

Enseñar el concepto de concentración de disoluciones. Razonamientos y representaciones

Andrés Raviolo

UNRN. Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (LIDCiN). Bariloche.

El tema concentración de disoluciones es un tema básico de la química y de las ciencias experimentales en general. Es un tema para trabajar en profundidad en el nivel medio porque aprender este tema, con el enfoque propuesto en este artículo, promueve razonamientos científicos y la construcción de representaciones internas útiles para comprender este y otros conceptos.

La enseñanza frecuente de la concentración se realiza con un enfoque cuantitativo, se reduce al planteo y resolución de ejercicios numéricos, donde la concentración es expresada como una ecuación, por ejemplo molaridad, $M = n/V$, o concentración en gramos por litro, $C_{g/L} = m/V$. El rol de las y los estudiantes queda reducido a aplicar estas fórmulas en forma mecánica y a despejar de ellas alguna de las tres variables involucradas. Suelen realizarse pocas tareas experimentales en las que, generalmente, se preparan disoluciones de una concentración determinada.

La investigación didáctica ha comprobado que arribar a resultados numéricos en problemas de concentración no garantiza que las y los estudiantes tengan una adecuada comprensión de los conceptos involucrados.

En este artículo se profundiza sobre la enseñanza y aprendizaje del tema concentración de disoluciones desde un punto de vista más cualitativo, identificando los aspectos conceptuales del tema, para mostrar todo lo que se puede expresar y representar sobre el mismo, que no se limita a la resolución de problemas numéricos.

Los aspectos conceptuales del tema concentración, a los que habría que prestar atención en la enseñanza, se enumeran a continuación:

- Homogeneidad de la disolución: El soluto está uniformemente distribuido en todo el volumen de la mezcla. La concentración es la misma en toda la disolución.
- Homogeneidad a nivel submicroscópico: Las partículas de soluto (iones, moléculas) están distribuidas uniformemente en el volumen considerado.
- Concepto de concentración: La concentración es la cantidad de soluto por unidad de volumen de disolución (también puede expresarse por unidad de masa, de solvente o de solución).
- Concepto a nivel submicroscópico: La concentración es cantidad de partículas de soluto por unidad de volumen de disolución.
- Intensividad de la concentración: La concentración es una propiedad intensiva: no depende de la cantidad de disolución considerada. La concentración no varía en procesos como transferencia de una parte de una disolución, transferencia de la totalidad a otro recipiente con otra forma, o agregado de un volumen de la misma concentración.

- Extensividad del soluto: El número de unidades de soluto dependen de la cantidad de disolución considerada.
- Extensividad del volumen: El número de unidades de volumen dependen de la cantidad de disolución considerada.
- Relación directamente proporcional: La concentración es directamente proporcional a la cantidad de soluto, a volumen de disolución constante.
- Relación inversamente proporcional. La concentración es inversamente proporcional al volumen de disolución, a cantidad de soluto constante.
- Proporción: La concentración de una disolución no se modifica ante el agregado de soluto y el agregado de solvente si lo hacen manteniendo la proporción.
- Preparación: El proceso experimental con el cual se logra una disolución con la proporción o concentración deseada.
- Efecto dilución: La concentración de la disolución disminuye con el agregado de más solvente, a cantidad de soluto constante.
- Efecto concentración: La concentración de la disolución aumenta ante la evaporación de solvente, a cantidad de soluto constante.

Es clave tener presentes estos aspectos conceptuales para llevar adelante una enseñanza distinta. La enseñanza debería orientarse a brindar oportunidades para razonar con los conceptos, a través de estrategias (experimentales, simulaciones y animaciones, situaciones de lápiz y papel) que permitan a las y los estudiantes identificar, diferenciar y controlar las variables involucradas en el concepto de concentración, sobre todo la relación entre variables intensivas y extensivas.

Aprender estos aspectos conceptuales implica poner en juego razonamientos y representaciones. Razonamientos sobre la base de representaciones. Dos acciones del pensamiento que van juntas y que a los fines de la presentación de este artículo se disgregan.

