

ISBN 978-950-33-1673-3

Edición de
MARÍA PAULA BUTELER
IGNACIO HEREDIA
SANTIAGO MARENGO
SOFÍA MONDACA

Filosofía de la Ciencia

por Jóvenes Investigadores

vol.2

Filosofía de la Ciencia por Jóvenes Investigadores vol. 2

Edición de

María Paula Buteler
Ignacio Heredia
Santiago Marengo
Sofía Mondaca

Colecciones
del CIFYH 

Filosofía de la Ciencia por Jóvenes Investigadores vol. 2 / Ignacio Heredia ... [et al.]; editado por María Paula Buteler... [et al.]. - 1a ed. - Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Filosofía y Humanidades, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1673-3

1. Filosofía de la Ciencia. 2. Jóvenes. I. Heredia, Ignacio. II. Buteler, María Paula, ed.
CDD 121

Publicado por

Área de Publicaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades - UNC

Córdoba - Argentina

1º Edición



Área de

Publicaciones

Diseño de portadas: Manuel Coll

Diagramación: María Bella

Imagen de cubierta y contracubierta: Detalle del retrato de Carpenter (1836), autora: Margaret Sarah Carpenter. Imagen de dominio público editada por Martina Schilling.

Imagen de portads interiores: Retrato de Ada Lovelace, autore desconocido, circa 1840. Seis diseños en color por Ignacio Heredia.

2022



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.



El concepto de mol en la enseñanza de la química.

Un puente entre los dominios macroscópico y molecular

Fiorela Alassia*

Mercedes Barquín**

Guadalupe Quiñoa‡

El primer puente de Constitución y a mis pies fragor de
trenes que tejían laberintos de hierro humo y silbidos
escalaban la noche que de golpe fue el Juicio Universal

Jorge Luis Borges¹

Las nociones de sustancia y de elemento, junto con la de estructura, constituyen tres categorías fundamentales de la química, ya que juegan un papel central en las explicaciones de las reacciones químicas y en la comprensión de la tabla periódica. Para el Sistema Internacional de Unidades (SI), el mol es la unidad empleada para la magnitud cantidad de sustancia. El objetivo del trabajo es argumentar que el concepto de mol resulta de utilidad para relacionar la noción de sustancia química entre los planos macroscópico y molecular, sirviendo como “puente” entre ellos, tanto en el contexto del análisis filosófico como en el contexto de la enseñanza de la química. Para ello, presentaremos de manera resumida algunas posiciones sobre el problema de la sustancia química y un breve repaso histórico del surgimiento del concepto de mol. Luego, analizaremos algunas de las analogías usualmente utilizadas en la enseñanza de este concepto.

Los dominios del mundo químico y la noción de sustancia

Las nociones de sustancia y de elemento, junto con la de estructura, constituyen las tres categorías fundamentales de la química, ya que juegan un papel central en las explicaciones de las reacciones químicas y en la

¹ Del poema Mateo XXV, 30. Borges, Obra poética (Borges, 2005 p. 182)

* FCNyCS, UNPSJB / fiorella.alassia@gmail.com

** FCNyCS, UNPSJB / mercedesbarquin@yahoo.com.ar

‡ FCNyCS, UNPSJB / quinoaguadalupe@gmail.com



comprensión de la tabla periódica. En los últimos años se han generado interesantes discusiones en la filosofía de la química sobre la intención del término “sustancia química”. En ese sentido, se han propuesto diversos criterios de identificación para abordar el problema.

Dos autores proponen un criterio de identificación de la sustancia química en el plano macroscópico. Uno de ellos es Paul Needham (2008), para quien el concepto de sustancia es una noción genuinamente macroscópica y su criterio de identificación descansa sobre la termodinámica. Asimismo, Jaap van Brakel (2008) afirma que aunque una sustancia químicamente pura es a menudo definida sobre la base de su estructura molecular, también puede ser identificada en términos de ciertas propiedades macroscópicas como la densidad, que no varía durante el cambio de fase. Sugiere que el mejor criterio de identificación de una sustancia pura es el punto triple², ya que es el único estado termodinámico donde la sustancia está presente en las tres fases en equilibrio termodinámico, confirmando así que las tres fases corresponden a la misma sustancia.

Si estos criterios de identificación son genuinos en el plano macroscópico, no son suficientes para caracterizar a una sustancia química dada porque existen propiedades microscópicas a considerar. El microestructuralismo, esto es, la postura que hace foco en las propiedades microestructurales, sostiene que la estructura molecular determina la identidad de las sustancias compuestas (Hendry, 2008). Sin embargo, este criterio de identificación es limitado, dado que, para una cierta molécula, es posible proponer diferentes conformaciones interconvertibles entre sí que dan lugar a los denominados isómeros conformacionales.

