencia química (Flores y Gallegos, 1993)?

A partir de dicho interrogante se ejecutaron las siguientes fases: (i) identificación y análisis de los posibles isomorfismos (Van Fraassen, 1980) que se presentan en los tres modelos que se han formulado en torno a este concepto de valencia y que son los que fundamentan esta investigación; (ii) creación y validación de puentes teóricos basados en las ideas epistemológicas clave de Ariza y Adúriz (2012), asumiendo estas como la esencia proposicional que contiene cada teoría

y (iii) diseño, validación y ejecución de una estrategia de intervención en el aula, argumentada en los presupuestos teóricos de Vigotsky (1988), para quien el aprendizaje es el resultante complejo de la confluencia de factores sociales, como la interacción comunicativa con pares y adultos, compartida en un momento histórico y con determinantes culturales particulares (Tovar, 2013).

Esta investigación contribuye en la generación de procesos de transformación en el aula, invitando a un cambio en el rol del estudiante, siendo este más partícipe y crítico de su proceso de aprendizaje, y en el que la filosofía de la química coadyuva al trabajo eficiente y asertivo en el aula, promoviendo el uso de las teorías semánticas (Adúriz-Bravo, Ariza y Couló, 2011) o de los modelos teóricos de la construcción del conocimiento científico escolar.

Metodología

La metodología que se empleó tuvo dos etapas, una preliminar y otra de intervención en el aula. En la primera se efectuó:

- Análisis del isomorfismo de los modelos teóricos de valencia química, que abarca la determinación de los conjuntos y del isomorfismo.
- Creación de los puentes teóricos.

Y en la segunda etapa:

- Formulación de la pregunta orientadora.
- Identificación de los modelos parciales escolares (MPE).
- Presentación de los puentes a los estudiantes.
- Identificación de los modelos científicos escolares (MCE).

Primera etapa

Análisis de isomorfismo: determinación de los conjuntos

1. Modelo de Dalton

Estas observaciones han llevado tácitamente a la conclusión, al parecer universalmente aceptada, de que todos los cuerpos de magnitud sensible ya sean sólidos o líquidos, están constituidos por un inmenso número de partículas en extremo peque-

ñas, o átomos de materia, unidos entre sí por la fuerza de la atracción; la cual es más o menos poderosa según las circunstancias (Chamizo, 1992).

1.1. Representación del modelo de Dalton

- i. $D =$ los átomos están unidos por una fuerza de atracción
- ii. $D' =$ todos los átomos se unen por una fuerza de atracción
- iii. $D \setminus W =$ no hay elementos

1.2. Álgebras empíricas del modelo de Dalton

- iv. $D' = \{A \text{ fuerza de atracción} \mid \text{ todos los átomos } \wedge \in \text{ modelo de Dalton}\}$
- v. $D \setminus W = \{\emptyset\}$

2. Modelo de Thomson

Thomson dio el primer ejemplo de la ley de proporciones múltiples mostrando que, normalmente en la formación de sales de oxalato de potasio y de estroncio, para la misma cantidad de ácido hay presencia de “solo el doble de la proporción de la base contenida en el segundo”; y señaló el alcance del resultado en la teoría atómica de Dalton, en el que utiliza símbolos químicos en un sentido cuantitativo.

Los átomos de oxígeno, carbono e hidrógeno se denotan por w , c y h , y la formulación de dióxido de carbono, metano, monóxido de carbono, agua, ácido oxálico y azúcar por $2w+c$, $c+h$, $w+c$, $w+h$, $4w+3c+2h$, y $5w+3c+4h$. En 1818 utilizó los símbolos o , h , c , ch , $2o$, etc., para los átomos de oxígeno, hidrógeno, carbono, cloro, fósforo, etc. (Partington, 1949).

Thomson había explicado la neutralización del ácido sulfúrico por la potasa, suponiendo que “la partícula integrante” del ácido sulfúrico es un tetraedro y

[...] las partículas de potasa son de tal forma, que una de ellas puede adherirse a cada uno de los lados de la partícula ácida: en esa facilidad, una partícula integrante de sulfato de potasa estaría compuesta de cinco partículas, una de ácido y cuatro de álcali [y] el ácido entonces sería saturado, o [...] incapaz de recibir más partículas alcalinas en combinación con él.

Thomson se sintió muy atraído por la hipótesis de William Prout (cuya exactitud y habilidad fueron muy admiradas por sus contemporáneos), en el sentido de que los pesos atómicos son múltiplos enteros del peso atómico del hidrógeno.

