

Visualización del concepto de concentración a través de un modelo analógico didáctico

Andrés Raviolo

Universidad Nacional de Río Negro, Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (LIDCiN), Bariloche, Argentina.

Visualization of the concept of concentration through a didactic analog model

Informações do Artigo

Recebido: 01/04/2021

Aceito: 23/09/2021

Palavras chave:

Representaciones; Modelo analógico didáctico; Concentración de disoluciones.

Key words:

Representations; Didactic analog model; Concentration of solutions.

E-mail: aravioloi@unrn.edu.ar

A B S T R A C T

Students of different educational levels have difficulties on the subject of concentration of solutions after their teaching, even though they can arrive at correct answers in numerical exercises. Therefore, it is necessary that they have a qualitative knowledge based on appropriate mental representations, which goes beyond the handling of formulas and numbers. This article presents a preliminary experience, carried out with 26 first-year university students, in which the didactic analog model for concentration learning (MADCo) is put to the test. This model involves students in an active process of building a generic mental representation of concentration. The results obtained show that the students were able to understand the model and with it solve the different activities, since this representation allows to visualize the amount of solute dissolved in a volume of solution. The use of the model supported the construction of an adequate internal representation of the concept of concentration that interacts in situations that required reasoning such as: (a) simultaneously consider two extensive variables (amount of solute and volume of dissolution) and reduce them to amount of solute in one dissolution volume unit, (b) preservation the number of solute units in the event of certain changes such as the addition or evaporation of solvent, (c) preservation of the dissolution volume in the event of changes such as the addition or extraction of solute.

INTRODUCCIÓN

Para comprender el mundo que nos rodea, y aprender significativamente los conceptos científicos, necesitamos construir representaciones mentales adecuadas. Las representaciones externas son esenciales en el aprendizaje de la química porque generan imágenes mentales o representaciones internas de los objetos y fenómenos (MAMMINO,

2008). La influencia de las representaciones externas, en particular de las imágenes, en esta construcción de conocimiento es objeto de estudio de la didáctica de las ciencias (OTERO et al., 2002).

La química emite explicaciones que incluyen entidades no accesibles desde la experiencia directa como átomos, iones y moléculas. Estas entidades teóricas, modeladas, tienen que ser aprendidas desde representaciones externas sobre las cuales los estudiantes construirán sus propias representaciones. Para facilitar este proceso de hacer familiar lo no familiar, lo no visible, las formas no verbales de representación son esenciales. Este pensamiento imaginativo es de naturaleza activa dado que el aprendiz no es solo un receptor de representaciones sino un generador de las mismas (TABER, 2018).

La teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (MAYER, 2009) sustenta que las personas no son receptores pasivos del contenido a aprender, por el contrario, se involucran activamente en procesar la información entrante con el objeto de construir modelos mentales de, por ejemplo, conceptos nuevos. Para ello, es necesario realizar un esfuerzo cognitivo con el fin de integrar las representaciones verbales y pictóricas, para dar sentido a un material educativo a la luz del conocimiento previo. Esta actividad conduce a aprendizajes más profundos, a aprendizajes significativos, que van más allá del recuerdo y reconocimiento, y permiten su aplicación o transferencia a situaciones nuevas. Desde esta perspectiva, el conocimiento previo almacenado en la memoria de largo plazo se activa en el proceso de integración de las representaciones verbales y pictóricas. Un resumen de los principales aportes de esta teoría para la enseñanza y aprendizaje de la química puede consultarse en Raviolo (2019).

Para facilitar la construcción de imágenes internas sobre los fenómenos y procesos químicos es frecuente en la enseñanza el empleo de diagramas, generalmente diagramas de partículas (moléculas, iones y átomos). Los diagramas son ilustraciones simplificadas o esquemáticas que cumplen funciones explicativas (CLARK & LYONS, 2011). Son construidos con la intención de mostrar las partes y entidades de un sistema y las relaciones entre ellas. Como otros diagramas utilizados en química, suelen combinar lenguajes o aspectos macroscópicos, simbólicos y submicroscópicos. Un análisis crítico de los diagramas de partículas, que se utilizan tanto para la enseñanza como para la investigación sobre el concepto de concentración, se desarrolló en artículos previos (RAVILOLO; FARRÉ, 2020a, 2020b).

En la enseñanza, y cada vez con más frecuencia, se muestran visualizaciones aunque como alertan algunos autores como Kelly y Akaygun (2019), la presentación de las mismas fomenta un rol de consumidores pasivos del estudiantado, en lugar de promover participantes activos y pensadores críticos. En este artículo se presenta una experiencia, llevada a cabo con estudiantes de primer año de universidad, con el uso de una

representación externa modelada que involucra a las y los estudiantes en un proceso activo de construcción de una representación mental genérica sobre el concepto de concentración.

ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DEL CONCEPTO DE CONCENTRACIÓN

Las y los estudiantes, como producto de experiencias en los ámbitos cotidianos y educativos, presentan confusiones o concepciones alternativas sobre el concepto de concentración que han sido investigadas en el ámbito de la didáctica de la química. Estas investigaciones han encontrado, tanto para alumnos de nivel medio como universitario, las siguientes dificultades: (1) Asumen que la concentración depende del volumen de la disolución y no de la relación entre cantidad de soluto y volumen de solvente o solución (DAHSAH & COLL, 2008), (2) Focalizan solo en el número de partículas de soluto y no en el número de partículas por unidad de volumen (de BERG, 2012), (3) Confunden cantidad de soluto con concentración, especialmente número de moles con molaridad (JOHNSTONE, 1983; HEYWORTH, 1999), (4) Conciben que la molaridad es proporcional al volumen de disolución, no la conciben como propiedad intensiva de la misma (RYAN, 2012), (5) Muestran dificultades en el razonamiento proporcional cuando cambian ambas variables: el número de partículas y el volumen de disolución (DEVETAK et al., 2009), (6) Sostienen que a mayor cantidad de soluto hay menor o igual concentración, a igual cantidad de solvente (CALIK, 2005), (7) Afirman que si se extrae parte del volumen de la disolución, la cantidad de soluto por unidad de volumen aumenta (ADADAN; SAVASCI, 2012) y (8) No asumen la constancia del número de moles de soluto ante una dilución (NÍAZ, 1995).