Por otro lado, el denominado plano “microquímico” es susceptible de ser analizado distinguiendo conceptualmente al plano molecular, por un lado, y al plano cuántico, por el otro. Ambos se diferencian energéticamente y también en su aspecto ontológico (Labarca y Lombardi, 2010a, 2010b). Como afirman Olimpia Lombardi y Mario Castagnino (2010), el mundo de la mecánica cuántica no es un mundo de objetos, mientras que el dominio molecular sí lo es.

De acuerdo con estas consideraciones, es posible diferenciar tres dominios del mundo químico: el macroscópico, el molecular y el cuántico (Córdoba, Labarca y Zambon, 2010, 2013). Los mismos son irreductibles

² Condiciones de presión y temperatura donde coexisten los estados de agregación sólido, líquido y gaseoso.

entre sí: las propiedades inherentes a cada uno de ellos no explican las propiedades de los restantes. El dominio macroscópico o macroquímico está conformado por las sustancias que los químicos manejan cotidianamente en el laboratorio. Es el plano fenomenológico, donde residen todas las propiedades físicas y químicas que usualmente se pueden determinar. El dominio molecular está conformado por las estructuras químicas con las que se describen los cambios que ocurren en las reacciones y se explican muchas de las propiedades de las sustancias químicas. Finalmente, el dominio cuántico, regido por las leyes de la mecánica cuántica, está constituido por el conjunto de las partículas subatómicas y sus posibles interacciones.

A partir de lo anteriormente planteado se desprende que la sustancia química no puede ser definida en términos exclusivamente de un solo dominio; cada uno de ellos aporta su ontología y abarca una serie diferente de fenómenos. Un concepto importante que evidencia este aspecto de la química por funcionar como un mediador entre el dominio macroscópico y el molecular es el concepto de mol, la unidad de la magnitud cantidad de sustancia y cuyo surgimiento se presenta resumidamente en el siguiente apartado.

El surgimiento de los conceptos de mol y cantidad de sustancia

Como concepto, el mol surgió entre finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX y es atribuido al físico químico alemán Wilhelm Ostwald (1853-1932), quien lo definió como “la masa en gramos de una sustancia que es numéricamente idéntica a su peso molecular” (Ostwald, 1893, p.119; citado en Marquardt, 2019).

Paradójicamente, Ostwald propuso este concepto para hacer frente a la teoría atómica, una hipótesis sobre la estructura de la materia que surgió a principios del siglo XIX y con la cual no estaba de acuerdo. El atomismo, introducido en la química por John Dalton (1766-1844) y Amadeo Avogadro (1776-1856), básicamente consistía en afirmar la naturaleza discontinua de la materia. Dalton sostuvo que las combinaciones químicas se realizan a través de unidades discretas y que los átomos de cada elemento son idénticos. Ostwald, por su parte, adhería a la visión equivalentista, que consideraba a la materia como continua y concebía a las combinacio-

nes químicas como relaciones entre las masas de las sustancias participantes (Furió-Más y Martínez, 2003).

Comenzado el siglo XX, la visión atomística fue consolidándose, en parte gracias al desarrollo de la física de la época. La corroboración experimental de la teoría atómica vino de la mano de los desarrollos teóricos de Jean Perrin y Albert Einstein, que adicionalmente condujo a la definición numérica de la constante de Avogadro. La técnica de difracción de rayos X desarrollada a partir de 1912 fue fundamental para establecer el valor numérico de dicha constante. Acorde a Jo Wolff (2020), a partir de entonces, el mol estuvo asociado a dos percepciones diferentes: como unidad de masa química (relacionada con la masa en gramos) y como unidad conectada al número de partículas definido por la constante de Avogadro, sugiriendo la introducción de una nueva magnitud en química: la cantidad de sustancia.

En 1971 se decidió incluir a la cantidad de sustancia entre las magnitudes fundamentales del SI, estableciendo al mol como su unidad. El mol, entonces, quedó definido de la siguiente manera:

1. Es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kg de carbono 12.
2. Cuando se usa el mol, las entidades elementales deben especificarse y pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de tales partículas. De aquí se sigue que la masa molar del carbono 12 es exactamente 12 gramos por mol, $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.³

En el año 2018 se propusieron cambios y a partir de 2019, la cantidad de sustancia queda redefinida en base a la constante de Avogadro:

El mol, cuyo símbolo es mol, es la unidad de cantidad de sustancia del SI. Un mol contiene exactamente $6,02214076 \times 10^{23}$ entidades elementales. Este número es el valor numérico fijo de la constante de Avogadro, N_A , cuando se expresa en mol^{-1} y es llamado el número de Avogadro. La cantidad de sustancia, símbolo n, de un sistema es una medida del número de entidades elementales especificadas. Una entidad elemental puede ser

³ Bureau International des Poids et Mesures. 2006. The international system of units (SI). US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology; Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre.

un átomo, una molécula, un ion, un electrón o cualquier otra partícula o grupo específico de partículas. (Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) 2019. Base unit. The International System of Units, 9th edition, France 2019, Section 2.3.1)

Al quedar el mol establecido por un número fijo de partículas y no depender de la masa, se desprenden algunas cuestiones a considerar, presentadas en el siguiente apartado.

