

Para reflexionar

RAZONANDO CON MOLARIDAD

Andrés Raviolo y Andrea S. Farré

Profesorado en Química. Universidad Nacional de Río Negro, Bariloche.

E-mail: araviolo@unrn.edu.ar; asfarré@unrn.edu.ar

Resumen. En el marco de los estudios que comparan la resolución de problemas conceptuales versus algorítmicos, se presenta un instrumento para un abordaje conceptual de la concentración molar, que se centra en razonamientos sobre propiedades macroscópicas de disoluciones. Los resultados, obtenidos del relevamiento realizado a 76 estudiantes universitarios, muestran que presentan mayores dificultades en el caso de la proporcionalidad inversa entre molaridad y volumen de disolución, si se considera un número de moles constante. Se llevaron a cabo entrevistas a 16 estudiantes con la técnica de pensando en voz alta. Las respuestas (razonamientos y estrategias) fueron clasificadas en cuatro categorías. Un hallazgo importante de esta investigación es que muchos estudiantes confunden el número de moles con molaridad, y utilizan en forma indistinta estos conceptos. Este instrumento, que estimula el pensar, resulta motivante tanto para estudiantes como para docentes y puede emplearse en distintas instancias de enseñanza.

Palabras clave: Molaridad, Comprensión conceptual, Razonamientos.

Reasoning with molarity

Abstract. Within the framework of studies that compare the resolution of conceptual versus algorithmic problems, an instrument is presented for a conceptual approach to molar concentration, which focuses on reasoning on macroscopic properties of solutions. The results, obtained from the survey carried out on 76 university students, show that they present greater difficulties in the case of the inverse proportionality between molarity and volume of dissolution, if a constant number of moles is considered. Interviews were conducted with 16 students, with the technique of thinking aloud. The answers (reasoning and strategies) were classified into four categories. An important finding of this research is that many students confuse number of moles with molarity, and use these concepts interchangeably. This instrument, which stimulates thinking, is motivating for both students and teachers and can be used in different teaching instances.

Key words: Molarity, Conceptual understanding, Reasoning.

INTRODUCCIÓN

Varios estudios han mostrado que los alumnos de secundaria no tienen una adecuada comprensión del tema disoluciones (Gabel y Bunce, 1994; Calik, 2005) y que encuentran particularmente difícil el tema de molaridad (Gabel y Samuel, 1986). Estas dificultades se manifiestan incluso con alumnos universitarios (de Berg, 2012).

Se reconoce que resolver problemas aplicando mecánicamente algoritmos o fórmulas no implica, necesariamente, la comprensión de los conceptos químicos subyacentes, como ocurre por ejemplo con la interpretación a nivel submicroscópico, con átomos, iones y moléculas (Nurrenbern y Pickering, 1987). La resolución matemática de problemas y el arribar a un resultado final no siempre implican un conocimiento profundo de los conceptos involucrados. En otras palabras, la resolución algorítmica no garantiza que se hayan superado las concepciones erróneas que poseen o desarrollan los estudiantes con respecto a disoluciones.

Robinson y Nurrenbern (1990) definen a las cuestiones conceptuales como las que requieren del estudiante la creación de una respuesta que va más allá del simple recuerdo o la activación de un algoritmo. Las preguntas conceptuales poseen mayor demanda cognitiva dado que el estudiante tiene que sintetizar respuestas o evaluar un problema para seleccionar las estrategias y herramientas necesarias para arribar a una solución.

En esta línea, las cuestiones conceptuales más frecuentes incluyen situaciones con partículas. Hay que tener presente que las explicaciones en química no se limitan solo a interpretaciones a nivel submicroscópico, también se emiten explicaciones centradas en los niveles macro y simbólico, poniendo en juego variables o propiedades macro del sistema estudiado (Talanquer, 2011).

En este trabajo nos interesa la resolución de situaciones que involucran explicaciones con propiedades macroscópicas en el tema de concentración de disoluciones. Se encuentran pocas investigaciones que profundicen sobre las dificultades que presentan los estudiantes para el aprendizaje del tema concentración molar.