Thomson tomó el elemento oxígeno como su estándar, pero como tomó $0 = 8$ cuando $H = 1$, la misma proporción de números enteros seguiría. Pensó que todos los demás pesos atómicos eran múltiplos enteros de dos veces el peso atómico del hidrógeno, i. mi. De $2 \times 0,125 = 0$ “25. Durante diez años, Thomson realizó un gran número de experimentos con el objeto de probar la hipótesis de Prout, publicando los resultados en 1826. Los métodos experimentales implicaron la determinación de relaciones de peso, la determinación de los pesos de sales que dan reacciones completas de precipitación en solución y, en el caso de los compuestos orgánicos, análisis de combustión por calentamiento con óxido de cobre en un tubo de cobre, tal como sugiere originalmente Gay-Lussac (Chamizo, 1992).

2.1 Representación del modelo de Thomson

- i. $T =$ partículas integrantes de las moléculas
- ii. $T' =$ la partícula integrante del ácido sulfúrico es un tetraedro
- iii. $T'W =$ no hay elementos

2.2 Álgebras empíricas del modelo de Thomson

- iv. $T' = \{B \text{ partículas integrantes} \mid \text{las moléculas} \in \text{modelo de Thomson}\}$
- v. $T'W = \{\emptyset\}$

3. Modelo de Frankland

Cuando se consideran las fórmulas de los compuestos químicos inorgánicos el observador superficial se ve afectado por la simetría general de su construcción. Los compuestos de nitrógeno, fósforo, antimonio y arsénico exhiben especialmente la tendencia a formar compuestos que contienen tres o cinco equivalentes de otros elementos, y es en estas proporciones que sus afinidades se satisfacen mejor. En el grupo tres se tiene: NO_3 , NH_3 , NI_3 , NS_3 , PO_3 , PH_3 , PCl_3 , SbO_3 , SbH_3 , SbCl_3 , AsO_3 , AsH_3 y AsCl_3 ; y en el grupo de cinco átomos NO_5 , NH_4O , NH_4I , PO_5 y PH_4I (Frankland, 1852).

Sin ofrecer ninguna hipótesis sobre la causa de este agrupamiento simétrico de átomos, es suficientemente evidente, a partir de los ejemplos dados, que tal tendencia o ley prevalece, y que, cualquiera que sea el carácter de los átomos unificadores, el poder de combinación del elemento atrayente, si se permite el término, siempre se satisface por el mismo número de estos átomos.

3.1. Representación del modelo de Frankland

- i. $F =$ el poder de combinación siempre se satisface por el mismo número en estos átomos (modelo de Frankland)
- ii. $F^{\wedge} =$ elementos que tienen poder de combinación tres con el oxígeno según Frankland
- iii. $F^{\wedge}W =$ compuestos oxigenados formados por el poder de combinación de los elementos (adecuación empírica del modelo)

3.2. Álgebras empíricas del modelo de Frankland

- i. $F^{\wedge} = \{C \text{ poder de combinación con el oxígeno} \mid \text{tengan tres equivalentes con el oxígeno} \wedge \in \text{modelo Frankland}\}$
- ii. $F^{\wedge} = \{N, P, Sb, As\}$
- iii. $F^{\wedge}W =$ compuestos oxigenados formados con los elementos N, P, Sb y As con poder de combinación tres según Frankland
- iv. $F^{\wedge} = \{NO_3, PO_3, SbO_3 \text{ y } AsO_3\}$

Determinación de isomorfismo

Para hacer el análisis del isomorfismo de modelos siguiendo a Suppes se debe tener en cuenta el cumplimiento de los siguientes aspectos:

- i. $U \neq \emptyset$ es un conjunto cuyos elementos se denominan individuos del universo de la estructura
- ii. \underline{O} es un conjunto (numerable) de operaciones en U

iii. R es un conjunto (numerable) de relaciones en U ; por consiguiente, una estructura S representa a un sistema W si y solo si la estructura S es isomórfica a la estructura $SW =$ que ejemplifica W , esto es, si existe un isomorfismo $f: UW \rightarrow U$ (e. d. f es una aplicación biyectiva y preserva tanto las operaciones como las relaciones, formalmente esto último se puede escribir como $(z_1, \dots, z_n) \in rW \in RW \Leftrightarrow (f(z_1), \dots, f(z_n)) \in f(rW) \in R$). En este caso, se llama modelo M del sistema W al par $=$, y teorías a los conjuntos de modelos.

Con las álgebras empíricas se determina el isomorfismo.

1. Modelo de Dalton

- i. $D' = \{A \text{ fuerza de atracción} \mid \text{ todos los átomos } \wedge \in \text{ modelo de Dalton}\}$
- ii. $D'W = \{\emptyset\}$

No hay isomorfismo entre el modelo y la adecuación empírica ya que no cumple la primera premisa de isomorfismo.

2. Modelo de Thomson

- i. $T' = \{B \text{ partículas integrantes} \mid \text{ las moléculas } \wedge \in \text{ modelo de Thomson}\}$
- ii. $T'W = \{\emptyset\}$

No hay isomorfismo entre el modelo y la adecuación empírica ya que no cumple la primera premisa de isomorfismo.