Los estudiantes mantienen dificultades sobre el tema concentración después de su enseñanza, por más que puedan arribar a respuestas correctas en ejercicios numéricos. Es necesario que los estudiantes cuenten con un conocimiento conceptual profundo, con un conocimiento cualitativo, que vaya más allá del manejo de fórmulas y números, basado en representaciones mentales apropiadas.

Los aspectos conceptuales del tema concentración, a los que habría que prestar atención en la enseñanza, se enumeran a continuación en el Cuadro 1 (RAVIOLO; FARRÉ, 2020a). Sobre estos aspectos la enseñanza debe presentar representaciones externas que fomenten su construcción.

Cuadro 1- aspectos conceptuales del tema concentración

Aspecto conceptual	Explicación
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

Fuente: Raviolo y Farré (2020a).

El objetivo de este trabajo es presentar una experiencia llevada a cabo con un modelo analógico didáctico sobre el concepto de concentración de disoluciones, desarrollado con la intención de favorecer en las y los estudiantes la construcción de un modelo mental adecuado sobre la concentración que permita consolidar los aspectos conceptuales mencionados en el cuadro anterior.

MODELO ANALÓGICO DIDÁCTICO

En la enseñanza el término modelo aparece, fundamentalmente, con dos significados: como objeto de aprendizaje o como recurso didáctico (RAVILOLO, 2009). Para Adúriz-Bravo y Morales (2002) los modelos se establecen como las formas de representación por excelencia de los contenidos científicos. Para enseñar esos contenidos los profesores utilizamos, como recursos didácticos, a los modelos concretos y a los modelos analógicos didácticos. Suelen llamarse modelos concretos a los modelos presentados a través de objetos de tres dimensiones; por ejemplo, modelos moleculares, maquetas del sistema solar o de una célula, máquinas y dispositivos para el equilibrio químico (RAVILOLO; GARRITZ,

2008), modelos submicroscópicos con imanes (GABEL et al., 1992), etc. Por sus correspondencias analógicas algunos suelen llamarse análogos concretos.

De acuerdo con la tipología de los modelos usados en las clases de ciencias, presentada por Harrison y Treagust (2000), se considera como modelo analógico didáctico (MAD) a los modelos que guardan una serie de correspondencias con lo que representan (correspondencias analógicas) y que forman parte de las explicaciones que dan los profesores sobre entidades no observables a los estudiantes; es decir, que tienen una finalidad pedagógica. Estos autores aclaran que, dado que los modelos analógicos reflejan para ciertos atributos una correspondencia punto a punto entre el análogo y el objetivo, frecuentemente son simplificados o exagerados con el fin de resaltar estos atributos conceptuales.

Los MAD llevan el nombre de modelo por ser representaciones construidas con fines de describir, explicar, predecir y controlar los fenómenos físicos (DUKERICH, 2015). Son didácticos por constituyen representaciones de orden superior (modelos de modelos) obtenidas por transposición a partir de modelos científicos (ADÚRIZ-BRAVO; MORALES, 2002).

Constituyen ejemplos de MAD los modelos con partículas (diagramas submicroscópicos) utilizados en los trabajos sobre el aprendizaje conceptual de la química (NURRENBERN; PICKERING, 1987; SAWREY, 1990), al modelo de gas antropomórfico para energía interna y temperatura (ZAMORANO et al., 2006), al modelo de cuadros y puntos para el concepto de concentración de disoluciones (RAVIOLO et al., 2004), al modelo para calor y capacidad calorífica (ZAMORANO et al., 2007), etc. Estos modelos constituyen recursos didácticos orientados a que los alumnos abstraigan un concepto a partir de representaciones externas. Este proceso de construcción se facilita si el profesorado ayuda a que las y los estudiantes puedan, como con toda analogía, trascender del análogo e ir más allá de lo concreto o anecdótico y saquen conclusiones que involucre los aspectos conceptuales del tema abordado.

El modelo de cuadros y puntos MCP (RAVIOLO et al. 2004) es un MAD utilizado para favorecer la comprensión del concepto de concentración de disoluciones. Este modelo, como su nombre lo indica, asigna a cuadrados iguales la unidad de volumen de solución y a puntos iguales la unidad de masa de soluto; la cantidad de puntos por unidad de volumen constituye la unidad de concentración (u.m/u.v) (Figura 1). Este modelo estuvo inspirado en el trabajo de Smith, Snir y Grosslight (1992), que presentaron un modelo similar para el concepto de densidad (grid-and-dots model). Estos autores afirman que el modelo promueve la construcción de representaciones sobre la densidad al estar construido sobre una analogía visual que tiene la misma estructura de relaciones que el concepto físico abstracto de densidad.

