

Secuencia didáctica para abordar el tema de cantidad de sustancia

Nadia Teresa Méndez Vargas,
Ángeles Adriana Reyes Álvarez,
Reyna Paola Huerta Chamorro
Química II, CCH Sur

Introducción

La enseñanza de la química se vuelve complicada si consideramos que las partículas que nos interesan no son visibles para cualquiera de nosotros; además, si a esto sumamos que los alumnos del primer año del bachillerato comienzan a desarrollar su capacidad de abstracción, la tarea se dificulta aún más.

Para explicar lo que sucede con las sustancias ya sea en procesos físicos o químicos, los profesores que impartimos las materias de química situamos a los alumnos en tres niveles de representación: lo que se ve y se percibe (macroscópico), lo que no se ve como átomos, moléculas y iones (nanoscópico) y los modelos para representar a ambos niveles (simbólico). Esta cualidad en la enseñanza de la química en diversas ocasiones complica el aprendizaje de conceptos abstractos.

Un tema importante en química y que queremos abordar con la siguiente secuencia es el de *cantidad de sustancia*, el cual es indispensable para entender las reacciones químicas y su estequiometría. Dicho tema no es fácil de entender para los estudiantes, aun cuando en la enseñanza del mismo se hace referencia que el mol (unidad de cantidad de sustancia) permite hacer una especie de puente entre el nivel macroscópico y el nanoscópico, y por ende tendría que ser sencillo; sin embargo, con los resultados obtenidos por los alumnos pareciera que no es así. Además, el uso de la cantidad de sustancia requiere de habilidades matemáticas, lo que representa un reto adicional. De ahí la necesidad de crear estrategias didácticas simples y útiles en las que nos enfoquemos en el concepto y de la necesidad e importancia para la química.

Antecedentes

Para poder diseñar y aplicar una secuencia didáctica útil para abordar el tema de cantidad de sustancia, es necesario reconocer las principales problemáticas asociadas a su enseñanza y aprendizaje y que se ven inmersas en las deficiencias metodológicas que se utilizan en clase, de las cuales mencionaremos algunas a continuación.

En 1893 Ostwald registró por primera vez en un libro de texto universitario, el término *mol* para describir una unidad de cantidad de sustancia y lo definió en el marco conceptual equivalentista como “la masa en gramos de una sustancia numéricamente igual a su peso normal o peso molecular” (Azcona, 1997), un significado que es totalmente distinto al actual. Fue hasta 1901 que se aceptó entre la comunidad de químicos la existencia de los átomos, y es hasta 1961 que se introduce la magnitud *cantidad de sustancia* dentro del paradigma atomista.

1. Complejidad de la definición rigurosa de la IUPAC

Comúnmente, en clase definimos el mol como la “masa molecular expresada en gramos”, lo cual no tiene que ver con la definición correcta, posiblemente por la complejidad de que los alumnos entiendan la definición aceptada, la cual es difícil y abstracta.

De acuerdo con la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) la cantidad de sustancia (simbolizada como n) es la cantidad base del sistema de cantidades sobre las cuales se basa el SI (Sistema Internacional de Unidades). Es el número de entidades elementales divididas entre la constante de Avogadro. Dado que es proporcional¹ al número de entidades, debe ser tratada de manera casi idéntica al número de entidades [...] Esta cantidad no tenía un nombre antes de 1969 y era simplemente referida como el número de moles.

Por otro lado el mol es la “Unidad base del SI para la cantidad de sustancia (símbolo: mol). La cantidad de sustancia de un sistema que contiene el mismo número de entidades elementales que átomos hay en 0.012 kg de carbono-12”. Cabe mencionar que al ser mol una unidad, esta no se escribe en plural, por ejemplo 2 mol en lugar de 2 moles.

2. Confusión entre magnitudes y unidades

Comúnmente, en clase y en los libros de texto se le da mayor importancia a la unidad (mol) y no a la magnitud (cantidad de sustancia). Por ejemplo, pedimos a los alumnos *calcular el número de moles de H₂O en una muestra y no solicitamos calcular u obtener la cantidad de H₂O...*; esta indicación nos lleva a fomentar errores conceptuales como que los alumnos creen que el número de moles es distinto a la cantidad de sustancia y la cantidad de sustancia es la masa, ya que los cálculos se basan en medir magnitudes como la masa y el volumen. Esta concepción confunde a los alumnos. Por ello es necesario insistir que, para saber la cantidad de sustancia lo ideal sería contar, pero por tratarse de partículas tan pequeñas, es mejor saberlo a través de la masa, pero que cantidad de sustancia es diferente a la masa o al volumen, aunque se relacionan: a mayor cantidad de sustancia mayor masa.