3. Modelo de Frankland

- i. $F' = \{C \text{ poder de combinación con el oxígeno} \mid \text{ tengan tres equivalentes con el oxígeno } \wedge \in \text{ modelo Frankland}\}$
- ii. $F' = \{N, P, Sb, As\}$
- iii. $F'W =$ compuestos oxigenados formados con los elementos N, P, Sb y As con poder de combinación tres según Frankland
- iv. $F' = \{NO_3, PO_3, SbO_3 \text{ y } AsO_3\}$

En el caso de este modelo:

- i. $U \neq \emptyset$ es un conjunto cuyos elementos se denominan individuos del universo de la estructura
- ii. Ω es un conjunto (numerable) de operaciones en U
- iii. \underline{R} es un conjunto (numerable) de relaciones en U ; por consiguiente, una estructura F representa a un sistema W si y solo si la estructura F es isomórfica a la estructura $FW =$ que ejemplifica \underline{W} , esto es, si existe un isomorfismo.

$f: UW \rightarrow U$ como $(c1, \dots, cn) \in rW \in RW \Leftrightarrow (f(c1), \dots, f(cn)) \in f(rW) \in R$

Por lo tanto, se cumple que función $f: UW \rightarrow U$ es biyectiva y sobreyectiva, lo que confirma el isomorfismo entre el modelo y la adecuación empírica.

De este modo se da respuesta al interrogante: ¿es empíricamente adecuado el modelo de Frankland? Con una aseveración que confirma que la valencia química es una teoría porque tiene un modelo en el que todas las apariencias son isomórficas con las subestructuras empíricas de este. Desde Bas C. Van Fraassen presentar una teoría es especificar una familia de estructuras, sus modelos; y definir ciertas partes de esos modelos (las subestructuras empíricas) como candidatos para la representación directa de los fenómenos observables.

Creación de los puentes teóricos

Desde el empirismo constructivista de Bas Van Fraassen los puentes teóricos pueden estar constituidos por:

- a. *Idea epistemológica clave*: es un elemento de una red teórica altamente articulada. Y como elemento constituyente a una red debe tener [...] aspectos de la naturaleza de la ciencia, correspondientes a las grandes miradas metateóricas: epistemológica, histórica y sociológica; campos teóricos estructurantes de la naturaleza de la ciencia, que son los “espacios de problemas” que dan identidad a la actividad metateórica; cuestiones metateóricas clásicas de la naturaleza de la ciencia, que son las preguntas específicas que pretenden responder las metaciencias, tales como cuál es la relación entre realidad y predicación o si es posible evaluar el “progreso” científico; y, por último, ideas clave de la naturaleza de la ciencia, entendidas como respuestas a esas preguntas formuladas desde un modelo metateórico reconocible (Ariza y Adúriz, 2012, pp. 55-56).

Es claro que la idea epistemológica clave del presente trabajo es “el poder de combinación” que desde Frankland (1852) da cuenta de la teoría de valencia química.

1. *Enunciados*: expresiones que denotan las características de la idea epistemológica clave, dándole un contexto sintáctico en el que se expande la idea.
2. *Premisas*: se traduce en la presentación de la aserción empírica, fundamentada en el poder explicativo del modelo, que solo es posible mediante el diseño experimental que permitió la construcción de este.
3. *Conclusiones*: presentación de la adecuación empírica con la que el isomorfismo es corroborado, en el caso de que exista. De lo contrario solo se llega a la premisa.

Segunda etapa

Presentación de los puentes teóricos llevados al aula

El presente puente teórico no es representación de una teoría sino de tres modelos miembros de la familia que la constituyen.

Introducción de los puentes en el aula

Teniendo una idea epistemológica clave como valencia química, y siguiendo a Vigotsky (1964), se introducen los puentes teóricos en un grupo de nueve estudiantes del colegio institución educativa General Santander, ubicado en el municipio de Soacha, Cundinamarca.

1. Se formula la pregunta: ¿desde qué modelo se puede describir la formación del PCl_3 (cloruro de fósforo (III))?
2. Se realiza la socialización de los tres puentes teóricos, con una lectura grupal.
3. De forma individual se asumió postura frente a emplear uno de los puentes para así responder la inquietud.
4. Según cada postura se consolidaron los grupos finales que consideraron uno de los puentes para explicar las respuestas.
5. A través de un esquema lógico dieron razón del uso del puente, esbozando así el MCE.

Análisis de los modelos parciales escolares

- i. Es evidente que para este grupo aún no es clara la diferencia entre modelo y teoría, sin embargo, el MCE que aquí se muestra, es análogo con el puente que representa el modelo de Frankland, e implícitamente con el isomorfismo entre el modelo y la adecuación empírica. Este modelo está constituido por un enunciado sólido conceptualmente, en el que el uso de la palabra *afinidad* se asocia con el *poder de combinación* representando una correlación que satisface el experimento, es decir, la premisa. Y la conclusión integra a la premisa justificada desde las posibles moléculas que se comportan como Frankland lo argumenta.
- ii. Este grupo conformado por dos estudiantes, que coincidieron en juzgar al modelo de Thomson como el pertinente para justificar la formación del cloruro de fósforo (III), no llega a ser un MCE, ya que como lo mencionan Flores y Gallegos (1993) el MCE es una interpretación radicada en el estudiante y luego en la estructura de la ciencia. Por ende, la interpretación que el grupo da está explícita en la representación, pero no es consecuente con la estructura del modelo de Thomson y mucho menos cercana a la teoría de valencia donde subyace el análisis del isomorfismo.
- iii. Esta representación fue hecha por un solo estudiante, quien supone que el modelo de Dalton da razón al interrogante, pero no posee enunciado, premisa y conclusión, por lo que es mera interpretación sesgada a la consideración del estudiante.

Conclusiones

- Los puentes teóricos como esquemas lingüísticos pueden parecer simples, pero en realidad son un sistema lógico textual que toma como referente uno de los modelos representativos de un concepto estructurante (en este caso valencia), fundamentado en lo que Van Fraassen concibe como teoría y su respectiva adecuación empírica. De este modo, los puentes tienen una estructura que se apoya en las proposiciones matemáticas constituidas por enunciado, premisa y conclusión. Este es el primer paso para el acercamiento con la teoría de conjuntos y en consecuencia, para la construcción de las álgebras empíricas, con las que se puede analizar la existencia o no del isomorfismo entre la adecuación empírica del modelo y el modelo en sí.
- Es así como una vez consolidado el puente, debe ser llevado al aula con una estrategia que favorezca la interacción del estudiante con la estructura

de este. Aquí la estrategia empleada se fundó en el sociointeraccionismo de Vigotsky y se ejecutó en torno a una pregunta orientadora que llevó al uso del puente.

- Es urgente consolidar la red química en el trabajo didáctico que incluya conceptos estructurantes, como lo es valencia.
- Son necesarias nuevas investigaciones en el aula que involucren la naturaleza del conocimiento químico y, por ende, a la familia semanticista desde Van Fraassen, como una estrategia que puede cambiar la versión de ciencias que el estudiantado posee.
- No se puede enseñar una ciencia lineal y dogmática, ya que sesga la percepción que el estudiante puede tener de la ciencia y en este caso de la química, lo que genera rechazo por la misma.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A., Ariza, Y. & Couló, A. (2011). Introducing the semantic view of scientific theories in science education. En: Seroglou, Koulountzos y Siatras (comps). *Science and Culture: Promise, Challenge and Demand. Book of Proceedings*. Atenas: Epikentro Publication.
- Ariza, Y. & Adúriz, A. (2012). La “nueva filosofía de la ciencia” y la “concepción semántica de las teorías científicas” en la didáctica de las ciencias naturales. *Educación en Ciencias Matemáticas y Experimentales*, 2, 55-66.
- Bachelard, G. (1989). *Epistemología*. Barcelona: Anagrama.
- Chamizo, J. A. (1992). *El maestro de lo infinitamente pequeño: John Dalton*. Ciudad de México: CNCA, Pangea.
- Chamizo, J. A. & Gutiérrez, M. Y. (2004). *Conceptos fundamentales en química 1*. Valencia: Educación Química.
- Flores, F. & Gallegos, L. (1993). Consideraciones sobre la estructura de las teorías científicas y la enseñanza de las ciencias. *Perfiles Educativos*, 1-10.
- Frankland, E. (1852). On a new series of organic bodies containing metals. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 417-444.
- Gallego, R. B., Miranda, R. P., Beltrán, M. V., Fernández, L. C. & Rodríguez, R. Y. (2004). El concepto de valencia: su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Ciência & Educação*, 10(3), 571-583.
- Partington, J. (1949). Thomas Thomson, 1773-1852. *Annals of Science*, 6(2), 115-126.

- Tejada, C., Acevedo, D. & Mendoza, A. (2015). Didáctica para la enseñanza del concepto de valencia química. *Formación Universitaria*, 8(5), 35-42.
- Tovar, C. T. (2013). Enseñanza de la química basada en la formación por etapas de acciones mentales (caso enseñanza del concepto de valencia). *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 38, 143-157.
- Van Fraassen, B. C. (1980). *The Scientific Image*. Nueva York: Clarendon Press.
- Vigotsky, L. (1934). *Thought and Language*. Cambridge: MIT Press.