Razonamientos

El concepto de concentración relaciona tres variables de la disolución: dos variables extensivas y una intensiva. Para ejemplificar se hará referencia a la unidad más simple de concentración, la expresada en gramos de soluto por litro de disolución, por involucrar unidades conocidas y de uso cotidiano. Empleando como solvente al agua y solutos conocidos como la sal común y el azúcar. Las variables extensivas son masa de soluto (m) expresada en gramos y volumen de disolución (V) expresada en litros. La variable intensiva es la concentración ($C_{g/L}$), cuya unidad es g/L. Comprender el concepto de concentración en g/L implicaría establecer las relaciones adecuadas entre estas tres variables, que demandarían poner en juego razonamientos que involucran el control de variables y la proporcionalidad, en un contexto químico.

Razonar en términos intensivos es considerar a la concentración como unidades de soluto por unidad de solución, gramos de soluto por litro de disolución, considerarla como una razón. Si se agrega a un recipiente 100 g de soluto y se completa con agua hasta los 5 litros y se homogeniza, se tiene una disolución de concentración 20 g de soluto por litro de solución. Otra unidad de concentración de uso frecuente es masa de soluto por 0,1 L de disolución (% masa en volumen, gramos de soluto por cada 100 mL de disolución).

Por tratarse con una razón matemática, se piensa en términos relativos, no absolutos, cantidad de soluto por unidad de volumen de mezcla, o cantidad de partículas por unidad de volumen. ¿Cuál de las siguientes disoluciones es más concentrada: (a) 40 g de soluto en 5 litros de disolución, (b) 30 g de soluto en 2 litros de disolución o (c) 10 g de soluto en 1 litro de disolución? Para determinar cuál es más concentrada se tiene que comparar todas por litro de disolución.

Como se aprecia de la lista de aspectos conceptuales, comprender el tema demanda el desarrollo de razonamientos de proporcionalidad directa e inversa, de cambio y conservación (identificar qué cambió y qué se mantuvo constante ante una acción), de control de variables (cómo es la relación entre dos variables dejando una tercera constante), de conservación de las sustancias (se trata de una mezcla, no de una reacción química), de conservación de las masas (la masa de la disolución es la suma de las masas de soluto y de solvente).

El tema de concentración de disoluciones fue elegido para ejemplificar situaciones en estudios sobre la proporcionalidad en educación matemática. En algunos de estos estudios, y de acuerdo a las edades del estudiantado, la concentración fue presentada con escalas cualitativas como: gusto más ácido en una limonada, mayor dulzura en disoluciones de azúcar en agua o mayor gusto a naranja en disoluciones de jugo de naranja en polvo en agua. Desde el punto de vista matemático, el razonamiento de proporcionalidad está inmerso en una situación que supone simultáneamente covarianza de cantidades e invariancia de razones o productos. La covarianza se refiere al cambio simultáneo en dos variables entre las que existe alguna relación que las vincula y la invariancia refiere a la constancia, en una o varias transformaciones, de la relación existente entre las dos variables.

Los problemas habituales que involucran razonamientos de proporcionalidad consisten en hallar el valor que falta, despejar de una fórmula o aplicar la regla de tres. A continuación se presenta un instrumento que incluye ítems de proporcionalidad como predicción cualitativa, del tipo: “Se tienen dos disoluciones con la misma concentración g/L ¿cuál tiene mayor masa de soluto: (a) la que ocupa menor volumen o (b) la que ocupa mayor volumen?”

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

Cuestionario: Razonando con concentración gramos por litro.