¹ La constante de proporcionalidad es el recíproco de la constante de Avogadro y es la misma para todas las sustancias.

3. Elevada exigencia cognitiva y de abstracción

Ramos (2006) concluye en que este tema es considerado como un reto para enseñarlo, ya que los alumnos carecen de prerrequisitos indispensable para entenderlo, como átomo, elemento, compuesto, molécula, masa atómica, masa molecular; conceptos cuya dificultad es reconocida. Si sumamos a eso que el concepto de cantidad de sustancia se relaciona con el nivel nanoscópico, nivel que por su abstracción de por sí ya es difícil dada la edad que tienen los alumnos en el primer año de bachillerato, y además de que deben relacionar dos niveles, lo que aumenta la dificultad.

Otra exigencia cognitiva tiene con ver con las habilidades matemáticas y de proporción, lo cual se evidencia cuando obtienen valores numéricos ilógicos que además los alumnos los consideran correctos, por ejemplo, si hay más masa que antes, la cantidad de sustancia puede disminuir.

4. Uso mecánico no comprensivo de fórmulas matemáticas, proporciones, factores de conversión.

A menudo se enseña el mol con un enfoque matemático que oscurece el significado químico, ya que comúnmente en clase reducimos el significado de mol a establecer una proporción entre la masa y la cantidad de sustancia, siendo la constante de proporcionalidad la masa molecular. Ello explica que los alumnos realicen sus cálculos en forma mecánica, utilizando reglas de tres, proporciones, factores de conversión o aplicando fórmulas que pueden no entender, sin establecer alguna conexión entre los resultados que obtienen y su significado químico; así como Finley y colaboradores (1992) (en Kind, 2004) alertan al indicar que la habilidad para resolver problemas numéricos no caracteriza la comprensión conceptual de los fundamentos moleculares del problema.

De acuerdo con todo lo anterior, se evidencia la necesidad de que los alumnos comprendan el concepto de cantidad de sustancia y no sólo el de mol y los cálculos. Y aunque lo bondadoso del Programa de Química II del CCH es que no pide definir mol, sí es necesario tratar el tema para su posterior aplicación.

Algunos autores como Boujaoude y Barakat (2000) (en Kind, 2004) recomiendan que los problemas que se van a resolver durante las clases estimulen el pensamiento y no sean meras aplicaciones de algoritmos. Señalan que los maestros deberían analizar también cómo enfocan los estudiantes la resolución de problemas, lo que evitaría el continuo empleo de estrategias equivocadas, lo cual además puede ayudar a los estudiantes en la adquisición de habilidad en la resolución de problemas (Kind, 2004).

Los estudiantes también necesitan un planteamiento preciso basado en la asociación entre la cantidad de sustancia referida al nivel nanoscópico y una cantidad numérica observable y medible referida al nivel macroscópico.

Propósitos

General

- Diseñar una secuencia didáctica que los docentes puedan utilizar para abordar el tema de cantidad de sustancia en el nivel bachillerato.

Propósitos particulares de la secuencia didáctica:

1. Dar relevancia al concepto de cantidad de sustancia.
2. Plantear varias actividades lúdicas, experimentales y prácticas para comprender el concepto de cantidad de sustancia indicando la relación con la masa.

Aprendizajes esperados

Usando como referencia el Programa de Química II, en la Unidad I, al finalizar la secuencia el alumno:

En 1968 el Comité Internacional de Pesas y Medidas recomienda incluir el **mol** en el Sistema Internacional de Unidades y en 1972 se aprueba incluirlo como unidad básica del SI de la magnitud *cantidad de sustancia*.

1. Comprenderá que la magnitud cantidad de sustancia hace referencia a la cantidad de partículas presentes en una muestra.
2. Establecerá la relación entre dos magnitudes diferentes: masa y cantidad de sustancia.
3. Reconocerá al mol como unidad de la magnitud cantidad de sustancia asociada al número de partículas (átomos, moléculas, iones).

Procedimiento

Aprendizajes necesarios

Para cumplir con los propósitos y lograr los aprendizajes esperados relacionados con el tema de cantidad de sustancia, es necesario que los alumnos tengan los siguientes antecedentes:

1. Tener conocimiento de que los materiales están hechos de diminutas partículas invisibles a simple vista: átomo, molécula, ion.
2. Saber calcular masas atómicas y moleculares.
3. Identificar que las reacciones químicas producen nuevas sustancias y que se representan por medio de ecuaciones químicas, esto nos lleva a que los alumnos conozcan el significado de coeficientes y subíndices y de la conservación de la masa.

