



# La comprensión de estudiantes de primer año de universidad del concepto de concentración expresada en gramos por litro

## First-year university students' understanding of the concept of concentration expressed in grams per liter

Andrés Raviolo, Nayla Traiman Schroh, Andrea Farré

Universidad Nacional de Río Negro. Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales. Bariloche. Río Negro. Argentina.  
araviolo@unrn.edu.ar, ndtraiman@unrn.edu.ar, asfarré@unrn.edu.ar

**RESUMEN** • Se presenta una discusión en torno al aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones en general y de concentración expresada en gramos por litro en particular. Distintos enfoques se han tenido en cuenta, incluyendo resultados del campo de la educación matemática. La problemática del aprendizaje del concepto de concentración en g/L no ha sido abordada con anterioridad. Se muestran y discuten los resultados obtenidos de la aplicación a 140 estudiantes argentinos de primer año de universidad, del cuestionario «Razonando con concentración gramos por litro» que indaga las relaciones lógico-matemáticas entre las variables  $m$ ,  $V$  y  $C_{g/L}$ . Se analizan también las respuestas obtenidas en entrevistas, pensando en voz alta, sobre los ítems de este cuestionario realizadas a 18 estudiantes. De los resultados se desprende que más de la mitad de los estudiantes de primer año de universidad no poseen un conocimiento conceptual profundo de concentración en g/L. La principal dificultad yace en tareas de proporcionalidad inversa cuando deben relacionar cualitativamente la masa de soluto (extensiva) y la  $C_{g/L}$  (intensiva) para determinar qué disolución ocupa un menor volumen.

**PALABRAS CLAVES:** Concentración disoluciones; g/L; Proporcionalidad; Aprendizaje.

**ABSTRACT** • As an approach to the learning of the concentration of solution concept, the article discusses literature from different perspectives, including results from the mathematics education field. Main focus is on the concentration in the concept of grams per liter. Learning the concept of concentration in g/L as a problem has not been previously addressed in the literature. The research applied the «Reasoning with concentration grams per liter» questionnaire to 140 Argentinian freshmen students. The questionnaire asks students to think about logical-mathematical relationships between the variables  $m$ ,  $V$  and  $C_{g/L}$ . A discussion from questionnaire results follows. In addition, 18 students participated in think-aloud interviews about the items of this questionnaire. Results from the questionnaire and the interviews show that more than half of the freshmen students do not have a deep conceptual knowledge about concentration in g/L. The main difficulty lies in inverse proportionality tasks: when students must qualitatively relate the solute mass (extensive) and the  $C_{g/L}$  (intensive), in order to determine which solution occupies a smaller volume.

**KEYWORDS:** Concentration solutions; g/L; Proportionality; Learning.

Recepción: marzo 2020 • Aceptación: julio 2020

## INTRODUCCIÓN

Tanto en la escuela media como en la universidad, el tema de disoluciones es fundamental en el currículo de ciencias experimentales. Si bien los aspectos cualitativos ligados al proceso de disolución resultan relevantes, también lo son los aspectos cuantitativos vinculados al concepto de concentración. Específicamente, el concepto de concentración es básico, ya que se emplea en la mayoría de los temas de la química; sin embargo, como se muestra más adelante, no resulta sencillo para la mayoría de los estudiantes. En la revisión llevada a cabo por Gabel y Bunce (1994) se concluye que estudiantes de secundaria no logran una adecuada comprensión del tema de disoluciones en aspectos como la homogeneidad, la conservación de las sustancias, la conservación de las masas y los procesos de disolución, dilución y evaporación de solvente. No obstante, la mayoría de las investigaciones se han centrado en las ideas de los estudiantes sobre la naturaleza de las disoluciones y el proceso de disolución más que en sus aspectos cuantitativos (Calyk et al., 2005).

Las dificultades en el aprendizaje del concepto de concentración han sido abordadas con estudiantes de secundaria por varios estudios (Gabel y Samuel, 1986; Heyworth, 1999; Calik, 2005; Devetak et al., 2009; Adadan y Savasci, 2012), estas dificultades perduran incluso con estudiantes universitarios (Niaz, 1995; Pinarbasi y Canpolat, 2003; De Berg, 2012; Ryan, 2012). A pesar de la relevancia del concepto, en comparación con otros abordados en el campo de la investigación en la enseñanza de la química, existen pocas investigaciones centradas en el aprendizaje del concepto de concentración. Esto se acentúa especialmente en el nivel universitario, razón por la que en este artículo se pretende contribuir a remediar este aspecto. En cuanto a las unidades de concentración, algunos de los artículos citados (Gabel y Samuel, 1986; Niaz, 1995; Heyworth, 1999; Ryan, 2012) indagan sobre el aprendizaje de la molaridad, pero ningún artículo de los revisados se refiere explícitamente a la comprensión del concepto de concentración medida en gramos por litro (g/L).

En este sentido, este artículo tiene como objetivo profundizar sobre la forma en que estudiantes de primer año de universidad comprenden el concepto de concentración expresada en g/L intentando articular los aportes realizados con distintas orientaciones, como la resolución de problemas o el aprendizaje conceptual, incluyendo también resultados de la investigación en educación matemática sobre proporcionalidad. Se centra en el aprendizaje conceptual, ya que en nuestro país el enfoque competencial está poco difundido en el nivel universitario. Además, como sostiene Sanmartí (2020), el conocimiento sigue siendo importante y a veces cuando se habla de habilidades, capacidades o competencias parecería que el conocimiento queda en un segundo plano.

### El aprendizaje del concepto de concentración de disoluciones

El concepto de concentración no resulta sencillo para muchos estudiantes (Calik, 2005) porque requiere el conocimiento de conceptos previos, como sustancia y mezcla, mezcla homogénea, disolución, soluto, solvente, masa y volumen. Se debe entender que la concentración es una propiedad intensiva de la disolución, es decir, al ser la disolución una mezcla homogénea, la concentración es una propiedad constante, independiente de la extensión del sistema considerada. Si, por ejemplo, se retira un poco de esta, lo que queda sigue teniendo la misma concentración. También se debe contar con razonamientos de proporcionalidad (Stavy, 1981) para comprender que si se agrega soluto a la solución la concentración aumenta (la concentración es directamente proporcional a la cantidad de soluto, si el volumen de disolución permanece constante) y si se agrega solvente la concentración disminuye (la concentración es inversamente proporcional al volumen de la disolución, si la cantidad de soluto permanece constante).

Muchas concepciones erróneas sobre el tema de las disoluciones fueron detectadas a través de representaciones con partículas (por ejemplo, moléculas). A nivel submicroscópico, la concentración es concebida como número de partículas por unidad de volumen. En algunos estudios, en nivel medio (Devetak et al., 2009) y en nivel universitario (Smith y Metz, 1996; de Berg, 2012) se encontraron dificultades para identificar y relacionar correctamente estas variables. Por ejemplo, algunos estudiantes focalizaban solamente en el número de partículas y no en el número de partículas por unidad de volumen. En el estudio llevado a cabo por Devetak et al. (2009) se obtuvieron mejores resultados cuando, por poner un caso, los estudiantes tenían que dibujar el doble de partículas para obtener una disolución el doble de concentrada, es decir, cuando la situación presentada era a volumen constante y los estudiantes debían pensar solo en el número de partículas de soluto para llegar a la concentración. Las dificultades fueron mayores en situaciones en las que se presentaban dos volúmenes distintos, dado que los estudiantes tenían que relacionar dos variables, número de partículas y volumen para, por ejemplo, obtener dos disoluciones de la misma concentración.

También empleando representaciones submicroscópicas, Adadan y Savasci (2012) incluyeron un ítem sobre concentración en el cual una disolución era diluida al doble de volumen. En las repuestas de estudiantes de secundaria, los autores identificaron la siguiente concepción: «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». Esta concepción fue atribuida a que estos estudiantes concebían las representaciones de las moléculas como granos de azúcar sin disolver, y por ello, con el agregado de agua, disminuía el número de granos, dado que se disolvía y consecuentemente no aparecerían en la representación.

Estas dificultades pueden originarse en las características de las representaciones submicroscópicas utilizadas para evaluar la comprensión del concepto de concentración, porque resultan confusas al combinar aspectos macroscópicos con entidades submicroscópicas (Andersson, 1990). Sin embargo, Niaz (1995) obtuvo resultados similares sobre el hecho de que al diluir un soluto este aumenta su solubilidad, utilizando enunciados que indagaban sobre la molaridad, sin emplear representaciones pictóricas. Teniendo en cuenta la ambigüedad de las representaciones submicroscópicas y que puede llegarse a resultados similares a partir de enunciados verbales, y que además indaguen sobre una unidad de concentración en particular, en nuestro trabajo el instrumento utilizado se apoya en las relaciones entre las variables macroscópicas involucradas en el concepto de concentración utilizando la unidad g/L.

En investigaciones sobre la concentración molar se encontró que su aprendizaje depende de la comprensión que se tenga de los conceptos que forman parte de su definición, especialmente de la magnitud  $n$  (cantidad de sustancia) y su unidad mol. 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 mayor número de moles.

Tras la resolución algorítmica de problemas de concentración puede subyacer la inadecuada comprensión de los conceptos involucrados (Gabel et al., 1984; Lutter et al., 2019). Las dificultades conceptuales pueden agravarse, si la disolución sufre transformaciones como el agregado o evaporación de solvente. Por ejemplo, en la investigación sobre la resolución de problemas de química llevada adelante por Niaz (1995) con estudiantes universitarios, se incluyó un problema conceptual que fue resuelto correctamente por pocos estudiantes, debido a que no asumían la constancia del número de moles de soluto. Resultados similares fueron encontrados por Heyworth (1999) al entrevistar a estudiantes de nivel medio.

No se halló literatura sobre la resolución de problemas y comprensión conceptual de la concentración expresada en g/L.

## Dificultades para establecer relaciones de proporcionalidad

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 con las edades de los estudiantes involucrados, la concentración fue presentada con escalas cualitativas, como gusto más ácido en una limonada (Cramer y Post, 1993), mayor dulzura en disoluciones de azúcar en agua (Hilton y otros, 2013) o mayor gusto a naranja en disoluciones de jugo de naranja en polvo en agua (Park et al., 2010). Otros estudios educativos vincularon matemática y química, como el trabajo de Ramful y Narod (2014), en el que se investigó el razonamiento proporcional en el tema de estequiometría, o el de Bakker et al. (2014), en el que se indagó la comprensión cuantitativa del proceso de dilución. Estas investigaciones destacaron la naturaleza situada de las abstracciones matemáticas en contextos específicos, como el químico, donde se aplica el razonamiento proporcional. Concluyeron que la complejidad de este tipo de comprensión de los procesos químicos se presenta en las unidades de concentración, dado que desde el punto de vista matemático se trata de operaciones simples de multiplicar y dividir.

En el estudio que llevó adelante Stavy (1981), con estudiantes menores de 14 años, se concluyó que la principal dificultad para comprender el concepto de concentración estaba relacionada a la proporcionalidad inversa, al no poder entender que con un incremento en la cantidad de solvente decrece la concentración de la disolución.

Una forma de clasificar a los tipos de tareas que incluyen proporciones, utilizada en la investigación en educación en matemática, es identificando tres tipos de tareas (Cramer y Post, 1993): *a*) problemas de comparación numérica, *b*) problema del valor faltante y *c*) problemas de comparación o predicción cualitativa. En los problemas de comparación numérica se dan cuatro variables (*a*, *b*, *c* y *d*) y el objetivo es determinar la relación de orden (mayor, menor, igual) que hay en  $a/b$  y  $c/d$ . En los problemas del valor faltante se proveen tres de los cuatro valores de la proporción  $a/b = c/d$  y se debe hallar el valor que falta. En los problemas de comparación cualitativa se llevan a cabo comparaciones no dependientes de los valores numéricos específicos, incluso estos problemas pueden no incluirlos. Una aplicación de esta clasificación de tareas con el concepto de concentración en g/L se presenta en el cuadro 1.

*a*) Problemas de comparación numérica:

¿Cuál de las siguientes disoluciones es más concentrada: (a) 0,20 g de soluto en 200,0 mL disolución o (b) 0,40 g de soluto en 500,0 mL de disolución?