- 1) ¿Cuál de las siguientes disoluciones de concentración 2,0 g/L tiene mayor cantidad de gramos de soluto?
 - a. 300 mL
 - b. 500 mL
 - c. 100 mL
- 2) ¿Cuál de las siguientes disoluciones 1,5 g/L ocupa un volumen menor?
 - a. tiene 0,10 gramos de soluto
 - b. tiene 0,50 gramos de soluto
 - c. tiene 0,25 gramos de soluto
- 3) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene mayor cantidad de gramos de soluto, si se cuenta con 800 mL de cada una?
 - a. 0,10 g/L
 - b. 0,20 g/L
 - c. 0,40 g/L
- 4) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene menor concentración, si se cuenta con 500 mL de cada una?
 - a. tiene 1,0 gramos de soluto

- b. tiene 0,25 gramos de soluto
 - c. tiene 0,50 gramos de soluto
- 5) ¿Cuál de las siguientes disoluciones tiene mayor concentración, si en todas hay 0,10 gramos de soluto?
- a. 100 mL
 - b. 300 mL
 - c. 500 mL
- 6) ¿Cuál de las siguientes disoluciones ocupa un volumen menor, si en todas hay 0,20 gramos de soluto?
- a. 0,80 g/L
 - b. 1,0 g/L
 - c. 1,4 g/L
-

Los resultados de la aplicación de este cuestionario muestran que la principal confusión se presenta en el ítem 6, correspondiente a un razonamiento de proporcionalidad inversa: a masa de soluto constante, la disolución de mayor concentración ocupará un volumen menor. Una gran proporción elige la opción opuesta, que la solución de menor concentración ocupa el menor volumen.

Para construir este cuestionario se llevó adelante un control de variables, donde se fue dejando constante cada una de las tres variables y se analizó cómo varían la otras dos. Si $C = m/V$, implica que: $V \cdot C = m$. Si C es constante: a mayor V mayor m ; si V es constante: a mayor m mayor concentración; y si m es constante: a mayor C menor V . Controlar variables es necesario para poder comparar y sacar conclusiones.

Como se aprecia, desde el punto de vista matemático se trata de operaciones simples de multiplicar y dividir. Por ello, con frecuencia se asume que las dificultades que se observan en las y los estudiantes están en las unidades de concentración o sea en el contenido químico. Al respecto, en este artículo se sostiene que las dificultades surgen de la enseñanza, del hecho de que no se aborda el tema con un enfoque adecuado, al no brindar oportunidades para que las y los estudiantes visualicen, manipulen y piensen, sobre la concentración, en las que se planteen situaciones problemáticas cualitativas.

Representaciones

En este apartado se reflexiona sobre las imágenes que se presentan relacionadas a la concentración. Representaciones externas que tendrán influencia en la construcción de representaciones internas o modelos mentales.

Para comprender el mundo que nos rodea, y aprender significativamente los conceptos científicos, se necesita construir representaciones mentales adecuadas. Se piensa con el concepto de concentración a partir de representaciones internas verbales y pictóricas. Estas representaciones mentales del concepto nos permiten evaluar como verdaderas o falsas a proposiciones o afirmaciones cualitativas como la siguiente: “La concentración de la disolución aumentó al doble al aumentar el volumen de la disolución al doble con el agregado de agua” (afirmación falsa).

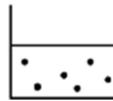
Si se pregunta a las y los estudiantes sobre qué se imaginan durante la resolución de situaciones como las expresadas en el cuestionario anterior, se verifica que no hay una representación mayoritaria común y que estas representaciones hacen referencia a objetos, propiedades o procesos macroscópicos. Generalmente no se refieren espontáneamente a partículas submicroscópicas: átomos, iones o moléculas. Los estudiantes que aluden a procesos macroscópicos (como la preparación de la disolución) traslucen una comprensión descriptiva, superficial, una visión dinámica de

la concentración, al no poder focalizarse en el sistema, en la mezcla homogénea, y analizar correctamente la relación entre sus variables.

La investigación educativa 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 (átomos, iones y moléculas). Muchas concepciones erróneas sobre el tema disoluciones fueron detectadas a través de representaciones con partículas, y no por la resolución de problemas tradicionales. A nivel submicroscópico la concentración es concebida como número de partículas (ej. moléculas de azúcar) por unidad de volumen de disolución. En algunos estudios en nivel medio se encontraron dificultades para identificar y relacionar correctamente las variables involucradas; por ejemplo, algunos estudiantes focalizaban solamente en el número de partículas y no en el número de partículas por unidad de volumen.