Tiempo: 5 horas-clase. 2 horas-extra clase.

Ubicación en el programa: materia Química II, Unidad I: Suelo, fuente de nutrimentos para las plantas.

Actividades

Actividad 1. Solicitamos a los alumnos la siguiente *investigación en casa*: ¿qué es cantidad de sustancia? ¿Cuál es la unidad de cantidad de sustancia? ¿Qué es el número de Avogadro? Plantear ejemplos.

Actividad 2. Los alumnos leyeron “Una reacción química puede salvar tu vida en un choque” (tomada de Phillips, J.; Strovzak, V.; *et al. Química: conceptos y aplicaciones*. McGraw-Hill. México, 2000. Adaptado por Nadia Méndez.), que a través de un ejemplo, fueron capaces de identificar la utilidad de conocer la cantidad de sustancia en una muestra. Después de hacer la lectura, los alumnos respondieron en equipo algunas preguntas con la intención de hacerlos reflexionar.

Preguntas para reflexionar y contestar en equipo

1. ¿Se puede saber cuántos frijoles hay en una bolsa sin que ésta se abra? Diseña una manera de hacerlo.
2. Haz una estimación. ¿Cómo cuántas gotas de agua te tomas cuando ingieres un vaso de agua (250 mL)? ¿Es posible saberlo con precisión? ¿Cómo?
3. Si dos sustancias tienen el mismo número de moléculas, ¿tendrán la misma masa?
4. ¿Qué masa tendría un mol de agua?
5. ¿Qué masa tiene 0.5 mol de plomo?



Figura 1. Alumnos que intentan contar gotas que hay en 250 mL de agua.

Lectura (un extracto)

Una reacción química puede salvar tu vida en un choque

Casi todos los autos tienen como sistema de seguridad las bolsas de aire, las cuales se accionan con un golpe. Con ese golpe se desatan una serie de reacciones químicas.

El gas que infla las bolsas de aire es el nitrógeno (N_2), es un gas inerte o poco reactivo y por ende no peligroso para la salud. El N_2 se produce mediante una serie de reacciones que se inician a partir de una chispa eléctrica, a raíz del impacto, que al contacto con una pastilla de **azida de sodio** (NaN_3), se descompone produciendo dicho gas.

Para que las bolsas de aire sean confiables tienen que cumplir con ciertas características, por ejemplo requieren 0.1340 m^3 de nitrógeno para inflarse. Esa cantidad debe ser exacta, ni más ni menos, de lo contrario no salvarían una vida.

La pastilla debe contener la cantidad exacta de las sustancias involucradas, es decir si no hay las suficientes partículas de azida de sodio que se transformarán en nitrógeno y sodio, es muy probable que la bolsa de aire no se infle según los valores anteriores. Y eso puede ser mortal. Aquí es donde hace su aparición y utilidad “la cantidad de sustancia”.



De acuerdo a la ecuación, tiene que haber 2 mol de azida de sodio para que se produzcan 3 mol de nitrógeno y 2 mol de sodio. Si hay un mol de azida de sodio, no se obtendrá la cantidad necesaria y exacta del gas que puede salvar una vida.

No se contaron partículas de azida de sodio, más bien se obtuvo la masa y a partir de ese valor se sabe la cantidad de partículas que hay y que reaccionarán para formar los productos descritos.

Actividad 3. Las profesoras hicieron una explicación breve, en la que se ubicó a la cantidad de sustancia en el SI, y destacaron que el mol es su unidad como lo es el g para la masa, el s para el tiempo, etc. En esta intervención de las profesoras se utilizaron ejemplos para ubicar el concepto de cantidad de sustancia en el nivel macroscópico, tangible para los alumnos; por ejemplo, se usó el anillo de plata de la profesoras, señalando que su masa es de 107.8 g, se pidió a los alumnos que ubicaran el símbolo de la plata en la tabla periódica y al hacerlo ellos identificaron que ese valor corresponde a su masa atómica; entonces se aprovechó para indicarles que se tiene 1 mol de cantidad de sustancia de plata y con ese dato se hizo la relación con el número de Avogadro 6.02×10^{23} átomos de plata, en este caso. Las profesoras mostraron con otros ejemplos lo que significa ese número.