*b*) Problemas del valor faltante:

¿Qué masa de soluto hay en 200,0 mL de una disolución 0,500 g/L?

*c*) Problemas de comparación o predicción cualitativa:

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.

Cuadro 1. Ejemplos de problemas de concentración en g/L clasificados de acuerdo con los tres tipos de tareas de proporcionalidad

Park et al. (2010) indican que son necesarios enfoques que vinculen razones con proporciones en situaciones específicas, de manera que se profundice en las conexiones matemáticas. Esto es extensible para el concepto de concentración de disoluciones, dado que la enseñanza frecuente del tema hace hincapié en planteamientos con proporciones más que con razones. Los problemas habituales consisten en hallar el valor que falta, multiplicaciones cruzadas o de regla de tres, por lo que se debería profundizar en el empleo de razones que hagan explícito que se trata de una cantidad de soluto por unidad de

volumen de disolución, es decir, considerar la naturaleza intensiva de la concentración (Wink y Ryan, 2019).

Obtener respuestas correctas en problemas proporcionales no constituye una evidencia del desarrollo del razonamiento proporcional, dado que puede basarse en una resolución algorítmica, por ejemplo, el uso de regla de tres, que se aplica en situaciones no proporcionales (Fernández et al., 2012).

Un aspecto central del razonamiento de proporcionalidad es que está inmerso en una situación que supone simultáneamente covarianza de cantidades e invariancia de razones o productos (Lamon, 2007). La covarianza se refiere al cambio simultáneo en dos variables entre las que existe alguna relación que las vincula y la invariancia alude a la constancia, en una o varias transformaciones, de la relación existente entre las dos variables. Esto es clave para la comprensión profunda de concentración de disoluciones y para responder correctamente cuestiones conceptuales como las indagadas por instrumentos como el utilizado en esta investigación.

### **Pregunta de investigación**

¿Qué conocimiento sobre las relaciones entre las variables del concepto de concentración expresada en  $g/L$  ( $m$ ,  $V$  y  $C_{g/L}$ ) construyen estudiantes de primer año de universidad?

### **METODOLOGÍA**

Esta investigación se enmarca en un enfoque constructivista por ser un marco teórico útil para una investigación que busca comprender la construcción del conocimiento, las concepciones y el cambio de estas en el tiempo. El marco teórico, en el contexto de una investigación educativa, orienta las preguntas de investigación, los métodos de recolección y el análisis de los datos (Bodner y Orgill, 2007); por ello, en este estudio de perspectiva constructivista, la metodología de recolección de datos se orientó a ayudar a la comprensión de los conceptos sostenidos por los participantes (Ferguson, 2007).

El diseño de este estudio sigue la tradición de una investigación interpretativa y descriptiva (Merriam et al., 2002), en la cual los datos son obtenidos de un cuestionario y de entrevistas. El cuestionario está orientado a obtener información sobre diferentes tipos de razonamiento conceptual y proporcional, de acuerdo con la pregunta de investigación y la revisión bibliográfica. Las entrevistas con protocolos de pensar en voz alta son conducidas con la intención de interpretar los resultados obtenidos en el cuestionario.

### **Participantes**

El cuestionario fue contestado por 140 estudiantes de primer año de universidad, que cursaban la primera asignatura de Química de tres universidades nacionales argentinas: Río Negro, Comahue y Litoral, con un promedio de edad de 21,4 años.

En los meses previos, estos estudiantes habían asistido en la universidad a clases teóricas, de resolución de problemas y prácticas de laboratorio, y han realizado al menos un examen que incluyó la resolución de problemas o ejercicios de cálculo de concentración de disoluciones con distintas unidades. Por cuestiones de acceso a los estudiantes, las entrevistas se llevaron a cabo con un subconjunto de la población que realizó el cuestionario. Fueron entrevistados 18 estudiantes voluntarios de las universidades de Río Negro y Comahue de la ciudad de Bariloche.

## Cuestionario razonando con concentración en g/L

La concentración expresada en gramos de soluto por litro de disolución ( $C_{g/L}$ ) es una magnitud de uso frecuente en la química, no así la concentración en unidades del Sistema Internacional:  $kg.m^{-3}$ . El concepto de concentración relaciona tres variables de la disolución, dos variables extensivas, masa de soluto, en este caso expresada en gramos (m) y volumen de disolución, esta unidad expresada en litros (V), y una variable intensiva, que es la concentración, que se expresa en g/L,  $C_{g/L}$ . 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. El análisis lógico-matemático de la ecuación  $C_{g/L} = m/V$  se plantea en el cuadro 2.

$C_{g/L} \cdot V = m$ ; k = constante de proporcionalidad Si $C_{g/L}$ es cte: $V \cdot k = m$ ; a mayor V, mayor m; a menor m, V menor Si V es cte: $C_{g/L} \cdot k = m$ ; a mayor $C_{g/L}$ , mayor m; a menor m, $C_{g/L}$ menor Si m es cte: $C_{g/L} \cdot V = k$ ; a mayor $C_{g/L}$ , menor V; a menor V, $C_{g/L}$ mayor
--

Cuadro 2. Relaciones lógico-matemáticas de las variables incluidas en la definición de concentración en gramos por litro

Se confeccionó el cuestionario «Razonando con concentración en gramos por litro» (ver anexo) para indagar sobre estas 6 relaciones matemáticas entre las variables de la concentración desde tareas de proporcionalidad de comparación cualitativa (Cramer y Post, 1993), que incluyen simultáneamente covarianza e invariancia en una situación (Lamon, 2007). Durante la administración de este instrumento se indica a los estudiantes que deben resolverlo mentalmente, sin calculadora y sin realizar cálculos en la hoja. El tiempo promedio de contestación es aproximadamente 15 minutos. De este modo, resulta un instrumento, cuya administración es de corta duración, que permite profundizar el estudio de la comprensión del concepto de concentración. En el análisis de los datos que se obtuvieron de su aplicación, dado que constituye un test de opciones múltiples con tres opciones, se evaluó si los estudiantes eligieron dichas opciones al azar. Esto se hizo comparando los porcentajes de respuestas a cada ítem; en especial, si seleccionan la respuesta opuesta a la correcta, lo que indicaría el grado en que los estudiantes sostienen un esquema de razonamiento erróneo. Además, para descartar que las elecciones fueran realizadas al azar se calculó el  $\chi^2$  de Pearson para cada una de las preguntas, utilizando el programa InfoStat/L, versión 2020.