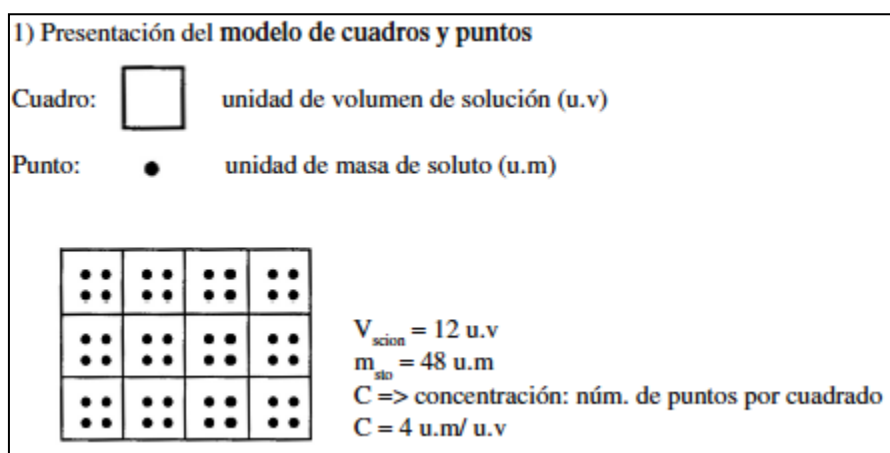


Figura 1- Modelo de Cuadros y Puntos

Fuente: Raviolo et al. (2004).

El modelo de cuadros y puntos se empleó para facilitar la comprensión del proceso de preparar una disolución a partir de otra más concentrada, dado que permite la visualización de que el volumen pipeteado contiene la cantidad de soluto necesaria para preparar la solución requerida, aspecto en que los estudiantes suelen presentar dificultades. En otras palabras, el MCP facilitó la construcción de un modelo mental de lo que ocurre al preparar una disolución: el volumen pipeteado de la solución concentrada es después diluido con el solvente hasta lograr la concentración solicitada; en este proceso de dilución se conserva la cantidad absoluta de soluto pero varía su proporción dentro de la mezcla. Como todo modelo, por constituir una representación explicativa simplificada, tiene sus limitaciones; entre ellas, y a modo de ejemplo, (a) la masa está representada por puntos, mientras que en la realidad la masa se encuentra distribuida (el modelo no representa moléculas o iones de soluto); (b) en el modelo se accede al valor de la masa de soluto contando y en la realidad a través de mediciones de masa y (c) el solvente no está representado, posee también masa.

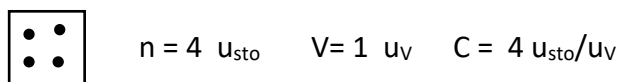
A continuación se presenta un nuevo modelo analógico sobre concentración, similar al anterior, pero genérico. Este modelo no se limita a presentar el soluto como unidades de masa de soluto sino como unidades de soluto, de forma tal que el sujeto puede pensar en distintas unidades de cantidad de soluto, tanto macroscópicas (gramos, moles) como submicroscópicas (moléculas, iones). Otra diferencia con el MCP es que en este modelo genérico no se visualiza mediante un cuadrado la unidad de volumen, sino que muestra el volumen total. Teniendo en cuenta las apariencias, el MCP se asemeja a caras de un dado, en cambio, el nuevo modelo se asemeja a las representaciones submicroscópicas empleadas en indagaciones conceptuales que emplean partículas.

Modelo analógico didáctico para el aprendizaje de concentración (MADCo)

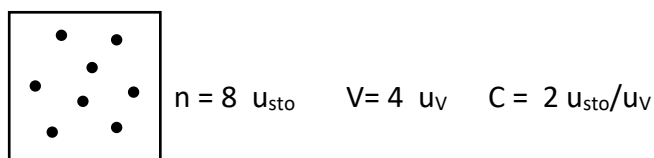
El MADCo es un modelo de dos dimensiones, donde los círculos representan unidades de soluto y los rectángulos volúmenes de disolución. Para simplificar los dibujos, y como ocurre en la mayoría de las representaciones sobre concentración, las unidades de solvente (generalmente agua) no se representan. La concentración (C) se define como cantidad de unidades de soluto (n) por unidad de volumen de disolución (V). Las unidades de la concentración serán u_{sto}/u_v .

En esta representación las partículas de soluto se representan desordenadas, lo más distribuidas posibles en el volumen. Los diagramas se construyen con las siguientes indicaciones: la unidad de volumen es un cuadrado de $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ (1 cm^2), y las unidades de soluto son representadas por círculos de un diámetro de 1 mm .

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.

A nivel estructural se aprecian varias no correspondencias, entre ellas: (a) el modelo es plano (dos dimensiones) la realidad es tridimensional, (b) el modelo se ve como heterogéneo (se distingue el soluto) una disolución es homogénea y (c) en el modelo las cantidades son discretas (números enteros), no da lugar para incluir el error de medición.

A continuación, se presenta una investigación didáctica preliminar llevada adelante con el fin de poner a prueba la eficacia de este modelo analógico didáctico.

METODOLOGÍA

La indagación llevada a cabo comparte algunas premisas de la línea de investigación educativa basada en diseño, dado tiene la intención de producir nuevos artefactos y prácticas que impacten en el aprendizaje y en la enseñanza en entornos naturalistas (VAN DEN AKKER, et al. 2006). Comparte características de la investigación de diseño como ser intervencionista, interactiva y orientada a la utilidad. Interviene en grupos reales de estudiantes, presenta un enfoque cíclico de diseño, evaluación y revisión (como se detalla en las proyecciones de este trabajo) y apunta a resultar de utilidad para los usuarios (estudiantes y profesores).

El objetivo de esta tarea es proveer al estudiantado de una representación que permita visualizar el concepto de concentración de disoluciones. De este modo, aportar a la construcción de una representación útil y coherente que permita resolver adecuadamente situaciones que involucren el concepto de concentración.

La guía de actividades con el MADCo que realizaron las y los estudiantes se presenta a final del artículo en el Anexo. Las actividades están diseñadas para poner en juego razonamientos como: (a) proporcionalidad directa, a mayor cantidad de soluto mayor concentración, a volumen de disolución constante; (b) proporcionalidad inversa, a mayor volumen de disolución menor concentración, a cantidad de soluto constante y (c) invariabilidad o conservación de la cantidad de soluto en procesos como dilución o evaporación de solvente.

El enfoque de actividades con este modelo es conceptual, no centrado en el uso de un algoritmo como la fórmula $C = n/V$ o en la realización de cuentas. Para ello presenta situaciones que se resuelven con números sencillos, que permiten arribar mentalmente a cuántas unidades de soluto hay en una unidad de volumen de disolución.

De esta indagación participaron voluntariamente 26 estudiantes de primer año de universidad que cursaban la materia Química General en la carrera de Licenciatura en Biología de la Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina. La experiencia, que se realizó en el año 2019 en forma presencial, se llevó a cabo en un lapso de una hora y media. Esta iniciativa constituye una experiencia preliminar, que no se pudo repetir, con un mayor número de estudiantes y con el mismo contexto presencial, debido a la pandemia de Covid-19.

La guía de actividades comienza con la presentación y finalidad del modelo, luego una serie de 9 actividades con una dificultad creciente y finaliza con una serie de 5 preguntas para que las y los estudiantes evalúen lo realizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se aprecia en la tabla de resultados (Tabla 1), la mayoría de estudiantes no tuvo inconvenientes en responder correctamente las actividades de la guía.

Tabla 1- Respuestas y representaciones correctas en porcentajes (N = 26)

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b	8c	8d	9a	9b
Respuesta	96	---	96	85	96	100	96	92	88	88	88	65	69
Representación	85	77	---	58	---	77	69	---	77	77	77	50	58

El menor número de representaciones en comparación con respuestas emitidas se debe a que algunos omitieron realizar el dibujo respectivo.

El modelo permite visualizar la cantidad de soluto y calcular la concentración contando las unidades de soluto y expresándolas por unidad de disolución. Esto se aprecia en la Figura 2 donde el estudiante, al resolver la Actividad 5, tuvo en cuenta ambas variables al mismo tiempo. Con ello se superó la concepción alternativa de afirmar que la disolución que tiene más cantidad de soluto es la más concentrada.

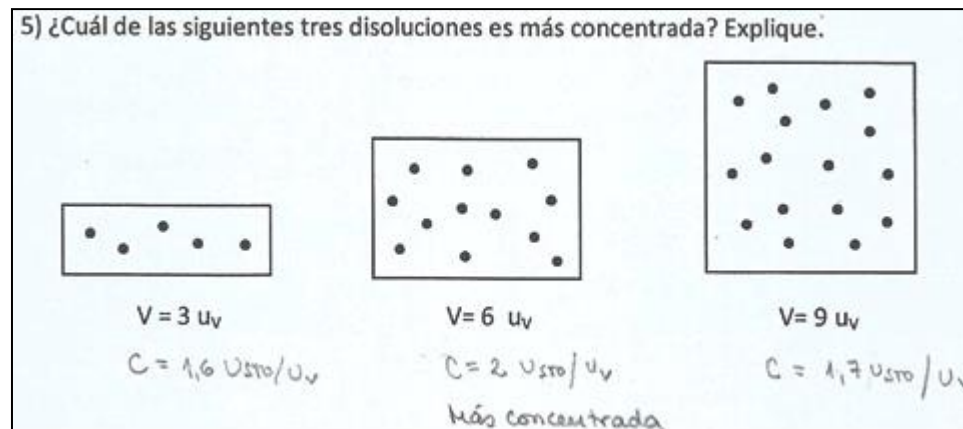


Figura 2 - Resolución de la Actividad 5

En la Figura 3 se muestra la resolución de una estudiante de la actividad 8 en la que puede apreciarse la resolución correcta y comprensión del modelo. En la actividad 8b, para arribar al nuevo valor de la concentración, la estudiante conserva el volumen ante una disminución de la cantidad de soluto; en la 8c conserva la cantidad de soluto ante una disminución del volumen de disolución por evaporación de solvente y en la 8d conserva la cantidad de soluto ante una dilución.

8) Dada la siguiente disolución que ocupa 4 unidades de volumen

$$\frac{12 \text{ Usto}}{4 \text{ Uv}} \Rightarrow \frac{12 \text{ Usto}}{4 \text{ Uv}} = 3 \text{ Usto/Uv}$$

a- ¿Cuál es su concentración? 3 Usto/Uv

b- ¿Cuál es su concentración si se extraen 4 unidades de soluto? Represente la situación final

$$\frac{8 \text{ Usto}}{4 \text{ Uv}} = 2 \text{ Usto/Uv}$$

c- ¿Cuál es su concentración si se evapora solvente y el volumen de la disolución queda en 3 unidades de volumen? Represente la situación final (PARTE DE DISOLUCIÓN INICIAL)

$$\frac{12 \text{ Usto}}{3 \text{ Uv}} = 4 \text{ Usto/Uv}$$

d- ¿Cuál es su concentración si se agrega solvente y el volumen de la disolución queda en 6 unidades de volumen? Represente la situación final (PARTE DE DISOLUCIÓN INICIAL)

$$\frac{12 \text{ Usto}}{6 \text{ Uv}} = 2 \text{ Usto/Uv}$$

Figura 3 - Resolución de la Actividad 8

Sin que fuera solicitado, varios estudiantes, como en el caso anterior, indicaron las medidas de los lados de los rectángulos para precisar el volumen de disolución.

Un hallazgo interesante en las respuestas, es que varios estudiantes dividieron el volumen total en unidades de volumen y de esta forma concretaron una representación de la concentración (Figura 4).

Figura 4 - Ejemplos de representaciones de la unidad de volumen

La decisión de no presentar las unidades de volumen, por ejemplo, separadas por líneas puntuadas, se basó en fomentar a que las y los estudiantes relacionaran el número total de unidades de soluto y el volumen total para arribar a la concentración, al valor de unidades de soluto por unidad de volumen. De lo contrario, la concentración se obtendría directamente de contar en número de unidades de soluto en la unidad de volumen.

En las investigaciones llevadas adelante por Raviolo et al. (2021a, 2021b), que emplearon cuestionarios escritos sin representaciones, se halló que el estudiantado presenta muchas dificultades en tareas de proporcionalidad inversa cuando deben relacionar cualitativamente la masa de soluto (extensiva) y la concentración (intensiva) para determinar qué disolución ocupa un menor volumen. En estos trabajos más del 50% de una muestra de 443 estudiantes de primer año de universidad, afirmó que la disolución de menor concentración ocupa el menor volumen, a cantidad de soluto constante. Esta equivocación no ocurrió en la Actividad 7, que plantea la misma situación, lo que permitiría especular que, en el contexto de la tarea, la utilización del MADCo brinda una representación útil para no cometer ese error.

La Actividad 9 resultó más compleja para la mayoría del estudiantado, dado que es necesario, primero, visualizar la cantidad de soluto que se requiere para preparar la disolución solicitada y, posteriormente, identificar qué volumen de la disolución concentrada original posee esa cantidad de soluto (Figura 5). Recreando una situación análoga a la preparación de una disolución a partir de otra más concentrada, procedimiento básico de la química en la que las y los estudiantes suelen fallar.

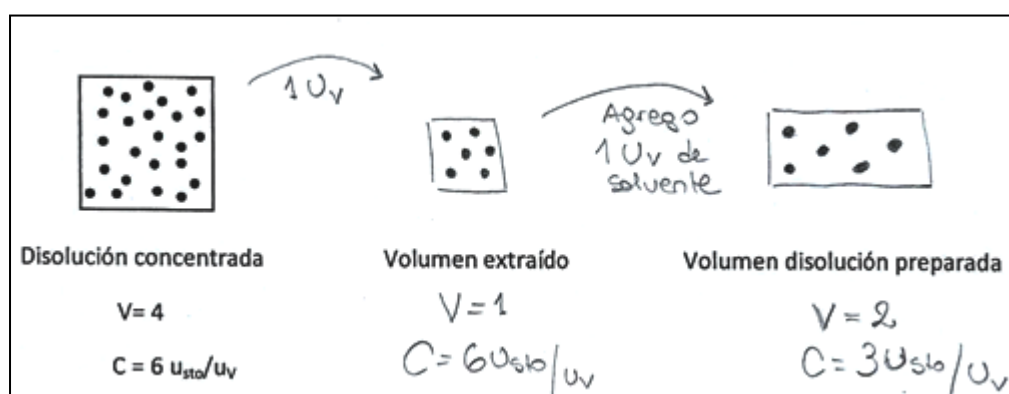


Figura 5 - Resolución de la Actividad 9

El modelo fomenta la construcción de una visualización del concepto de concentración, dado que en él se representa la cantidad de soluto, que en la realidad no se percibe. Y sobre este apoyo, promueve procesos de razonamientos como: (a) considerar simultáneamente dos variables extensivas (cantidad de soluto y volumen de disolución) y

reducirlas a cantidad de soluto en una unidad de volumen de disolución, (b) conservar el número de unidades de soluto ante determinados cambios como el agregado o la evaporación de solvente, (c) conservación del volumen de disolución ante cambios como el agregado o la extracción de soluto.

Es relevante la respuesta brindada ante la última pregunta de la guía: ¿Qué representan para vos los puntos usados como unidades de soluto? Como se aprecia en la Tabla 2, las unidades de soluto, simbolizadas por puntos en el modelo, representaban una diversidad de cosas para las y los estudiantes.

Tabla 2 - Respuestas del estudiantado ante la pregunta 5 (N= 26)

Unidades de soluto	Porcentaje
gramos	23
moles	35
moléculas	19
cantidad de soluto	15
otras (solo puntos, etc.)	8

Cuando se habla de unidades de soluto, las y los estudiantes imaginaron distintas unidades. Este resultado constituye un apoyo a la decisión de definir al modelo empleando unidades de soluto en general y no limitado a una unidad en particular como moléculas, moles o gramos de soluto. Por ello, este modelo genérico es de utilidad para todo estudiante, al no mostrar una representación contraintuitiva, que va en contra de los supuestos asumidos por cada estudiante o conocimientos previos de cada uno.