Actividad 4. Lúdica experimental. Por equipo, los alumnos recibieron el material necesario para trabajar y a manera de concurso se les pidió lo siguiente.

1. Que entregaran físicamente a las profesoras 1 mol de agua; el primer equipo que lo hizo y explicó cómo llegó a ese resultado, obtuvo 1 punto en el siguiente parcial.
2. Las profesoras intervinieron para resaltar el significado de las unidades de: masa molar (g/mol) y su relación de cantidad de sustancia con la masa.
3. El primer equipo que trajo 0.1 mol de NaCl ganó 0.5 puntos en el siguiente parcial.
4. Las profesoras profundizaron en la explicación del tema y en los cálculos, evitando que éstos se convirtieran en mecánicos.
5. Las profesoras solicitaron 0.01 mol de sacarosa.
6. Se les pidió a los alumnos que midieran la masa de 4 laminas de plomo y que calcularan la cantidad de sustancia de esa muestra.
7. ¿Qué masa tendría 2 moles de alcohol etílico?
8. Fue necesario que las profesoras volvieran intervenir para resolver dudas.



Figura 2. El equipo que entregó 1 mol de agua, 18 g.



Figura 3. El equipo que entregó 0.1 mol de cloruro de sodio, 5.8 g.

Actividad 5. Los alumnos resolvieron los siguientes ejercicios en equipo:

1. ¿Cuál es la utilidad del mol para los químicos?
2. ¿Un mol de Fe tiene la misma masa que un mol de Ca? Explica.
3. ¿Un mol de Fe tiene el mismo número de partículas que un mol de Ca? Explica.

4. El oro integra un grupo de metales llamados metales de acuñar. ¿Cuántos átomos de oro (Au) hay en una pepita de oro puro que tiene una masa de 25.0 g?
5. El olor característico del ajo se debe al compuesto sulfuro de alilo (C_3H_5)₂ S. ¿Cuál es la masa de 2.50 mol de sulfuro de alilo?
6. ¿Qué cantidad de sustancia es 250 g de agua?

Actividad 6. Se regresó el cuestionario inicial y lo revisaron en grupo, de tal forma que las profesoras aclararon dudas.

Actividad 7. Las profesoras concluyeron y evaluaron la secuencia.



Figura 4. Medición de las gotas que hay en 10 mL de agua.

Resultados

La secuencia tiene la flexibilidad de que las profesoras pueden intervenir en cualquier momento de la misma con la finalidad de ir avanzando con los alumnos poco a poco, resolver dudas y concretar ideas.

Algunas de las respuestas de los alumnos a las preguntas planteadas durante la secuencia son:

¿Cómo cuántas gotas de agua te tomas cuando ingieres un vaso de agua (250 mL)? ¿Es posible saberlo con precisión?

— *Con precisión no se puede saber, solamente un aproximado.*

¿Cómo?

— *Contamos las gotas que hay en 10 mL de agua, y esas gotas que resultaron ser 100 gotas de agua las multiplicamos por 25, porque en 250 hay veinticinco 10 (o 250 entre 10 = 25), y este será el resultado del total de la cantidad de las gotas, o sea 2500 gotas de agua en 250 mL de agua.*



Figura 5. Determinación de la masa de 1 mol de NaCl.

Traer 0.1 mol de NaCl.

A partir de cálculos, los alumnos lograron determinar que 1 mol de NaCl tiene una masa de 58 g, por lo tanto, 0.1 mol tendrá una masa de 5.8 g.

¿Un mol de Fe tiene el mismo número de partículas que un mol de Ca?

— *Sí, tienen la misma cantidad de sustancia, es decir, son el mismo número de átomos, pero sus masas van a ser diferentes porque los átomos no son iguales, uno va a **pesar** más que otro—.*

Al aplicar la secuencia didáctica con los grupos, observamos que los alumnos:

- Se mantuvieron interesados.
- Comprendieron la importancia de la magnitud cantidad de sustancia.

- Diferenciaron entre cantidad de sustancia como la magnitud y mol como la unidad.
- Entendieron la relación entre la cantidad de sustancia, la masa y el número de Avogadro.
- Realizaron cálculos sencillos.

Análisis

En general, con las respuestas que los alumnos dieron en clase, evidencian que no es sencillo establecer la relación del 6.02×10^{23} en masas pequeñas. Para saber cuántas gotas hay en una cantidad de agua, a los alumnos no les pareció complicado, pues algunos equipos sí se pusieron a contarlas, hubo equipos que determinaron cuántas gotas había en un volumen pequeño y lo extrapolaron a 250 mL, mientras que otros se dieron por vencidos y otros más utilizaron diversas maneras para resolver el problema de manera teórica. Sin embargo, les pareció que contar cuando se trata de millones de objetos o de partículas muy pequeñas resulta complicado.