## Entrevistas con protocolos de pensar en voz alta

Las entrevistas de pensar en voz alta son útiles para recolectar información acerca de los procesos cognitivos que una persona sigue durante la resolución de un problema, cuando el investigador quiere conocer cómo y por qué un participante usa un conocimiento, proceso, heurístico o algoritmo para resolver un problema o completar una tarea (Herrington y Daubenmire, 2014).

La literatura confirma el valor de los protocolos de pensar en voz alta como forma de explorar los procesos de pensamiento de los individuos, cuando la actividad ofrece un nivel efectivo de desafío cognitivo, como ocurre con el cuestionario empleado en esta investigación, que permite una salida



auténtica del discurso interno (Charters, 2003). Sobre temas químicos afines al concepto de concentración, las entrevistas en voz alta han sido usadas para indagar, en alumnos de nivel medio, sus ideas acerca del tema de análisis volumétrico (Anamuah-Mensah, 1986; Heyworth, 1999). Además, se trata de uno de los métodos que han sido recomendados para quienes realizan investigaciones en educación en química (Bunce y Cole, 2014).

Las entrevistas en las que se piensa en voz alta se llevaron a cabo con la finalidad de indagar en los conocimientos, estrategias y razonamientos que emplearon los estudiantes al responder el cuestionario. El procedimiento seguido consistió en entregar el cuestionario resuelto por ellos, sin modificación posterior, y se les preguntó cómo habían resuelto cada uno de los 6 ítems comenzando en el orden del cuestionario. Las entrevistas, que tuvieron una duración promedio de 10 minutos, fueron grabadas en audio y completamente transcritas. Al finalizar la entrevista, se les preguntó si recurrían a algún tipo de representación, si se imaginaban algo concreto distinto a cálculos en la resolución.

El análisis de las transcripciones de las entrevistas fue realizado en forma independiente por cada uno/a de los/as tres investigadores/as, cada uno/a identificó categorías que luego fueron comparadas y discutidas hasta arribar a categorías consensuadas finales. Finalmente, se volvió a los datos para cuantificar la aparición de estas categorías y extraer ejemplos de párrafos que ilustren cada categoría.

## RESULTADOS

### Cuestionario

Para evaluar el cuestionario se asignó un punto a cada respuesta correcta y cero puntos a las respuestas incorrectas. En una escala que va de 0 a 6, el resultado promedio general fue de 4,2, con una desviación estándar 1,3. Los porcentajes de las opciones elegidas, atendiendo a si se tratan de la respuesta correcta, intermedia u opuesta, se muestran en la tabla 1. Se considera respuesta opuesta cuando seleccionan la tendencia contraria, a saber, la elección del menor valor cuando corresponde el mayor o viceversa.

Tabla 1.  
Porcentajes de respuestas correspondientes a las opciones ordenadas (N = 140)

Ítem	1	2	3	4	5	6
Respuesta correcta	66,4	75,7	84,3	77,1	85,7	29,3
Respuesta opuesta	30,7	13,6	8,6	12,9	12,1	59,3
Respuesta intermedia	2,9	10,7	7,1	10,0	2,1	11,4

El 69,8 % del total de las opciones elegidas por los estudiantes correspondió a la opción correcta, el 22,9 % correspondió a la opción opuesta y solo un 7,4 % a la intermedia, además en todos los casos:  $\chi^2 \geq 49,13$  y  $p < 0,0001$ . Esto permite aseverar que las opciones de este cuestionario no fueron elegidas al azar, sino siguiendo algún tipo de razonamiento. Esta tendencia de polarización se profundiza si se analizan los ítems con los resultados más bajos.

La principal confusión se presentó 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. El 59,3 % eligió la opción opuesta, que la solución de menor concentración ocupa el menor volumen. Solamente el 17,1 % de los estudiantes contestaron bien las seis preguntas del cuestionario y un único estudiante (0,7 %) respondió en todos los casos con la opción opuesta.

Por otra parte, el promedio obtenido en el cuestionario por los 18 estudiantes entrevistados fue de 4,6 (desviación estándar 1,2), algo superior al promedio de la muestra total.

### Entrevistas

Dado que cada uno de los 18 entrevistados contestó los 6 ítems, el máximo de respuestas transcritas fue de 108. De ese total, 103 respuestas pudieron ser clasificadas en 6 categorías. El detalle y los porcentajes se muestran en la tabla 2. Durante las entrevistas, muchos estudiantes emitieron más de un tipo de razonamiento. Las categorías finales se definen a continuación, junto con algunas transcripciones seleccionadas por ser ejemplos representativos de dichas categorías.

Tabla 2.  
Frecuencias de aparición de categorías por ítem del cuestionario

	Categoría	Proporcionalidad directa	Proporcionalidad inversa	Relaciona 2 variables sin explicitar una tercera constante	Resolución numérica	Relación aditiva	Indiferenciación entre la concentración y una cantidad extensiva
Ítem	1	7	0	2	2	1	6
	2	4	0	4	2	5	1
	3	7	0	3	2	1	3
	4	8	0	5	1	0	3
	5	0	11	4	1	0	2
	6	0	5	0	2	2	9
	% (N = 103)	25,2	15,5	17,5	9,7	8,7	23,3

- a) Respuestas correctas basadas en la proporcionalidad directa o inversa entre dos variables explicitando que una tercera permanece constante. De acuerdo con los atributos de covarianza e invariancia de la proporcionalidad. Estos estudiantes pueden independizarse de los números y enunciar la relación de orden entre las dos variables. Estas afirmaciones fueron sostenidas, para los ítems 1-4 de proporcionalidad directa, por 12 estudiantes y para los ítems 5-6 de proporcionalidad inversa por 11 estudiantes:

«Pensé en que como todas tienen la misma concentración, mientras más disolución, más cantidad de disolución, voy a tener mayor cantidad de gramos de soluto» (A10, ítem 1).

«Si en todas estoy diluyendo la misma cantidad de soluto, la que tiene menor volumen va a ser la que tiene mayor grado de concentración» (A4, ítem 5).

«Va a ser la más concentrada porque voy a tener 0,20 g de soluto en una cantidad de solución menor» (A10, ítem 6).

- b) Razonamiento de proporcionalidad entre dos variables, sin hacer explícito que una tercera permanece constante (10 estudiantes):

«Si tengo más soluto va a ser más concentrada, si tengo menos va a ser menos concentrada. Entonces elegiría la que tiene menos cantidad de soluto» (A9, ítem 4).

«La que mayor concentración tenía era la que más soluto iba a tener» (A10, ítem 3).



- c) Resolución numérica. Explicitan que están buscando el valor faltante o uso de regla de tres. Comparan números y no emiten una generalización; no pueden independizarse de los números (4 estudiantes):

«Por regla de 3 que hago mental en 500 mL va a haber 1g, y esa es la mayor cantidad» (A7, ítem 1).

«Por ejemplo ésta tiene un gramo en el medio litro y la de 100 tiene 0,2 gramos en los 100 mL y así lo pensé» (A1, ítem 1, respuesta correcta).

«... es que tengo que hacer las cuentas, eso pasa. No lo puedo... o sea sé que son 20 dividido esto, 20 dividido esto, 20 dividido esto» (A14, ítem 6).

- d) Indiferenciación conceptual entre la concentración y una de las propiedades extensivas. En esta categoría, que agrupa al mayor porcentaje de afirmaciones incorrectas, respondieron de esta forma 11 estudiantes:

«En esta puse que era más, había más concentración de soluto en la de 500 mL porque había 2,0 gramos por litro, entonces como está es más volumen, tiene más concentración creo» (A16, ítem 1).

«... esta que es la que menor volumen ocupa, es la opción a de 0,80 porque es la que menor cantidad de gramos tiene, y si todas tienen la misma cantidad de litros» (A16, ítem 6).

«Si todas están en 0,2 g de soluto tenés que buscar cuál es la que ocupa un volumen menor. Entonces yo supuse que 0,8 g/L es la menor, el menor volumen» (A18, ítem 6).

Tres de los cuatro estudiantes que llevaron adelante una resolución numérica evidenciaron también indiferenciación conceptual.

- e) Razonamientos aditivos. Arriban a conclusiones a partir de sumas o restas de las variables. Establecen una relación aditiva entre el volumen del solvente y el volumen que ocuparía el soluto. Asumen que a menor cantidad de soluto se lograría un menor volumen total, sin tomar en cuenta a la concentración (6 estudiantes):

«En todas hay 0,2 g de soluto y para que ocupe un volumen menor voy a necesitar menor cantidad de solvente» (A9, ítem 6).

«Yo pensé en que los gramos de soluto... se restan las cosas y los solutos siempre se restan en la cantidad mL que tenés que medir, entonces eso significa que ocupa espacio, entonces puse el menor, para que ocupe un volumen menor en la cantidad de litros que tenés, de gramos por litro que tenés» (A12, ítem 2).

## Representaciones sobre concentración

En este apartado se sintetizan los resultados obtenidos al analizar las respuestas a la pregunta que se formuló al final de las entrevistas, sobre si recurrían a algún tipo de representación en caso de imaginar algo concreto mientras resolvían los distintos ítems del cuestionario. Muchos expresaron que no se representaban nada y algunos utilizaron representaciones macroscópicas. Ningún entrevistado se refirió espontáneamente a partículas, por ejemplo, moléculas o iones.

«Por ejemplo en las preparaciones de soluciones, me imagino yo preparando cómo sería, preparando la solución» (A3).

«Yo pienso en un ejemplo de una disolución, en agua con sal por ejemplo» (A17).

«No, no yo trato de imaginarme el vasito con las cosas diluidas...» (A4).

«Por ejemplo me imagino un frasco con agua o un recipiente con volumen de agua y bueno tengo tanta cantidad de soluto...» (A15).

## DISCUSIÓN

La comprensión conceptual profunda de concentración expresada en g/L implicaría el conocimiento de los siguientes aspectos: *a*) identificar y diferenciar las variables involucradas en su definición ( $m$ ,  $V$  y  $C_{g/L}$ ); *b*) reconocer la naturaleza de estas variables (extensivas:  $m$  y  $V$ ; intensivas:  $C_{g/L}$ ), y *c*) establecer las relaciones entre ellas (de proporcionalidad directa y de proporcionalidad inversa).

Como se verificó en el análisis de las entrevistas, los resultados obtenidos en los ítems 1 y 6 del cuestionario pueden ser explicados por la indiferenciación entre los conceptos  $m$  y  $C_{g/L}$  al hacer frente a una tarea. En estos ítems, al invertir en los enunciados del cuestionario, los conceptos  $m$  y  $C_{g/L}$  implicarían la elección de la respuesta opuesta. Esto no ocurre en los ítems 3 y 4, dado que al ser a volumen constante la confusión entre  $m$  y  $C_{g/L}$  daría la misma respuesta.

Al ser unidades de medida conocidas, como gramos, mL y L, esta indiferenciación conceptual no se debe al desconocimiento de las magnitudes en sí mismo, a su identificación o definición (como podría ocurrir con el caso de número de moles y molaridad), sino al desconocimiento de las relaciones apropiadas que se establecen entre las variables. En el caso de la molaridad, Novick y Menis (1976) atribuyeron su indiferenciación con el número de moles al hecho de que la palabra *molaridad* confunde a los estudiantes, dado que tiene similitudes fonéticas con otros conceptos, como *mol*, *molécula*, *molecular* y *molar*, que son introducidos en la enseñanza en un corto plazo.

Esta confusión entre las variables del concepto de concentración puede considerarse como un caso de indiferenciación conceptual, que Talanquer (2006) ha caracterizado como un razonamiento heurístico que permite a los estudiantes simplificar el análisis de problemas o la interpretación de conceptos, reduciendo los factores a ser considerados. Constituye una forma de reducción en la que se utilizan indistintamente dos conceptos diferentes, sin tener en cuenta aspectos o condiciones importantes de sus definiciones. Las personas tienden, al tomar decisiones, a reducir el número de factores que analizan, focalizando en una variable y descuidando otras (Talanquer, 2014).