Este resultado es coherente con los presentados en un artículo previo (RAVIOLLO; FARRÉ, 2020b), donde en entrevistas, con protocolos de pensar en voz alta, se les preguntó a 36 estudiantes si recurrían a algún tipo de representación, si se imaginaban algo concreto, mientras resolvían situaciones conceptuales, en formato escrito, sobre concentración. Los principales hallazgos de estas entrevistas fueron: (a) ningún entrevistado se refirió espontáneamente a partículas submicroscópicas (átomos, iones o moléculas) a pesar de que habían tomado contacto con ellas durante la enseñanza, (b) no existió una representación mayoritariamente compartida, recurrieron a diversas imágenes sobre la concentración y (c) las representaciones se remitieron a objetos, propiedades o procesos macroscópicos.

En el artículo mencionado en el párrafo anterior se exhorta al profesorado a llevar adelante acciones sistemáticas en la enseñanza sobre aspectos conceptuales de concentración de disoluciones dado que la investigación, llevada a cabo en el contexto de la didáctica de la química, ha expuesto que no puede dejarse librado a que las y los alumnos construyan solos representaciones internas adecuadas sobre el tema.

Ante las demás preguntas finales sobre la percepción de la tarea realizada, el 77% de los estudiantes admitió que las actividades le resultaron sencillas y que los enunciados estaban claros; aunque, un 78% afirmó que le costó más la actividad 9 con respecto a las demás. La gran mayoría (96%) sostuvo que el modelo es útil para aprender el concepto de concentración.

CONCLUSIONES

Se ha presentado una experiencia didáctica llevada a cabo con una representación externa modelada sobre el concepto de concentración de disoluciones, desarrollada con la intención de favorecer en el estudiantado la construcción de un modelo mental sobre la concentración que permita consolidar los aspectos conceptuales mencionados al comienzo de este artículo (Cuadro 1).

En este trabajo se han compartido resultados prometedores, y también se ha profundizado en fundamentos y discusiones, de la aplicación de un modelo analógico didáctico que apoya la construcción de representaciones internas que permiten resolver situaciones en las que se aplica el concepto de concentración.

El modelo genérico MADCo permite visualizar la cantidad de soluto y, con ello, hacer hincapié en la cantidad de soluto por unidad de volumen, lo que refuerza un enfoque conceptual de aprendizaje, no algorítmico- numérico, basado en el uso del cociente entre la cantidad de soluto y el volumen total de la disolución. Con el modelo se visualiza la constancia (conservación) de la cantidad de soluto o del volumen de disolución en una determinada transformación.

El modelo pone en juego los mismos razonamientos que son necesarios para abordar efectivamente situaciones experimentales con disoluciones y para la resolución de problemas estándar. Estos razonamientos se apoyan en representaciones facilitadas por el modelo. En las actividades presentadas se interrelacionan o retroalimentan razonamientos y representaciones internas. Al efectuar estos razonamientos las representaciones externas se interiorizan, esto ocurre porque el MADCo proporciona una analogía visual que tiene, en gran medida, la misma estructura de relaciones estructurales y funcionales que el concepto físico de concentración.

Como se aclaró anteriormente, este es un estudio preliminar al que no se le pudo dar continuidad, manteniendo el mismo contexto presencial, por la aparición de la pandemia del Covid-19. Como proyección de esta investigación se espera continuar la misma, ampliando la muestra de estudiantes e incorporando diseños con actividades de transferencia de aprendizajes del modelo a situaciones reales.

REFERENCIAS

ADADAN, E.; SAVASCI, F. An analysis of 16–17-year-old students' understanding of solution chemistry concepts using a two-tier diagnostic instrument. **International Journal of Science Education**, v. 34, p. 513-544, 2012.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; MORALES, L. El concepto de modelo en la enseñanza de la Física. Consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 76-88, 2002.

CALIK, M. A cross-age study of different perspectives in solution chemistry from junior to senior high school. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 3, p. 671–696, 2005.

DAHSAH, C.; COLL, R. Thai grade 10 and 11 students' understanding of stoichiometry and related concepts. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 6, p. 573-600, 2008.

DE BERG, K. A study of first-year chemistry students' understanding of solution concentration at the tertiary level. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, p. 8-16, 2012.

DEVETAK, I.; VOGRINC, J.; GLAŽAR, S. Assessing 16-year-old students' understanding of aqueous solution at submicroscopic level. **Research Science Education**, v. 39, p. 157-179, 2009.

DUKERICH, L. Applying modeling instruction to high school chemistry to improve student's conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, v. 92, p. 1315-1319, 2015.

GABEL, D.; BRINER, D.; HAINES, D. Modelling with magnets. **The Science Teacher**, v. 59, n. 3, p. 58-63, 1992.

HARRISON, A.; TREAGUST, D. A typology of school science models. **International Journal of Science Education**, v. 22, n. 9, p. 1011-1026, 2000.

HEYWORTH, R. Procedural and conceptual knowledge of expert and novice students for the solving of a basic problem in chemistry. **International Journal of Science Education**, v. 21, p. 195-211, 1999.

JOHNSTONE, A. Chemical education research: Facts, findings, and consequences. **Journal of Chemical Education**, v. 60, p. 968-971, 1983.

KELLY, R.; AKAYGUN, S. Visualizations and representations in chemistry education. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 20, p. 657-658, 2019.

MAMMINO, L. Teaching chemistry with and without external representations in professional environments with limited resources. In Gilbert, J. K. et al. (eds.). **Visualization: Theory and Practice in Science Education**, Springer, 155-185, 2008.

MAYER, R. E. **Multimedia learning** (2nd ed.). New York : Cambridge University Press, 2009.

NÍAZ, M. Progressive transitions from algorithmic to conceptual understanding in student ability to solve chemistry problems: A Lakotian interpretation. **Science Education**, v. 79, p. 19-36, 1995.

NURRENBERN, S.; PICKERING, M. Concept learning versus problem solving: is there a difference? **Journal of Chemical Education**, v. 64, p. 508-510, 1987.

OTERO, M. R.; MOREIRA M. A.; GRECA, I. El uso de imágenes en textos de Física para la enseñanza secundaria y universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7. n. 2, p. 127-154, 2002.

RAVIOLO, A. Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. **Educación Química**, v. 20, n. 1, p. 55-60, 2009.

RAVIOLO, A. Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. **Educación Química**, v. 30, n. 2, p. 114-128, 2019.

RAVIOLO, A.; GARRITZ, A. Analogias no ensino do Equilíbrio Químico. **Química Nova na Escola**, v. 27, p. 13-25, 2008.

RAVIOLO, A.; FARRÉ, A. Aprendizaje conceptual del tema concentración de disoluciones: análisis de imágenes de libros de texto universitario. **Educación Química**, v. 31, n. 3, p. 119-133, 2020a.

RAVIOLO, A.; FARRÉ, A. Las representaciones de los estudiantes sobre el concepto de concentración de disoluciones. **REDEQUIM. Revista Debates em Ensino de Química**, v. 6, n. 2, p. 97-113, 2020b.

RAVIOLO, A.; SIRACUSA, P.; GENNARI, F.; CORSO, H. Utilización de un modelo analógico para facilitar la comprensión del proceso de preparación de disoluciones. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 22, n. 3, p. 379-388, 2004.

RAVIOLO, A.; FARRÉ, A.; TRAIMAN, N. Students` understanding of molar concentration. **Chemistry Education: Research and Practice**, advance article, 2021a.

RAVIOLO, A.; TRAIMAN, N.; FARRÉ, A. La comprensión del concepto de concentración en gramos por litro. **Enseñanza de las Ciencias**, en prensa, 2021b.

RYAN, S. **Student ratio use and understanding of molarity concepts within solutions chemistry**. Ph. D. Dissertation, University of Illinois at Chicago, Chicago, 2012.

SAWREY, B. Concept learning versus problem solving: revisited. **Journal of Chemical Education**, v. 67, p. 253-254, 1990.

SMITH, C.; SNIR, J.; GROSSLIGHT, L. Using conceptual models to facilitate conceptual change: the case of weight-density differentiation. **Cognition and Instruction**, v. 9, n. 3, p. 221-283, 1992.

TABER, K. Representations and visualisation in teaching and learning chemistry. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 19, p. 405-409, 2018.

VAN DEN AKKER, J.; GRAVEMEIJER, K.; MCKENNEY, S.; NIEVEEN, N. **Educational Design Research**. London: Routledge, 2006.

ZAMORANO, R.; GIBBS, H.; MORO, L.; VIAU, J. Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura. **Revista Eureka de Divulgación y Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 3, p. 392-408, 2006.

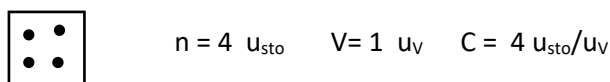
ZAMORANO, R.; GIBBS, H.; VIAU, J.; MORO, L. Calor y capacidad calorífica. Un modelo analógico como herramienta cognitiva. **Revista de Educación en Ciencias**, v. 8, n. 2, p. 111-115, 2007.

ANEXO: Guía de actividades con el modelo analógico didáctico para el aprendizaje de concentración (MADCo)

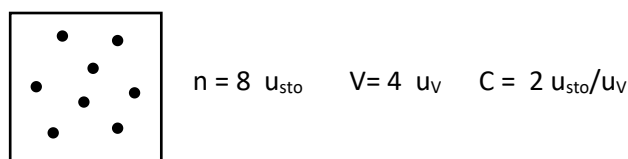
A continuación se presenta un modelo de dos dimensiones con la finalidad de ayudar a visualizar el concepto de concentración de disoluciones. En este modelo los círculos representan unidades de soluto y los rectángulos volúmenes de disolución. Las unidades de solvente (agua) no se representan para simplificar el dibujo. Las partículas de soluto se representan desordenadas, lo más distribuidas posibles en el volumen. El tamaño de la unidad de volumen es 1 cm^2 y el diámetro de los círculos es 1 mm .

La unidad de concentración es: $C = \text{unidades de soluto}/\text{unidad de volumen de disolución}$

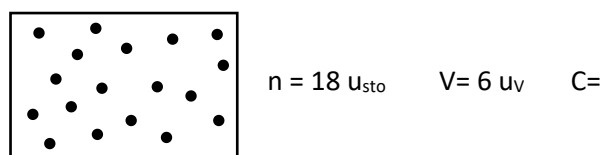
En la figura se aprecia una unidad de volumen de disolución (u_v) y 4 unidades de soluto (u_{sto}), por lo tanto la concentración es 4; 4 unidades de soluto por unidad de volumen de disolución o $4 u_{sto}/u_v$.



En la siguiente figura 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 $2 u_{sto}/u_v$



Actividad 1) a) Complete:



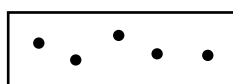
b) Represente una unidad de volumen de esta disolución.

Actividad 2) Represente 2 unidades de volumen de una disolución de concentración $4 u_{sto}/u_v$

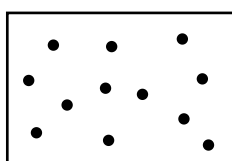
Actividad 3) ¿Cuántas unidades de soluto hay en 7 unidades de volumen de una disolución de concentración $5 u_{sto}/u_v$?

Actividad 4) ¿Qué volumen ocupan 15 u_{sto} de una disolución de concentración $3 u_{sto}/u_v$? Represente.

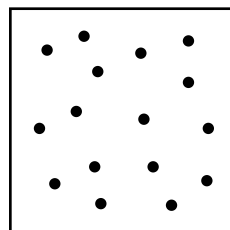
Actividad 5) ¿Cuál de las siguientes tres disoluciones es más concentrada? Explique.



$$V = 3 u_v$$



$$V = 6 u_v$$



$$V = 9 u_v$$

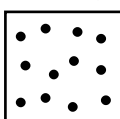
Actividad 6) ¿Cuál de las siguientes disoluciones $3 u_{sto}/u_v$ ocupa un volumen menor? Represente esa disolución.

- tiene 6 u_{sto}
- tiene 12 u_{sto}
- tiene 9 u_{sto}

Actividad 7) Si las siguientes disoluciones tienen 12 unidades de soluto, indique y represente la que ocupa menor volumen

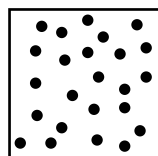
- $3 u_{sto}/u_v$
- $4 u_{sto}/u_v$
- $6 u_{sto}/u_v$

Actividad 8) Dada la siguiente disolución que ocupa 4 unidades de volumen



- ¿Cuál es su concentración?
- ¿Cuál es su concentración si se extraen 4 unidades de soluto? Represente la situación final
- ¿Cuál es su concentración si se evapora solvente (de la disolución original) y el volumen de la disolución queda en 3 unidades de volumen? Represente la situación final
- ¿Cuál es su concentración si se agrega solvente (a la disolución original) y el volumen de la disolución queda en 6 unidades de volumen? Represente la situación final

Actividad 9) ¿Qué volumen extraería de la disolución concentrada para preparar 2 unidades de volumen de una disolución $3 u_{sto}/u_v$? Represente el volumen extraído y el volumen de la disolución preparada.



Disolución concentrada

$$V = 4$$

$$C = 6 u_{sto}/u_v$$

Volumen extraído

Volumen disolución preparada

Preguntas

- 1) ¿Te resultaron sencillas las actividades?
- 2) ¿Cuáles actividades te costaron más?
- 3) ¿Los enunciados de cada actividad eran claros? ¿Cuál no?
- 4) ¿Te parece que este modelo es útil para aprender el concepto de concentración y aplicarlo a distintas situaciones o problemas? ¿Por qué?
- 5) ¿Qué representan para vos los puntos usados como unidades de soluto? Por ejemplo: gramos de soluto, moles de soluto, moléculas de soluto, iones de soluto, solo soluto..., otro (¿cuál?)

RESUMO

Alunos de diferentes níveis de ensino têm dificuldade no tema concentração de soluções após o ensino, embora possam chegar a respostas corretas em exercícios numéricos. Portanto, é necessário que tenham um conhecimento qualitativo baseado em representações mentais adequadas, que vai além do manuseio de fórmulas e números. Este artigo apresenta uma experiência preliminar, realizada com 26 estudantes universitários do primeiro ano, na qual o modelo analógico didático para o ensino de concentração (MADCo) é posto à prova. Este modelo envolve os alunos em um processo ativo de construção de uma representação mental genérica de concentração. Os resultados obtidos mostram que os alunos conseguiram compreender o modelo e com ele resolver as diferentes atividades, uma vez que esta representação permite visualizar a quantidade de soluto dissolvido num volume de solução. A utilização do modelo apoiou a construção de uma representação interna adequada do conceito de concentração que interage em situações que requerem raciocínios como: (a) considerar simultaneamente duas variáveis extensivas (quantidade de soluto e volume de solução) e reduzi-las à quantidade de soluto em uma unidade de volume de dissolução, (b) preservar o número de unidades de soluto no caso de certas alterações, como a adição ou evaporação de solvente, (c) preservação do volume de dissolução no caso de alterações, como a adição ou extração de soluto.

Palavras-chave: Representações; Modelo analógico didático; Concentração de soluções.

RESUMEN

Estudiantes de distintos niveles educativos mantienen dificultades sobre el tema concentración de disoluciones después de su enseñanza, por más que puedan arribar a respuestas correctas en ejercicios numéricos. Por ello, es necesario que cuenten con un conocimiento cualitativo basado en representaciones mentales apropiadas, que vaya más allá del manejo de fórmulas y números. En este artículo se presenta una experiencia preliminar, llevada a cabo con 26 estudiantes de primer año de universidad, en el que se pone a prueba el modelo analógico didático para el aprendizaje de concentración (MADCo). Este modelo involucra a las y los estudiantes en un proceso activo de construcción de una representación mental genérica sobre la concentración. Los resultados obtenidos muestran que los estudiantes pudieron comprender el modelo y con él resolver las

distintas actividades, dado que esta representación permite visualizar la cantidad de soluto disuelta en un volumen de disolución. El uso del modelo apoyó la construcción de una representación interna adecuada del concepto de concentración que interactúa en situaciones que requerían razonamientos como: (a) considerar simultáneamente dos variables extensivas (cantidad de soluto y volumen de disolución) y reducirlas a cantidad de soluto en una unidad de volumen de disolución, (b) conservar el número de unidades de soluto ante determinados cambios como el agregado o la evaporación de solvente, (c) conservación del volumen de disolución ante cambios como el agregado o la extracción de soluto.

Palabras-clave: Representaciones; Modelo analógico didáctico; Concentración de disoluciones.