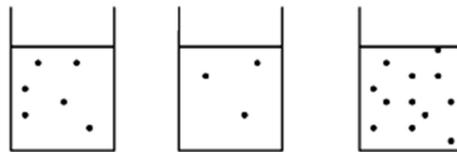
A continuación se muestran dos problemáticas con diagramas de partículas empleadas en investigaciones didácticas:

I) El vaso de vidrio B tiene el doble de volumen de disolución que el vaso A. En el vaso A se encuentran disueltas 6 moléculas de azúcar. Las moléculas de agua no se muestran para simplificar los diagramas.



Vaso A

(a) ¿Cuál de las siguientes alternativas representa al vaso B, si en ambos vasos hay la misma concentración?

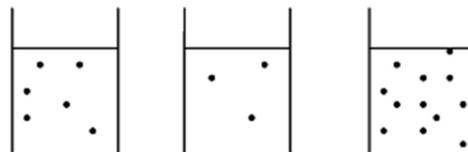


(a)

(b)

(c)

(b) ¿Cuál de las siguientes alternativas representa al vaso B, si en el vaso B hay la mitad de la concentración de azúcar que en el vaso A?



(a)

(b)

(c)

(II) En la figura A se representan 500 mL de una disolución de azúcar en agua. Los puntos en los círculos magnificados representan moléculas de azúcar. Las moléculas de agua no se muestran para simplificar los diagramas. En la figura B el volumen de la disolución se llevó al doble agregando 500 mL de agua.

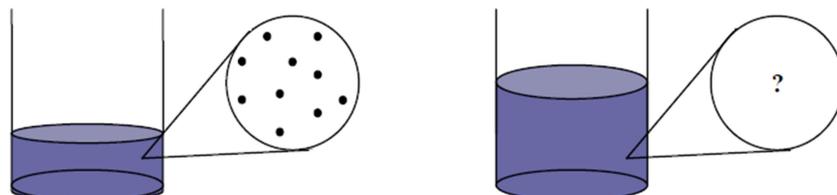
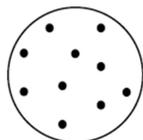


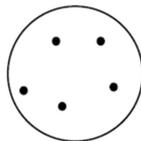
Figura A

Figura B

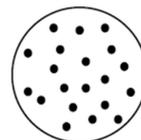
¿Cuál de los siguientes círculos magnificados mejor representa la disolución B, después del agregado de 500 mL de agua?



(a)



(b)



(c)

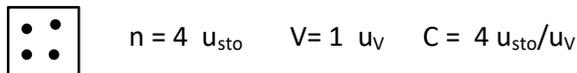
Si bien estas cuestiones conceptuales que emplean diagramas de partículas, han puesto en evidencia cierta falta de comprensión profunda del concepto de concentración, algunas de las dificultades y concepciones alternativas encontradas en investigaciones pueden tener su origen en las características de esas representaciones. Muchas de las representaciones a nivel submicroscópico resultan confusas dado que combinan aspectos macroscópicos con entidades submicroscópicas; por ejemplo en la primera problemática el volumen donde se representan las moléculas de soluto queda delimitado por las paredes del recipiente y la superficie horizontal de la disolución líquida, esto constituye una fuente de concepciones erróneas, que tiende a reforzar la idea de la naturaleza continua de la materia.

El empleo de diagramas de partículas para una disolución acuosa tiene sus complejidades propias o intrínsecas. Por ello requiere acordar con las y los estudiantes sobre la siguiente información implícita: (a) el círculo magnificado corresponde a un volumen muy pequeño, el contorno de este círculo no está representando las paredes de un recipiente, (b) las esferitas representan átomos, moléculas o iones, que se encuentran en movimiento, (c) esas partículas son indivisibles en los cambios que se abordan, no son granos, (d) las partículas de soluto están rodeadas de moléculas de agua, (e) las moléculas de agua no se han dibujado para simplificar el dibujo (la imagen resultante es igual que la que se emplearía para representar un gas), (f) las partículas de soluto se distribuyen uniformemente en el volumen considerado. A la que habría que agregar que cuando se comparan círculos magnificados, como en la cuestión II, esos círculos representan volúmenes iguales.