Dificultades conceptuales con la concentración molar

El concepto de concentración no resulta sencillo para muchos estudiantes (Johnstone, 1983; Dahsah y Coll, 2008), porque se debe entender que la concentración es una propiedad intensiva de la disolución. Si, por ejemplo, se retira un poco de la misma, lo que queda sigue teniendo la misma concentración; si se agrega solvente a la solución la concentración disminuye; si se agrega soluto a la solución la concentración

aumenta. 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.

Calik (2005) administró un test de lápiz y papel a 441 estudiantes de secundaria, de grado 7 al grado 10, donde incluye un ítem sobre concentración. El ítem solicita a los estudiantes comparar dos disoluciones contenidas en dos recipientes, con igual cantidad de solvente, a una se le agrega un cubo de azúcar y a la segunda, 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 frasco A es más diluida porque tiene menos azúcar que la otra. Se observó que muchos estudiantes confundían entre sí conceptos enseñados en la escuela, por ejemplo, confundían soluciones saturadas e insaturadas con soluciones diluidas y concentradas. Trasluciendo un uso incorrecto de terminología científica y escaso uso del concepto de concentración.

Dahsah y Coll (2008) investigaron la comprensión de conceptos relacionados a estequiometría, entre ellos el de concentración. Para ello presentaron a estudiantes de grado 10 y 11, distintos volúmenes de disoluciones 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 mayor cantidad de moles de soluto era la más concentrada. Resultados similares habían sido expuestos por Johnstone (1983), quien preguntó 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 de 16 años contestaron que era la opción b, es decir la que tiene más número de moles. Johnstone argumenta que el tema de una sustancia en disolución agrega, a la comprensión en el área de la estequiometría, el problema de las propiedades extensivas y las intensivas.

Específicamente, la concentración molar (molaridad, M), indica el número de moles de soluto por litro de solución y se expresa con la fórmula: $M=n/V$. El análisis lógico matemático de esta ecuación se plantea en el siguiente cuadro:

$M \cdot V = n$	$k =$ constante de proporcionalidad		
Si M es cte:	a mayor V, mayor n	a menor n, V menor	$V \cdot k = n$
Si V es cte:	a mayor M, mayor n	a menor n, M menor	$M \cdot k = n$
Si n es cte:	a mayor M, menor V	a menor V, M mayor	$M \cdot V = k$

Cuadro 1 Desarrollo lógico matemático del concepto molaridad

Comprender el concepto de molaridad implicaría establecer las relaciones adecuadas entre estas tres variables y demandaría, a los estudiantes, poner en juego razonamientos que involucran el control de variables y la proporcionalidad, en un contexto químico no familiar.

Realizar actividades conceptuales de estimación, empleando razonamientos de proporcionalidad y control de variable, favorece la metacognición al permitir controlar los resultados de ejercicios numéricos.

OBJETIVOS

- Presentar un instrumento conceptual sobre concentración molar, cuya resolución no requiere realizar cálculos numéricos.
- Indagar los razonamientos que se utilizan, y las dificultades que existen, en la comprensión del concepto de molaridad.

METODOLOGÍA

Se confeccionó el cuestionario Razonando con molaridad, atendiendo a las seis relaciones entre las variables expresadas en el cuadro anterior.

Razonando con molaridad

- 1) ¿Cuál de las siguientes disoluciones 2,0 M tiene mayor número de moles de soluto?
 - a. 300 mL
 - b. 500 mL
 - c. 100 mL

- 2) ¿Cuál de las siguientes disoluciones 1,5 M ocupa un volumen menor?
- tiene 0,10 moles de soluto
 - tiene 0,50 moles de soluto
 - tiene 0,25 moles de soluto
- 3) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene mayor número de moles de soluto, si se cuenta con 800 mL de cada una?
- 0,10 M
 - 0,20 M
 - 0,40 M
- 4) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene menor molaridad M, si se cuenta con 500 mL de cada una?
- tiene 1,0 moles de soluto
 - tiene 0,25 moles de soluto
 - tiene 0,50 moles de soluto
- 5) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene mayor molaridad M, si en todas hay 0,10 moles de soluto?
- 100 mL
 - 300 mL
 - 500 mL
- 6) ¿Cuál de las siguientes disoluciones ocupa un volumen menor, si en todas hay 0,20 moles de soluto?
- 0,80 M
 - 1,0 M
 - 1,4 M