Por otro lado, las dificultades en la comprensión del concepto de concentración han sido atribuidas a ineficientes razonamientos de proporcionalidad básica (Devetak et al., 2009; Adadan y Savasci, 2012; Bakker et al., 2014) o a la incapacidad de discernir si se trata de una proporcionalidad directa o inversa (Anamuah-Mensah, 1986). Para Ryan (2012) las dificultades de estudiantes que ingresan en la universidad no se deben a carencias en el razonamiento proporcional sino a la falta de conocimiento sobre cómo aplicarlo en química; en particular no lo transfieren espontáneamente a tareas que involucran disoluciones. En nuestra investigación, y 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: a masa de soluto constante, la disolución de mayor concentración ocupará un volumen menor. Sin embargo, esto no se replica en el ítem 5, que también se resuelve por el mismo tipo de razonamiento.

El bajo número de respuestas correctas en el ítem 6, comparado con los otros, se puede explicar por la complejidad de la tarea asociada al tipo de variables que tienen que relacionar. La notable diferencia obtenida entre los dos ítems que requerían razonamientos de proporcionalidad inversa, ítems 5 (85,7 %) y 6 (29,3 %), se debe al hecho de que en el ítem 5 quien responde considera, o visualiza, la masa de soluto en distintos volúmenes y arriba a la respuesta correcta, que a menor volumen, mayor concentración. En cambio, en el ítem 6 debe considerar la masa en distintas concentraciones, es decir, la relación entre  $m$  y  $C_{g/L}$ , y arribar a la conclusión de que a mayor concentración, menor volumen. En el ítem 5 se compara 0,10 g en 100 mL, 0,10 g en 300 mL y 0,10 g en 500 mL, y se arriba a una relación de proporcionalidad inversa a partir de dos variables extensivas; en cambio, en el ítem 6 se debe arribar a esta relación de proporcionalidad inversa a partir de una variable extensiva y una variable intensiva (una razón). Esto genera una mayor carga cognitiva y una visible perturbación en los y las es-

tudiantes cuando se enfrentan a este ítem del cuestionario. Este hallazgo relevante de esta investigación fue explicitado por varios estudiantes:

«Depende de cuál (ítem) estás haciendo, porque por ahí si me dan los gramos de soluto y la cantidad de solución me resulta más fácil imaginarlo que si me dan la concentración de gramos en litros» (A10).

«... me parece que esto es más razonar, imaginármelo, cuál sería, sal, agua, empecé a pensarlo así, entonces empecé a resolverlo más rápido, pero acá (ítem 6) me trabé y ahora entiendo por qué, porque lo pensé mal» (A17).

«Depende la pregunta, pero, por ejemplo, en la última había que pensarla bastante me imaginé cómo prepararía la solución. Capaz en algunas como la primera me imaginé los números» (A5).

«Pienso en números, hago la... dentro de la cabeza comienzo a imaginar cómo es... A veces no me da» (A11).

Ante la dificultad de la tarea planteada en el ítem 6, los y las estudiantes recurren a representaciones de procesos, como la preparación de la disolución, o a planteamientos numéricos. La resolución algorítmica basada en fórmulas y la resolución numérica mecánica pueden ocultar dificultades subyacentes tras la comprensión de los tres aspectos conceptuales mencionados de la concentración. Estos/as estudiantes, que están todavía dependientes de los materiales concretos o de los números, no logran abstraer totalmente y en profundidad el concepto de concentración y aplicarlo eficientemente en distintas situaciones. Los y las estudiantes que aluden a procesos macroscópicos y a razonamientos aditivos (como la preparación de la disolución) traslucen 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 mayoría de los/as entrevistados/as que sostuvieron razonamientos aditivos (5 de 6) lo hicieron en los ítems 2 y 6, que preguntan cuál de las disoluciones ocupa menor volumen. Aunque en ambos ítems se debe relacionar una variable intensiva y una variable extensiva, la diferencia entre los resultados obtenidos en ambos está en el tipo de proporcionalidad, en el primer caso directa y en el segundo, inversa.

Además, la indiferenciación conceptual entre la concentración y una de las propiedades extensivas se puede relacionar con el hecho de no reconocer la naturaleza de estas variables. En las entrevistas se observó que ninguno/a hizo mención explícita a los conceptos de propiedad extensiva o intensiva. La consideración de la naturaleza intensiva de la concentración se discutió en la investigación de Ryan (2012), donde las dificultades surgieron en tareas que presentaban disoluciones de diferentes volúmenes con la misma concentración molar. Para muchos/as estudiantes estos recipientes tenían igual cantidad de soluto. Al no razonar en términos intensivos, igual molaridad implicaba para ellos y ellas igual cantidad de soluto. Se concluyó que, para este tipo de tareas simples, los y las estudiantes que ingresan en la universidad disponen de habilidades de razonamiento proporcional, pero no lo transfieren correctamente a tareas que involucran disoluciones. Para estos/as estudiantes la habilidad de razonar proporcionalmente se apoya en el uso de un conjunto relativamente simple de explicaciones, como el esquema de razonamiento extensivo, con falta de rigor matemático, al no considerar las propiedades intensivas como constantes de proporcionalidad (Wink y Ryan, 2019).

Estudiantes de menor edad, al no contar con el concepto de propiedad intensiva, se dejan influir por los aspectos perceptibles de la cantidad total de disolución y aplican razonamientos del tipo «más de A, más de B», a mayor volumen mayor concentración (Stavy y Tirosh, 1996). En general, los y las estudiantes que tienen una visión extensiva tienden a reducir las dos variables (la intensiva y la extensiva) en una, de acuerdo con la complejidad y las características perceptuales de la tarea. El hecho de que los y las estudiantes fijen su atención en una sola propiedad del sistema fue verificado con otros conceptos, como el de densidad, y los conduce a una concepción extensiva (Napal et al., 2018).