Identificaron la importancia de conocerla cantidad de partículas en una muestra, pero saben que no pueden contar iones, átomos o moléculas porque son tan pequeños que no son evidentes para la vista, pero reconocieron que sí se puede saber sin contar, que lo pueden lograr de manera indirecta, apoyándose de la masa y del número de Avogadro.

La actividad experimental les permitió establecer la relación que hay entre la cantidad de sustancia y la masa, ya que para saber la primera tenían que apoyarse en la segunda. Tuvieron frente a sus ojos 1 o 0.5 mol de diferentes sustancias y masas diferentes, por lo tanto también la cantidad de partículas en cada caso.

Al final de la secuencia los alumnos lograron determinar la masa de cantidades de sustancias distintas como la sacarosa o el cloruro de sodio, y entendieron que esa cantidad de materia está formada por un número específico de entidades las cuales representan la cantidad de sustancia.

Un problema en la enseñanza de cantidad de sustancia es que el concepto es abstracto y confuso para los estudiantes, aun cuando pueden medir la masa y hacer la relación. Esta cualidad los obliga a memorizar y a tener un dominio mecánico del algorítmico en la resolución de problemas. Para comprender el tema es necesario que los alumnos entiendan y dominen las razones y proporciones o el factor unitario, es decir, las matemáticas se convierten en una herramienta indispensable, y notamos que los alumnos no tienen ese dominio, lo cual hace aún más complicada la enseñanza y el aprendizaje del concepto. Los alumnos hacen uso de la regla de tres, y nosotras consideramos que deberían de eliminar esa práctica en este tipo de problemas ya que demerita el trabajo intelectual que realizan los alumnos.

Consideramos las dificultades en el aprendizaje del tema, tanto en la experiencia práctica como en la bibliografía para diseñar la estrategia, con la finalidad de no fomentar más ideas alternativas en los alumnos; para ello fue necesario incluir la

actividad experimental ya que los alumnos pudieron obtener la cantidad de sustancia de una muestra a través de medir la masa y con ello saber la cantidad de partículas existentes en dicha muestra.

Conclusión

La secuencia le dio el lugar que merece a la magnitud de cantidad de sustancia; permitió a los alumnos hacer la distinción de esta magnitud con la masa, y ahora saben que son dos conceptos diferentes pero que se relacionan entre sí. Identifican que la cantidad de sustancia nos ayuda a saber cuántas partículas hay en una muestra sin que tengan que contar, y más si se trata de entidades nanoscópicas.

De acuerdo con los resultados, identificamos que es necesario que los alumnos dominen las matemáticas (razones y proporciones o factor unitario) en la solución de problemas de cantidad de sustancia, de lo contrario no logran establecer la relación entre la masa, cantidad de sustancia y número de partículas.

Bibliografía y cibergrafía

- ❖ Ramos, A. *Diagnóstico de los prerrequisitos conceptuales para el aprendizaje del “mol” en los alumnos de secundaria*. Congreso Estatal de Investigación Educativa. Actualidad, Prospectivas y Retos. 4 y 5 de diciembre del 2006. Fecha de consulta: 9 de marzo 2014.
- ❖ <http://portalsej.jalisco.gob.mx/investigacion-educativa/sites/portalsej.jalisco.gob.mx/investigacion-educativa/files/pdf/Prerrequisitos%20conceptuales%20RAMOS.pdf>
- ❖ Santa Ana, E., Cárdenas, A., Martínez, F. *La cantidad de sustancia y el equivalente químico, una aproximación histórica y didáctica. implicaciones para la enseñanza de la química de bachillerato*. Fecha de consulta: 9 de marzo 2014.
- ❖ <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/usrn/lentiscal/I-cdquimica-tic/HistoriaCiencia/HistoriaMol-Eq.pdf>.
- ❖ Furió, C. y Padilla, K. (2003). La evolución histórica de los conceptos científicos como prerrequisito para comprender su significado actual: el caso de la “cantidad de sustancia” y el “mol” en *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*. 17, 55-74.
- ❖ Furió, C.; Azcona, R. y Guisasola, J. (2008). Enseñanza de los conceptos de cantidad de sustancia y de mol basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada en enseñanza de las ciencias. 24(I), 43-58.
- ❖ Kind, V. (2004). Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos.