

El aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones: una revisión

Andrés Raviolo, Andrea Farré y Nayla Traiman

Universidad Nacional del Río Negro. Bariloche.

araviolo@unrn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo muestra los resultados de una revisión y discusión realizada en torno al aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones en general y de concentración molar en particular. Forma parte de las tareas realizadas en una investigación más amplia que incluye la utilización de cuestionarios, entrevistas y propuestas de enseñanza. Actualmente en la bibliografía no se encuentran artículos que aborden el tema del aprendizaje del concepto de concentración de una manera exclusiva e integrada.

Palabras claves: revisión bibliográfica, concentración disoluciones, molaridad, aprendizaje.

Introducción

La mayoría de los procesos biológicos y muchas reacciones químicas se producen entre sustancias que se encuentran disueltas, es decir, formando mezclas homogéneas o disoluciones. Los aspectos cuantitativos de las disoluciones están vinculados con el concepto de concentración. El tema de concentración de disoluciones es muy importante porque es un concepto inicial y básico en Química aunque no resulta sencillo para la mayoría de los estudiantes de nivel medio y universitario.

Varios estudios han mostrado que alumnos de secundaria no tienen una adecuada comprensión del tema disoluciones (Gabel y Bunce, 1994), que encuentran particularmente difícil el tema de molaridad (Gabel y Samuel, 1986) y que las dificultades se manifiestan incluso con alumnos universitarios (de Berg, 2012). Sin embargo, son pocas las investigaciones que han profundizado en el aprendizaje del concepto concentración en general y del concepto concentración molar en particular.

El aprendizaje del concepto de concentración fue indagado en algunos trabajos en el contexto de características generales de las disoluciones (ej.: Adadan y Savasci, 2012) y el de concentración molar aparece como parte de investigaciones del concepto de estequiometría (ej.: Dahsah y Coll, 2008).

Objetivo del trabajo

Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión más exhaustiva e integradora de esta problemática, articulando aportes de estudios realizados con distintas orientaciones.

Metodología

Se lleva adelante una revisión bibliográfica de artículos relacionados con la temática, fundamentalmente de habla inglesa. Esta búsqueda está orientada a los siguientes aspectos: (a) dificultades de los estudiantes, (b) causas de esas dificultades y (c) sugerencias para la enseñanza.

Resultados

1. El aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones

El concepto de concentración no resulta sencillo para muchos estudiantes, porque requiere el conocimiento de conceptos previos como sustancia y mezcla, propiedades intensivas y extensivas, masa, volumen, mezcla homogénea, disolución, soluto,

solvente. Asimismo, se debe entender que la concentración es una propiedad intensiva de la disolución, es decir que al ser la disolución una mezcla homogénea la concentración es una propiedad constante, independiente de la extensión considerada. Si, por ejemplo, se retira un poco de la misma, lo que queda sigue teniendo la misma concentración.

También se debe comprender que si se agrega soluto a la solución la concentración aumenta y, si se agrega solvente a la solución, la concentración disminuye. Estas relaciones se establecen admitiendo una variable constante: (a) la concentración es directamente proporcional a la cantidad de soluto si el volumen de disolución permanece constante, y (b) la concentración es inversamente proporcional al volumen de la disolución si la cantidad de soluto permanece constante.

En el estudio que llevó adelante Stavy (1981), con alumnos menores de 14 años, se halló que la principal dificultad para comprender el concepto de concentración estaba conectada con la dificultad de comprender la función inversa (proporcionalidad inversa), que un incremento en la cantidad de solvente decrece la concentración de la disolución.

Stavy y Tirosh (1996) analizaron la comprensión de las propiedades intensivas en conceptos como concentración y temperatura. Las tareas consistían en presentar a los sujetos dos sistemas los cuales son idénticos en cierta propiedad intensiva pero difieren en el tamaño. Niños de 6 a 10 años afirmaron que al mezclar dos volúmenes de disoluciones de azúcar con igual concentración, la mezcla resultante era más concentrada (más dulce). Justificaron sus respuestas en dos afirmaciones “el recipiente con más azúcar es el más dulce” y “el recipiente con más agua es el más dulce”. Al no contar con el concepto de propiedad intensiva, la influencia de cambios perceptibles en la cantidad total conduce a razonamientos del tipo “más de A, más de B”. En otra tarea se presentó a niños de 4 a 8 años dos copas iguales, una llena de agua y otra llena a la mitad, en ambas se introdujo una cucharada de azúcar. Algunos niños tendían a afirmar que la taza con más agua era la más dulce, tratando como directamente proporcional lo que es inversamente proporcional.

Por otro lado, en la preparación de una disolución se conservan las masas, es decir que la suma de la masa del soluto y la masa del solvente es igual a la masa de la disolución. No ocurre lo mismo con el volumen, el volumen de una disolución de alcohol y agua, no es la suma de los volúmenes de soluto y solvente. Estudiantes de 14-15 años no

aprecian que disolver una sustancia en un litro de agua puede alterar el volumen de la solución resultante (Duncan y Johnstone, 1973).

La escasa comprensión del concepto de concentración se observó en el estudio de Calik (2005). En un test de lápiz y papel administrado a 441 estudiantes de secundaria, grado 7 al grado 10 (13-14 a 16-17 años), se incluyó un ítem sobre concentración. Este ítem solicitó a los estudiantes que comparasen dos disoluciones contenidas en dos recipientes, con igual cantidad de solvente; a una se le agregó un cubo de azúcar mientras que a la segunda se le agregaron dos cubos de azúcar. Los resultados evidenciaron que pocos estudiantes mostraron una sólida comprensión en sus razonamientos, pocos hicieron mención a que, dado que tienen igual cantidad de solvente, la solución del primer frasco era más diluida porque tiene menos azúcar que la otra. Se observó en las respuestas la influencia de otros conceptos enseñados en la escuela, por ejemplo, muchos estudiantes confundían soluciones saturadas e insaturadas con soluciones diluidas y concentradas, trasluciendo de este modo un uso incorrecto de terminología científica y deficiente uso adecuado del concepto de concentración.

2. Comprensión de la concentración a nivel submicroscópico

Varios trabajos han evaluado la comprensión del tema disoluciones a través de representaciones submicroscópicas (átomos, iones y moléculas), dado que las mismas brindan explicaciones de las observaciones experimentales y también permiten evaluar en profundidad el conocimiento químico e identificar concepciones erróneas. A nivel submicroscópico la concentración es concebida como número de partículas por unidad de volumen.

La investigación educativa (por ej.: Nurrenbern y Pickering, 1987) ha comprobado que la resolución algorítmica o numérica de un problema no implica la comprensión de los conceptos implicados y, en particular, la comprensión a una escala submicroscópica. Alumnos que resuelven problemas correctamente empleando algoritmos o ecuaciones, no siempre visualizan ni comprenden los conceptos químicos que están detrás.

En el estudio de Smith y Metz (1996) se halló que alumnos universitarios sostienen muchas concepciones erróneas sobre el tema disoluciones que fueron detectadas a través de representaciones con partículas, muchas de las cuales no aparecieron al realizar problemas matemáticos tradicionales.

Devetak y otros (2009) indagaron la comprensión a nivel submicroscópico de los conceptos de disolución de solutos iónicos y moleculares y de concentración, en

estudiantes de secundaria de edad promedio de 16,3 años. El test que aplicaron incluía dos problemas sobre el tema de concentraciones. El primer problema presentó 3 recipientes con el mismo volumen de disolución acuosa, para cada uno tenían que representar una parte de la disolución con moléculas de soluto: en el primer esquema se afirma que hay seis moléculas de soluto, el segundo es dos veces más concentrado que el primero, y el tercero tiene un tercio de la concentración del segundo. En este problema, en el que se mantiene el volumen de disolución constante, obtuvieron el 45,6 % de respuestas correctas. En el segundo problema los estudiantes tuvieron que representar las moléculas de soluto en tres situaciones. Cada una de ellas muestra dos vasos, donde el volumen de disolución en el vaso A es el doble que en el vaso B. En la primera situación la concentración en ambos vasos es la misma, en la segunda el vaso A tiene la mitad de la concentración que el vaso B y en la tercera situación el vaso A tiene un tercio de la concentración que el vaso B. Este problema lo resolvió correctamente solo 18,1 %. Estas diferencias fueron atribuidas al hecho de que en el primer problema al ser a volumen constante los estudiantes debían pensar solo en el número de partículas de soluto. En cambio en el segundo, tenían que razonar con dos variables, número de partículas y volumen, con lo que se pone en juego la comprensión profunda del concepto de concentración.

Adadan y Savasci (2012) incluyeron dos ítems sobre concentración en la investigación llevada a cabo con 756 estudiantes de secundaria de edades 16-17 años. Los ítems empleaban representaciones de moléculas de azúcar, a través de puntos y triángulos, incluidas en círculos que magnificaban un pequeño volumen de disolución en los cuales se puede contar el número de moléculas. En el primer ítem el cambio que sufre la disolución es una dilución al doble de volumen y en el segundo el cambio es la extracción de un cuarto del volumen de la disolución. El 84% seleccionó la respuesta correcta en la dilución aunque el 51% eligió la fundamentación apropiada; en el caso de la extracción los porcentajes fueron 56% y 51 % respectivamente. Identificaron las siguientes concepciones alternativas: (a) si el volumen de la disolución aumenta por dilución, la cantidad de soluto disuelto por unidad de volumen decrece porque el agua adicional incrementa la solubilidad del azúcar (21%) y (b) si se extrae un cuarto del volumen de la disolución de azúcar, la cantidad de azúcar por unidad de volumen aumenta (32%). La primera concepción alternativa fue atribuida a que estos estudiantes conciben a las representaciones de las moléculas como granos de azúcar sin disolver y

por ello, con el agregado de agua, disminuye el número de granos no disueltos. Esta idea que al diluir una disolución el soluto se disuelve más fue encontrada también en alumnos universitarios en el estudio de Niaz (1995). La segunda concepción fue explicada por la suposición de estos estudiantes interpretaron que se extraía de la disolución solo agua y que las moléculas de azúcar que existían en la disolución original permanecían en la disolución resultante.

3. La definición y el simbolismo de concentración molar

La concentración molar (molaridad), es una medida de la concentración de un soluto en una disolución e indica la cantidad de moles de soluto por litro de disolución. Su unidad es mol/L o molar (M).

La molaridad, como unidad de concentración, es un concepto inicial que se aplica en la mayoría de los temas del currículo de química; a pesar de ello, existen aspectos formales que generalmente no han sido discutidos y que merecen una reflexión por parte de los profesores e investigadores en didáctica de la química.

Al respecto, es interesante comparar a la concentración con otra propiedad intensiva como la densidad, que es una magnitud que se indica con un solo símbolo “d” o “δ” y se expresa con distintas unidades, se habla de “densidad en”: g/cm³, Kg/m³, etc. Estas unidades no requieren de más aclaraciones, dado que se trata de unidades de masa por unidad de volumen de la sustancia. En cambio, el concepto de concentración, conlleva algunas dificultades intrínsecas, como el hecho de que muchas unidades de concentración dan nombre a una magnitud, por ejemplo: molaridad, molalidad, normalidad, porcentaje masa en masa, porcentaje masa en volumen, fracción molar de soluto, utilizando distintos símbolos para cada una de ellas. Estas magnitudes se emplean en distintas ecuaciones de la química, por ejemplo para calcular el efecto de las propiedades coligativas: el descenso crioscópico $\Delta T = K_c \cdot m$ (siendo m molalidad); la presión osmótica $\Pi = M \cdot R \cdot T$ (siendo M la molaridad), o el descenso de la presión de vapor $P_{\text{solucion}} = X_{\text{solvente}} \cdot P_{\text{solvente}}$ (siendo X_{ste} , la fracción molar del solvente). Esta situación se genera porque las unidades que se emplean, como por ejemplo moles/litro, no aportan toda la información necesaria, dado que se trata de moles de soluto y volumen de disolución.

Esta situación, ha llevado a proponer distintas alternativas superadoras, como el empleo de un solo símbolo C para concentración y referirse a “concentración en”; por ejemplo,

C_M , “concentración molar”, C_m “concentración molal”, $C_{\%m/v}$, etc. y de esta forma unificar la expresión de la magnitud concentración.

En el caso particular de la concentración molar, otro hecho que aporta a la confusión es que se utiliza la letra M tanto para la magnitud (molaridad) como para la unidad (molar), lo que genera confusiones en los estudiantes (Vincent, 1981). Esto se puede evitar utilizando la unidad mol/L en lugar de M. Desde estos argumentos, la molaridad y su símbolo M, podría dejar de utilizarse, porque como magnitud puede ser reemplazada por C_M y como unidad por moles/L. Es claro que se impuso el uso de molaridad como magnitud, y molar como unidad, porque es una forma sencilla de dar precisión a la unidad de concentración, con ello se sabe que se trata de moles de soluto por litro de disolución.

Estos aspectos también contribuyen a la complejidad del concepto que se manifiesta en las dificultades que muestran los estudiantes durante su aprendizaje.

4. Dificultades en la comprensión de la concentración molar

Johnstone (1983) preguntó a estudiantes de 16 años, cuál de las siguientes disoluciones de cloruro de sodio es la más concentrada: (a) 1000 mL 2 M, (b) 800 mL 3 M, (c) 500 mL 4 M o (d) 200 mL 5 M. La mitad de los estudiantes contestaron que era la opción b, es decir la que tiene más número de moles, evidenciando cierta confusión entre número de moles y concentración. Johnstone indica que el tema de una sustancia en disolución agrega a la comprensión de aspectos relacionados con la estequiometría, el problema de entender además propiedades extensivas e intensivas.

Gabel y otros (1984) investigaron a través de entrevistas con la técnica think-aloud, la forma en que 266 estudiantes resolvían problemas de moles, estequiometría, leyes de los gases y molaridad. Los resultados mostraron que los estudiantes exitosos en la resolución, y los que poseían alta capacidad de razonamiento proporcional, tendían a usar estrategias algorítmicas más frecuentemente que los no exitosos y de bajo razonamiento proporcional. Sin embargo, la mayoría de los estudiantes resolvían los problemas usando técnicas algorítmicas sin una comprensión de los conceptos involucrados en ellos. Tanto los estudiantes exitosos como los no exitosos evidenciaron insuficientes habilidades en responder preguntas sobre leyes de los gases y molaridad debido a falta de comprensión conceptual.

Gabel y Samuel (1986) investigaron las dificultades que presentaron 497 estudiantes de secundaria en resolver problemas de molaridad y problemas análogos basados en

materiales cotidianos como limonada. Hallaron que las dificultades encontradas en el test análogo son similares a las encontradas en el test químico, por ejemplo en situaciones donde se agregaba agua a la solución (dilución) o se evaporaba (aumento de la concentración). De acuerdo a estos resultados afirman que las dificultades van más allá de la no comprensión de términos como molaridad, moles o masa molar, dado que estos procesos de dilución y aumento de la concentración por evaporación no son entendidos en el ámbito familiar. Concluyeron que, con la enseñanza frecuente de la química, muchos estudiantes aprenden a enfrentar los problemas químicos en forma algorítmica, sin comprender los principios que subyacen en la resolución de problemas y su relación con los fenómenos cotidianos.

Dahsah y Coll (2008) investigaron la comprensión de conceptos relacionados con el de estequiometría, entre ellos el de concentración molar. Para ello presentaron a 97 estudiantes de grado 10 y 11, una situación similar a la empleada por Johnstone (1983), consistente en distintos volúmenes de disoluciones con su respectiva concentración en mol/dm³ y preguntaron cuál de las soluciones era la más concentrada. Hallaron que solo el 1 % comprendió que la concentración de una disolución no depende del volumen de la disolución sino de la relación de soluto en un volumen de solvente o solución. Para la mayoría la disolución con más cantidad de moles de soluto era la más concentrada.

Sumado a lo anterior, varios estudios revelan la persistencia de los estudiantes en no diferenciar “cantidad de sustancia” (número de moles) de “concentración” (molaridad). Confusiones entre cantidad y concentración se observaron en el aprendizaje del tema titulaciones (Vincent, 1981, Frazer y Servant, 1986), donde algunos estudiantes usaban el término molaridad para significar el número de moles.

Discusión

En muchos de los estudios que se dedicaron a analizar la comprensión a nivel submicroscópico de las disoluciones acuosas (como el de Devetak y otros, 2009 y el de Berg, 2012), se encontró que algunos estudiantes focalizaban en el número de partículas más que en el número de partículas por unidad de volumen, poniendo en evidencia la falta de discusión del concepto de concentración a nivel submicroscópico como número de partículas de soluto por unidad de volumen.

Por otro lado, algunas de las dificultades encontradas pueden tener su origen en las características de esas representaciones con partículas. Por ejemplo, muchas de las

representaciones que se utilizan para evaluar la comprensión del concepto concentración a nivel submicroscópico resultan confusas, dado que combinan aspectos macroscópicos con entidades submicroscópicas. El volumen donde se representan las moléculas de soluto queda delimitado por las paredes del recipiente y la superficie horizontal de la disolución líquida. Este hecho es fuente de concepciones erróneas, por ejemplo los diagramas empleados por de Berg (2012). Además, generalmente, se incluyen en el recipiente un pequeño número de partículas de soluto, representadas por puntos, distribuidas en el volumen total del recipiente y no se dibujan las moléculas de agua, dando una apariencia de un sistema gaseoso. La decisión de no incluir las moléculas del solvente, cuando es advertida en la consigna, persigue la intención de mejorar la claridad del dibujo.

En definitiva, muchas dificultades que se detectan en ítems que evalúan la comprensión conceptual del concepto concentración con representaciones con partículas pueden deberse a cuestiones de interpretación de la información implícita contenida (Raviolo, 2019), de lo que representa el simbolismo empleado y de las convenciones utilizadas en su diseño, más que a confusiones relacionadas al concepto de concentración.

La interpretación de los fenómenos químicos no queda reducida solo al nivel de representación submicroscópico (Talanquer, 2011). Las explicaciones en química no se limitan solo a ese nivel de representación, también se emiten explicaciones centradas en los niveles macroscópico y simbólico poniendo en juego variables o propiedades macro del sistema estudiado. En un reciente artículo (Raviolo y Farré, 2019) se analizan los resultados obtenidos con un instrumento que demanda a los estudiantes razonar con las relaciones entre las variables macroscópicas involucradas en el concepto de molaridad.

Conclusiones

En la bibliografía se encuentran pocos artículos que traten sobre el aprendizaje de la concentración de las disoluciones en forma exclusiva. La mayoría aborda el tema entre otros o de una forma indirecta. No se encuentran artículos de revisión bibliográfica.

En definitiva, las dificultades en el aprendizaje del concepto de concentración surgen por: (a) conocimiento superficial de los conceptos previos, relacionados con la naturaleza de las disoluciones, que se requieren para comprender el concepto de concentración, (b) la poca relación con fenómenos cotidianos y unidades de uso más frecuente como el gramo, (c) la carencia de visualizaciones macro y micro de las

cantidades de soluto, de solución y de concentración, (d) no operar mentalmente con razonamientos de proporcionalidad directa e inversa en un contexto de control de variables, (e) falta de aplicación de la naturaleza intensiva de la concentración, de concebirla como cantidad de soluto por unidad de volumen, (f) confusión entre n y M , usan el simbolismo de una forma indistinta y (g) uso mecánico de algoritmos al resolver problemas, sin una acabada comprensión conceptual de los conceptos involucrados. Todas estas dificultades y concepciones deben ser abordadas en la enseñanza con actividades específicas orientadas a su superación.

Referencias bibliográficas

- Adadan, E. y Savasci, F. (2012). An analysis of 16-17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. *International Journal of Science Education*, 34(4), 513-544.
- Calik, M. (2005). A cross-age study of different perspectives in solution chemistry from junior to senior high school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 671-696.
- de Berg, K. (2012). A study of first-year chemistry students' understanding of solution concentration at the tertiary level. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 8-16.
- Dahsah, C. y Coll, R. (2008). Thai grade 10 and 11 students' understanding of stoichiometry and related concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 573-600.
- Devetak, I., Vogrinc, J., Glažar, S. (2009). Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. *Research Science Education*, 39(2), 157-179.
- Duncan, I. y Johnstone, A. (1973). The mole concept. *Education in Chemistry*, 10(6), 213-2014.
- Frazer, M y Servant, D. (1986). Aspects of stoichiometry-titration calculations. *Education in Chemistry*, 23(2), 54-56.
- Gabel, D., Sherwood, R. y Enochs, L. (1984). Problem- solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233.

- Gabel, D. y Samuel, K. (1986). High school students' ability to solve molarity problems and their analog counterparts. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2), 165-176.
- Gabel, D. y Bunce, D. (1994). Research on problem solving: chemistry. In Gabel D.L. (ed), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 301-326.
- Johnstone, A. H. (1983). Chemical education research: Facts, findings, and consequences. *Journal of Chemical Education*, 60(11), 968-971.
- Niaz, M. (1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakotasian interpretation. *Science Education*, 79, 19-36.
- Nurrenbern, S. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508-510.
- Pinarbasi, T. y Canpolat, N. (2003). Students' understanding of solution chemistry concepts. *Journal of Chemical Education*, 80 (11), 1328-1332.
- Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. *Educación Química*, en prensa.
- Raviolo, A. y Farré, A. (2019). Razonando con molaridad. *Educación en la Química*, 24(2), 126-136.
- Smith, K. y Metz, P. (1996). Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *Journal of Chemical Education*, 73(3), 233-235.
- Stavy, R. (1981). Teaching inverse functions via the concentrations of salt water solution. *Archives de Psychologie*, 49, 267-287.
- Stavy, R. y Tirosh, D. (1996). Intuitive rules in science and mathematics: the case of "more of A-more of B". *International Journal of Science Education*, 18(6), 653-667.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195.

Vincent, A. (1981). Volumetric concepts – student difficulties. *Education in Chemistry*, 18(4), 114-115.