Tal como señaló Johnstone (1983), el problema de que las sustancias se encuentren en disolución dificulta la comprensión de los y las estudiantes acerca de aspectos relacionados con la estequiometría, al adicionar el problema de la diferenciación entre propiedades extensivas e intensivas.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el cuestionario y en las entrevistas se desprende que más de la mitad de los y las estudiantes de primer año de universidad no lograron un conocimiento conceptual profundo de concentración expresada en g/L, dado que presentan dificultades en uno o varios de los siguientes aspectos previamente destacados: *a*) identificar y diferenciar las variables involucradas en la definición de concentración expresada en g/L ( $m$ ,  $V$  y  $C_{g/L}$ ); *b*) reconocer la naturaleza de estas variables (extensivas:  $m$  y  $V$ ; intensivas:  $C_{g/L}$ ), y *c*) establecer las relaciones entre ellas (de proporcionalidad directa y de proporcionalidad inversa).

El dominio del concepto de concentración implicaría una comprensión sólida que le permita al/a la estudiante resolver cualquier situación que involucre el concepto independientemente de su complejidad. Esto supone entender la naturaleza de las disoluciones y reconocer la concentración como una variable intensiva que relaciona dos variables extensivas. La resolución de problemas de concentración basada en el uso mecánico de procedimientos algorítmicos impide que los y las estudiantes puedan desprenderse de los números y abstraer las relaciones cualitativas-conceptuales entre las variables involucradas y operar eficientemente con ellas.

Si bien la principal confusión se presentó en un ítem de proporcionalidad inversa, donde respuestas intuitivas del tipo «a más X más Y» no son válidas, comprender y aplicar el concepto de concentración en este caso va más allá del dominio de este razonamiento, como se evidenció en los resultados obtenidos en el ítem 6. Verificamos que la dificultad yace en la complejidad de la tarea relacionada con el tipo de variables que tienen que relacionar. Les resulta notablemente más difícil aplicar la proporcionalidad inversa, en el caso de que se deban relacionar cualitativamente masa de soluto (extensiva) y  $C_{g/L}$  (intensiva) para determinar qué disolución ocupa un menor volumen, que cuando tienen que relacionar las dos variables extensivas entre sí.

Con respecto a indagar las dificultades de los y las estudiantes en el aprendizaje del concepto de concentración, la investigación llevada a cabo tiene la limitación de abordar el caso particular de la concentración expresada en g/L, que involucra el conocimiento de magnitudes familiares como masa en gramos. Como proyección de esta investigación se pretende dar continuidad aplicando un cuestionario análogo con el concepto de molaridad, que incluye magnitudes no familiares, como número de moles (cantidad de sustancia) y su unidad mol.

Como implicaciones para la enseñanza se sugiere presentar a los y las estudiantes tareas donde se apliquen razonamientos de proporcionalidad orientadas a la predicción y comparación cualitativa, como las abordadas en este estudio. La enseñanza debería orientarse a brindar oportunidades para razonar con los conceptos, a través de estrategias (experimentales, situaciones de lápiz y papel, animaciones) que permitan a los estudiantes visualizar, diferenciar y controlar las variables involucradas en el concepto de concentración, sobre todo la relación de las variables intensivas con las extensivas.

La integración entre matemática y química se promueve con enfoques como el desarrollado, donde se aprende en profundidad el concepto de concentración, de manera que se ponen en juego las relaciones matemáticas que se establecen entre las variables involucradas y se consolida el razonamiento de proporcionalidad aplicado a la química.

## 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.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.636084>
- Anamuah-Mensah, J. (1986). Cognitive strategies used by chemistry students to solve volumetric analysis problems. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 759-769.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660230902>
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 53-85.  
<https://doi.org/10.1080/03057269008559981>
- Bakker, A., Groenveld, D., Wijers, M., Akkerman, S. y Gravemeijer, K. (2014). Proportional reasoning in the laboratory: An intervention study in vocational education. *Educational Studies in Mathematics*, 86(2), 211-221.  
<https://doi.org/10.1007/s10649-012-9393-y>
- Bunce, D. M. y Cole, R. S. (Eds.) (2014). *Tools of chemistry education research*. ACS Symposium Series / American Chemical Society.  
<https://doi.org/10.1021/bk-2014-1166.ch001>
- 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.  
<https://doi.org/10.1007/s10763-005-1591-y>
- Calik, M., Ayas, A. y Ebenezer, J. (2005). A review of solution chemistry studies: Insights into students' conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, 14(1), 29-50.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-005-2732-3>
- Charters, E. (2003). The use of think-aloud methods in qualitative research. An introduction to think-aloud methods. *Brock Education Journal*, 12(2), 68-82.  
<https://doi.org/10.26522/brocked.v12i2.38>
- Cramer, K. y Post, T. (1993). Connecting research to teaching proportional reasoning. *Mathematics Teacher*, 86(5), 404-407.  
<https://doi.org/10.5951/MT.86.5.0404>
- 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.  
<https://doi.org/10.1039/c1rp90056k>
- Devetak, I., Vogrinc, J. y Glažar, S. (2009). Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. *Research Science Education*, 39(2), 157-179.  
<https://doi.org/10.1007/s11165-007-9077-2>
- Ferguson, R. (2007). Constructivism and social constructivism. En G. Bodner y M. Orgill, *Theoretical Frameworks for Research in Chemistry and Science Education* (pp. 27-47). Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.  
<https://doi.org/10.1007/s10780-006-8399-8>
- Fernández, C. y Llinares, S. (2012). Características del desarrollo del razonamiento proporcional en la educación primaria y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 129-142.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n1.596>
- Gabel, D. y Bunce, D. (1994). Research on problems solving: chemistry. En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 301-326). Nueva York: Macmillan.

- 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.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660230207>
- 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.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660210212>
- Herrington, D. y Daubenmire, P. (2014). Using interviews in CER projects: options, considerations, and limitations. En D. Bunce y R. Cole, *Tools of Chemistry Education Research* (pp. 31-59). Washington DC: ACS Symposium Series / American Chemical Society.  
<https://doi.org/10.1021/bk-2014-1166.ch003>
- Heyworth, R. (1999). Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. *International Journal of Science Education*, 21(2), 195-211.  
<https://doi.org/10.1080/095006999290787>
- Hilton, A., Hilton, G., Dole, S. y Goos, M. (2013). Development and application of a two-tier diagnostic instrument to assess middle-years students' proportional reasoning. *Mathematics Education Research Journal*, 25(4), 523-545.  
<https://doi.org/10.1007/s13394-013-0083-6>
- Johnstone, A. (1983). Chemical education research: Facts, findings, and consequences. *Journal of Chemical Education*, 60(11), 968-971.  
<https://doi.org/10.1021/ed060p968>
- Lamon, S. (2007). Rational numbers and proportional reasoning: towards a theoretical framework for research. En F. K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning: a project of the National Council of Teachers of Mathematics* (pp. 629-667). Charlotte: Information Age Publishing.
- Lutter, J., Hale, L. y Shultz, G. (2019). Unpacking graduate student's knowledge for teaching solution chemistry concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, 20, 258-269.  
<https://doi.org/10.1039/c8rp00205c>
- Merriam, S. et al. (2002). *Qualitative research in practice*. San Francisco, CA: Wiley.
- Napal, M., Echeverría, J., Zulet, A., Santos, L. y Ibarra, J. (2018). Estrategias del alumnado de Educación Secundaria para estimar la densidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 61-78.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2215>
- Niaz, M. (1995). Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakotian interpretation. *Science Education*, 79, 19-36.  
<https://doi.org/10.1002/sce.3730790103>
- Novik, S. y Menis, J. (1976). A study of student perceptions of the mole concept. *Journal of Chemical Education*, 53(11), 720-722.  
<https://doi.org/10.1021/ed053p720>
- Park, J. S., Park, J. H. y Kwon, O. N. (2010). Characterizing the proportional reasoning of middle school students. *Seoul National University Journal of Education Research*, 19(5), 119-144.
- Pinarbasi, T. y Canpolat, N. (2003). Students' understanding of solution chemistry concepts. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1328-1332.  
<https://doi.org/10.1021/ed080p1328>
- Ramful, A. y Narod, F. (2014). Proportional reasoning in the learning of chemistry: levels of complexity. *Mathematics Education Research Journal*, 26, 25-46.  
<https://doi.org/10.1007/s13394-013-0110-7>
- Ryan, S. (2012). *Student ratio use and understanding of molarity concepts within solutions chemistry* (tesis doctoral). Chicago: University of Illinois.



- Sanmartí, N. (2020) ¿Qué tenemos que aprender hoy? *Fundación Santillana*. [https://www.youtube.com/watch?v=raxDh7Bw8\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=raxDh7Bw8_s)
- Smith, K. y Metz, P. (1996). Evaluating student understanding of solution chemistry through microscopic representations. *Journal of Chemical Education*, 73(3), 233-235. <https://doi.org/10.1021/ed073p233>
- 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. <https://doi.org/10.1080/0950069960180602>
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: a model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816. <https://doi.org/10.1021/ed083p811>
- Talanquer, V. (2014). Chemistry education: ten heuristics to tame. *Journal of Chemical Education*, 91, 1091-1097. <https://doi.org/10.1021/ed4008765>
- Wink, D. y Ryan, S. (2019). The logic of proportional reasoning and its transfer into chemistry. En *It's Just Math: Research on Students' Understanding of Chemistry and Mathematics*. ACS Symposium Series. <https://doi.org/10.1021/bk-2019-1316.ch010>

## ANEXO

### 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

---

# First-year university students' understanding of the concept of concentration expressed in grams per liter

Andrés Raviolo, Nayla Traiman Schroh, Andrea Farré

Universidad Nacional de Río Negro. Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales. Bariloche. Río Negro. Argentina.

araviolo@unrn.edu.ar, ndtraiman@unrn.edu.ar, asfarre@unrn.edu.ar

The concept of concentration of solutions is fundamental in the experimental sciences, although it is not easy for most students (Gabel y Samuel, 1986; Niaz, 1995; Heyworth, 1999, Pinarbasi y Canpolat, 2003; Calik, 2005; Devetak et al., 2009; Adadan y Savasci, 2012; De Berg, 2012; Ryan, 2012). However, most research on solution learning has focused on students' ideas about its nature rather than its quantitative aspects (Calyk et al., 2005).

A discussion about the learning process of the concept of concentration of solutions in general, and concentration expressed in grams per liter in particular, is presented. Different approaches have been considered including results from the field of mathematics education. The issue of learning the concept of concentration expressed in g/L has not been addressed before.

A fairly comprehensive review of the research on the difficulties in learning the concept of concentration is carried out, both in high school and in university.

The research raises the following question: What knowledge about the variables of the concept of concentration expressed in g/L ( $m$ ,  $V$  and  $Cg/L$ ) do first-year university students build?

The results obtained from the application to 140 Argentine first-year university students of the questionnaire «Reasoning with concentration grams per liter» are shown and discussed. This questionnaire investigates the logical-mathematical relationships between the variables  $m$ ,  $V$  and  $Cg/L$  through qualitative comparison proportionality tasks (Cramer and Post, 1993), which includes multiple covariance and invariance in a situation (Lamon, 2007).

The answers obtained in think-aloud interviews to 18 students are also analyzed. The think-aloud interviews were carried out with the purpose of investigating the knowledge, strategies and reasoning that the students used when answering the items of this questionnaire.

From the reviews and results obtained, a deep conceptual understanding of concentration expressed in g/L is defined, which would imply knowledge of the following aspects: *a*) identify and differentiate the variables involved in its definition ( $m$ ,  $V$  and  $Cg/L$ ), *b*) recognize the nature of these variables (extensive:  $m$  and  $V$ ; intensive:  $Cg/L$ ) and *c*) establish the relationships between them (of direct proportionality and inverse proportionality).

The results show that more than half of the first-year university students do not possess a deep conceptual knowledge of concentration in g/L. The main difficulty lies in inverse proportionality tasks when they must qualitatively relate the solute mass (extensive) and the  $Cg/L$  (intensive), in order to determine which solution occupies a smaller volume.

Mastering the concept of concentration would imply a solid understanding that allows the student to resolve any situation that involves the concept regardless of its complexity. This involves understanding the nature of the solutions and recognizing concentration as an intensive variable that relates two extensive variables.

Finally, as implications for teaching, it is suggested that students are presented with tasks that apply proportionality reasoning oriented to prediction and qualitative comparison, such as those addressed in this study.