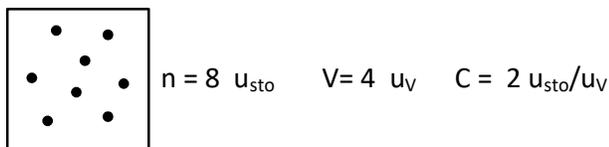
Tanto las investigaciones sobre las concepciones alternativas de los estudiantes sobre el concepto de concentración como la indagación que hemos llevado a cabo, muestran que no puede dejarse librado a que las y los estudiantes construyan solos representaciones internas adecuadas sobre el tema. Es necesario llevar adelante acciones sistemáticas en la enseñanza. En tal sentido, resultan útiles en la construcción de estas representaciones internas los modelos analógicos didácticos, como el MADCo. Empleando este modelo se puede visualizar las unidades de soluto, contarlas y ver, por ejemplo, que no cambian en una dilución. También visualizar qué cambia con el agregado de más soluto o con la extracción de parte del volumen de disolución. Como en los diagramas de partículas, las moléculas de agua no se representan para simplificar el dibujo y potenciar su utilidad.

El modelo analógico didáctico sobre concentración (MADCo) es un modelo de dos dimensiones, donde los círculos representan unidades de soluto y los rectángulos volúmenes de disolución. Este modelo sobre concentración es genérico, relaciona unidades de soluto en general con unidades de volumen de la disolución, de forma tal que las y los usuarios pueden pensar en distintas unidades de cantidad de soluto, tanto macroscópicas (gramos, moles) como submicroscópicas (moléculas, iones).

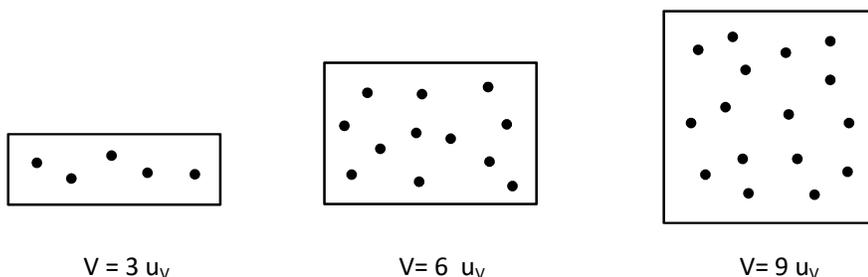
En la siguiente imagen se aprecia una unidad de volumen de disolución (u_v) y 4 unidades de soluto (u_{sto}), por lo tanto la concentración es 4; es decir, 4 unidades de soluto por unidad de volumen de disolución o $4 u_{sto}/u_v$.



En la siguiente imagen se representan 8 unidades de soluto en 4 unidades de volumen de disolución; por lo tanto, la concentración es 2 unidades de soluto por unidad de volumen de disolución o $2 u_{sto}/u_v$.



Las correspondencias con la realidad son más funcionales que estructurales. Con respecto a lo estructural, en el modelo al igual que en la realidad se da que: (a) la masa es extensiva, (b) el volumen es extensivo, (c) la concentración es intensiva. Este aspecto es una de las observaciones importantes a remarcar al estudiantado. Respecto a lo funcional, el modelo se comporta análogamente ante situaciones donde, por ejemplo, se modifica: (1) la cantidad de disolución, (2) la cantidad de soluto, (3) la cantidad de solvente (dilución y concentración). El modelo permite visualizar esos cambios, predecir lo que va a ocurrir y representar la situación final. Por ejemplo ante la siguiente situación: ¿Cuál de las siguientes tres disoluciones es más concentrada? Explique:

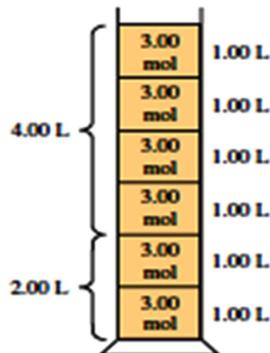


Otro recurso valioso son las simulaciones, por ejemplo las simulaciones del entorno de PhET, que permiten la modificación de distintas variables y observar su efecto sobre la concentración. En la simulación “Concentración” se puede manipular las distintas variables observando las modificaciones en el valor de la concentración (molaridad): selección de soluto, agregado de soluto, agregado de solvente, evaporación de solvente, extracción del soluto, vaciado del recipiente, agregado de

más solución. Muchas simulaciones están acompañadas de animaciones con partículas, que permiten acceder a visualizaciones del sistema a nivel iones y moléculas.

Las actividades de lápiz y papel o con la computadora, deben ser complementarias a actividades experimentales sencillas, que incluyan procesos como: preparación de disoluciones en distintas unidades de concentración, dilución y evaporación de disoluciones, mezcla de disoluciones de distinta concentración, etc.; las cuales deben problematizarse con preguntas del tipo: ¿cuál es más concentrada? ¿cuál tiene mayor cantidad de soluto? ¿cómo explicarías a nivel partículas? De esta forma fomentar la integración de los diferentes niveles de representación de una manera adecuada, y promoviendo que el razonamiento de proporcionalidad vaya más allá de una relación matemática y tenga sentido químico.

La siguiente representación macroscópica aporta una imagen adecuada para dar respuesta a la cuestión: "A una disolución que contiene 6 moles de soluto en dos litros de disolución se le agrega cuatro litros de una disolución del mismo soluto que contiene 12 moles, ¿cuál es la concentración de la mezcla resultante?"



En esta imagen se visualiza la intensidad de la concentración (3 moles por litro) y el concepto de proporción: la concentración de una disolución no se modifica ante el agregado de soluto y el agregado de solvente si lo hacen manteniendo la proporción.

Conclusiones

Estudiantes que se muestran dependientes de los materiales concretos o de los números no logran abstraer totalmente, y comprender en profundidad, el concepto de concentración y aplicarlo eficientemente en distintas situaciones cualitativas. Para abstraer los conceptos, las y los estudiantes tienen que estar expuestos a múltiples representaciones del fenómeno incluyendo diagramas submicroscópicos y modelos físicos. Estas representaciones externas no se incluyen con una función decorativa sino con una función explicativa y predictiva.

En las actividades de modelización basadas sobre animaciones, diagramas de partículas y modelos analógicos didácticos es importante fomentar en las y los estudiantes la explicitación o verbalización de lo que ven y evaluar la adecuación de los razonamientos puestos en juego.

En este artículo se hallan muchas claves para analizar los aprendizajes de los estudiantes sobre el tema y llevar adelante una enseñanza que promueva procesos activos y complementarios de razonamiento y representación.

Bibliografía

Raviolo, A. y Farré, A. (2020). Aprendizaje conceptual del tema concentración de disoluciones: análisis de imágenes de libros de texto universitario. *Educación Química* (México), 31 (3), 119-133.

Raviolo, A. y Farré, A. (2020). Las representaciones de los estudiantes sobre el concepto de concentración de disoluciones. *REDEQUIM. Revista Debates em Ensino de Química* (Brasil), 6 (2), 97-113.

Raviolo, A., Traiman, N. y Farré, A. (en prensa). La comprensión del concepto de concentración en gramos por litro. *Enseñanza de las Ciencias* (España).

Raviolo, A. (en prensa). Visualización del concepto de concentración a través de un modelo analógico didáctico. *Educação Química em Punto de Vista* (Brasil).

Andrés Raviolo es profesor e investigador de la Universidad Nacional de Río Negro, San Carlos de Bariloche. Dirige el Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (LIDCiN).