Cuadro 2 Cuestionario Razonando con molaridad

Durante la administración de este instrumento, se indica a los estudiantes que deben resolverlo mentalmente, sin calculadora y sin realizar cálculos en la hoja.

En este estudio participaron 76 estudiantes de química general de primer año de tres universidades de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Estos alumnos pertenecen a tres carreras: Licenciatura en Biología (U. N. Comahue), Profesorado de Física y de Química (U. N. Río Negro) e Ingeniería Mecánica (U. Tecnológica Nacional).

Estos estudiantes habían asistido a clases teóricas, de resolución de problemas, prácticas de laboratorio y evaluaciones que incluyeron el tema concentración molar.

También se llevaron a cabo entrevistas a 16 estudiantes voluntarios con la finalidad de profundizar en las estrategias y los razonamientos que aplican al responder este cuestionario. El promedio obtenido en el cuestionario por estos estudiantes coincide con el de la muestra total (4,4). Se empleó la técnica de resolución de las cuestiones en voz alta que fue registrada en audio. Las respuestas (razonamientos y estrategias) fueron categorizadas de acuerdo al consenso alcanzado por los dos investigadores.

El análisis de las transcripciones de las entrevistas fue realizado en forma independiente por cada uno de los dos investigadores, luego se discutieron y acordaron las categorías finales.

RESULTADOS

De un total de 6 puntos máximo, el promedio general fue de 4,4 (N = 76). Los resultados obtenidos y el porcentaje de respuestas correctas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Resultados obtenidos.

Ítem	1	2	3	4	5	6
Opción a	1	54	7	13	59	30
Opción b	59	17	3	58	3	4
Opción c	16	5	66	5	14	42
% correctas	77,6	71,1	86,8	76,3	77,6	55,3

El 74,1% de las opciones elegidas por los estudiantes correspondió a la opción correcta, el 21,3% correspondió a la opción opuesta (tendencia contraria: si debían elegir la mayor elegían la menor, o viceversa), y solo un 4,6% a la intermedia. Esto permite aseverar que las opciones de este cuestionario no fueron elegidas al azar, sino siguiendo algún tipo de razonamiento.

La principal confusión se dio en el ítem 6, correspondiente a un razonamiento de proporcionalidad inversa.

Mayores dificultades se presentaron en los ítems 1, 2, 5 y 6. Para estos ítems se observa que si se invierte, en los enunciados, los conceptos n y M, se obtendría como respuesta correcta, en esta nueva versión, a la opción opuesta a la correspondiente de la versión original.

En la discusión se analizarán en profundidad estos resultados, junto con los obtenidos en las entrevistas.

En el análisis de las entrevistas se distinguieron cuatro categorías: (I) razonamientos de proporcionalidad con control de variables (7 alumnos), (II) concepto de molaridad, moles por unidad de volumen, entendiendo a la concentración como una propiedad intensiva (3 alumnos), (III) resolución numérica, cálculos mentales numéricos o uso de regla

de tres (6 alumnos) y (IV) indiferenciación entre la concentración molar y el número de moles (8 alumnos). Cabe aclarar que algunos estudiantes utilizaron a lo largo de la entrevista más de un tipo de razonamiento o estrategia para responder. En lo que sigue se ejemplifican las categorías con algunas citas de las entrevistas.

(I) Proporcionalidad con control de variables

“En todas tengo el mismo número de moles, la c es la más concentrada, al ser la más concentrada tiene que tener menor volumen.” (A2, ítem 6)

“Tendría que haber sido esta 0,25... porque si tengo el mismo volumen tiene que ser menor la cantidad de moles para que tenga menor molaridad.” (A6, ítem 4)

“En la misma cantidad de 800 mL, la mayor cantidad de molaridad, o sea de molar, te da con mayor cantidad de moles.” (A9, ítem 3)

“Si tiene menos moles, todos tienen la misma concentración molar, entonces si tiene 0,10 moles va implicar menos volumen, es lógico.” (A10, ítem 2)

(II) Concepto de concentración, moles por unidad de volumen, moles por litro, propiedad intensiva

“La concentración molar es la cantidad de moles por litro. Pienso que por litro son tanto...” (A10, ítem 4)

“Dado que esa propiedad, o sea la molaridad, a medida que aumente el volumen voy a tener mayor cantidad de soluto, porque la proporción sigue siendo la misma. Entonces en 500 mL voy a tener mayor número de moles de soluto.” (A11, ítem 1)

“Porque todas tienen la misma molaridad, sería la misma cantidad de moles por volumen, entonces la que tenga menos cantidad de moles tendría un volumen menor para que se cumpla la equivalencia.” (A14, ítem 2)

(III) Resolución numérica, uso regla de tres

“Hice la regla de tres simple, en mi cabeza... 1,5 moles hay en 1000 mL de solución entonces cuál es el más chico... y entonces haces la relación y eso te da el menor volumen... no hice las cuentas exactas, pero te das cuenta...” (A1, ítem 2)

“Hice los cálculos en mi mente. 2 M implica 2 moles en 1000 mL en 500 mL implica 1 mol... en 300 mL. Traté de comparar la mayor con la menor”. (A3, ítem 1)

“2 M implica que hay dos moles en 1000 mL, en 500 mL tantos moles... dice cuál es el mayor... yo hice las cuentas... los resolví todos igual,” (A9, ítem 19)

"Este es 0,40 M es el mayor, o sea que en 1000 mL va a tener 0,40 moles, si tomo 800 mL de estas tres muestras, ésta va a tener mayor cantidad de moles." (A13, ítem 3)

(IV) Indiferenciación concentración molar y número de moles (6 alumnos)

"Si las tres tienen la misma concentración... ésta que tienen mayor número de moles va a tener menor volumen, porque esta cantidad de moles va a estar en menor volumen porque tienen igual concentración... Mezclé concentración con número de moles, la iba cambiando a la concentración, mezclé número de moles con concentración, eso, porque yo lo que pensaba era el opuesto, a mayor cantidad de moles, tiene que ser menor volumen..." (A2, ítem 2)

"Tenés 0,20 de concentración, 0,20 molar.. tenés 0,20 moles de soluto." (A4, ítem 6)

"Supuse que al haber más soluto, más cantidad de agua, iba a haber menos moles, para mí era bastante lógico. Si hay más agua la concentración va a ser menor. Claro, pero yo me refiero a... todas son iguales... Ninguna es más concentrada porque todas tienen la misma cantidad de moles..." (A5, ítem 5)

DISCUSIÓN

En concordancia con los resultados obtenidos por Stavy (1981), la principal confusión se presentó en el ítem 6, correspondiente a un razonamiento de proporcionalidad inversa: si el número de moles se mantiene constante, la disolución de mayor concentración ocupará un volumen menor.

Los libros de texto de química general, como los escritos por Chang o por Brown y Le May, realizan la resolución de problemas sobre molaridad a partir de la fórmula $M = n/V$. En cambio, la enseñanza que recibieron los alumnos entrevistados se basó en planteos tipo regla de tres, orientados a diferenciar cantidad de moles de concentración, que insistía en expresar relaciones como la siguiente: "0,50 M implica 0,50 moles de soluto en 1000 mL de disolución...". Se les explicó que planteos como el siguiente eran erróneos: "0,50 M en 1000 mL entonces en 200 mL de esa disolución hay 0,10 M".

Algunos entrevistados realizaron más de un tipo de razonamiento o estrategia de respuesta. Por ejemplo, dos entrevistados que se basaron en una resolución numérica, o en planteos de tipo regla de tres, también evidenciaban la confusión conceptual entre número de moles y concentración molar.

La no diferenciación de los conceptos n y M , puede explicar los resulta-

dos obtenidos, explicar el hecho de que se presentan mayores dificultades en los ítems 1, 2, 5 y 6. Dado que para estos ítems invertir en los enunciados los conceptos n y M significaría la elección de la respuesta opuesta. En cambio, en los ítem 3 y 4, dado que es a volumen constante, la confusión entre n y M daría la misma respuesta. Por ejemplo en el ítem 6, si se "lee" cambiando n por M , "¿Cuál de las siguiente disoluciones ocupa un volumen menor si todas tiene $0,20 M$?" se elegiría la de $0,80$ moles (opción errónea elegida por el 30% de los estudiantes).

Varios estudios revelan la persistencia de los estudiantes en no diferenciar cantidad de sustancia de concentración (número de moles de 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. Esta dificultad también se detectó en dos tercios de los alumnos entrevistados sobre el equilibrio químico en el estudio realizado por Bergquist y Heikkinen (1990). Esto resalta la importancia de hacer frente a este problema durante la enseñanza del tema concentraciones de disoluciones para evitar que estas concepciones se sigan manifestando en temas posteriores.

Esta indiferenciación entre molaridad (M) y número de moles (n) es un caso de indiferenciación conceptual que se ha presentado en otras investigaciones y que Talanquer (2006) ha caracterizado como un razonamiento heurístico que les permite a los estudiantes simplificar el análisis de problemas o la interpretación de conceptos, reduciendo los factores a ser considerados. La toma de conocimiento de este tipo de razonamiento por parte de los profesores los ayudará a interpretar las ideas de los estudiantes de una forma más comprensiva.

CONCLUSIONES

Comprender y aplicar el concepto de concentración molar va más allá del dominio de razonamientos como proporcionalidad y control de variables, dado que para poder emplearlos adecuadamente el estudiante debe tener un conocimiento sobre la naturaleza de las disoluciones acuosas y sobre la naturaleza de las variables involucradas.

La concentración molar (M), que es una variable intensiva de la disolución, depende de dos variables extensivas. Es directamente proporcional al número de moles del soluto (n) e inversamente proporcional al volumen de la disolución (V).

Los razonamientos de proporcionalidad en los problemas de concentraciones tienen su dificultad particular, dado que está implícito otro razonamiento: el control de variables. Se analiza la relación entre dos variables dejando una tercera constante. No siempre los estudiantes son conscientes de que están dejando una variable constante, o que están

razonando con la relación de número de moles por unidad de volumen. La enseñanza debe prestar atención a estos aspectos, dado que las variables como número de moles, volumen de disolución y molaridad, no son familiares para los estudiantes y son variables abordadas en el ámbito académico. Esto induce a que algunos estudiantes no diferencien los conceptos y razonen usando indistintamente número de moles y concentración.

En definitiva, las dificultades en la resolución de problemas o ejercicios, como los presentados en los libros de texto, se deben a la falta de habilidades de razonamiento, a la falta de conocimiento químico y/o al uso mecánico de procedimientos algorítmicos. Los estudiantes, como fruto de su experiencia como alumnos, confían más en procedimientos algorítmicos que en el uso de estrategias de razonamiento que requieren la comprensión de conceptos (Gabel y otros, 1984).

Este instrumento, que hace pensar, resulta motivante tanto para estudiantes como para docentes, y es adecuado para distintas instancias de enseñanza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergquist, W. y Heikkinen, H. (1990). Student ideas regarding chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 67(12), 1000-1003.
- 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.
- 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.
- Nurrenbern, S. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508-510.
- Robinson, W. y Nurrenbern. S. (1990), *Conceptual questions*, consultada el 20 de marzo de 2018 en la URL: <http://www.jce.divched.org/JCEDLib/QBank/collection/CQandChP/CQs/TypesOfCQs.html>
- Stavy, R. (1981). Teaching inverse functions via the concentrations of salt water solution. *Archives de Psychologie*, 49, 267-287.
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: a model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816.
- 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.