El mol como “puente” entre dominios

Según Wolff (2020), a partir de la nueva definición del mol pareciera que la cantidad de sustancia es una magnitud contable, en tanto que mide el tamaño de un conjunto de entidades contables. Por un lado, esto resulta beneficioso para distinguir claramente la cantidad de sustancia de la masa. Sin embargo, no se brinda ninguna indicación particular de dónde surge el número, asumiendo implícitamente que la expresión de la definición abandonada “tantas entidades elementales como átomos de carbono 12 hay en 0,012 kg” servía meramente como una forma de denotar el número $6,02214076 \times 10^{23}$.

Wolff sostiene que mediante la definición de la masa molar del carbono 12 anteriormente se proveía una razón para concebir a la cantidad de sustancia como algo más que solamente una cardinalidad⁴. No es un número cualquiera, sino que está relacionado a la forma en que la materia es particionada en relación al tipo de entidades en cuestión. Un requerimiento fundamental para establecerlo es que la masa total esté distribuida equitativamente entre las entidades contadas, por lo tanto, no aplica para conjuntos compuestos por entidades químicas de distinto tipo.

En este sentido, la diferencia real entre cantidad de sustancia y otras magnitudes del SI sería que la misma es diferente para diferentes sustancias. Por ejemplo, un kilogramo de oro y un kilogramo de helio tienen la misma cantidad de masa, pero significan diferente cantidad de sustancia (casi 5 moles para el oro, casi 250 moles para el helio).

En la anterior definición de mol existía una tensión entre cantidad contable y cantidad continua, por estar relacionado a la masa. Esta tensión surge, según Wolff, a partir del rol del mol como mediador entre el dominio macroscópico y el molecular. El mol permite describir los fenómenos

⁴ La cardinalidad de un conjunto finito es el número de sus elementos.

químicos y termodinámicos en términos de interacciones moleculares. Mientras que en el nivel macroscópico la descripción se basa en cantidades continuas (como la masa o el volumen), la explicación microscópica apela a entidades contables (átomos, moléculas, iones), las cuales, no obstante, son demasiado numerosas para ser literalmente contadas.

En el siguiente apartado presentaremos algunas consideraciones en relación a los aspectos didácticos del concepto.

Sobre la enseñanza del concepto de mol

En la enseñanza de la química se distinguen tres tipos de representaciones (Gilbert y Treagust, 2009). Además de la representación en el plano macroscópico (el fenómeno ante los sentidos) y microscópico o molecular, se incluye la representación simbólica, que son los símbolos que representan a las entidades y sus relaciones, es decir, las ecuaciones químicas. El grado de profundidad de un estudiante de química está relacionado con el manejo de ese “triplete” de representaciones para comprender y explicar los fenómenos de interés. Sin embargo, es sabido que en muchos casos existen dificultades para lograrlo. Esto se conoce como “el problema del pensamiento macro-micro en la escuela” (Gilbert y Treagust, 2009, p.30).

Para abordar estos desafíos en clases, se pueden implementar diversas estrategias. Una de ellas es el uso de analogías, comparaciones entre dos dominios, uno conocido, el análogo o base, y otro nuevo o parcialmente nuevo, el objeto u objetivo (Duit, 1991). La utilización de las analogías como estrategia de enseñanza encuentra sustento desde varios puntos de vista (Oliva, et al., 2001, Oliva, 2019), dado que cumplen diversas funciones como explicar, validar, predecir, realizar inducciones e incluso modelizar (Godoy, 2002). En la utilización de una analogía es necesario que se establezca una relación de correspondencia entre lo conocido y lo nuevo, así como también comprender las estructuras de los dominios a comparar. Raviolo y Lerzo (2014) indican que la clave para que una analogía sea efectiva es conocer los atributos del análogo y explotar al máximo aquellos compartidos para comprender el objetivo.

En relación a la enseñanza de los conceptos de mol y cantidad de sustancia, abundan las investigaciones que indagan diferentes aspectos relacionados a las dificultades de aprendizaje, principalmente debido al carácter abstracto de la expresión cantidad de sustancia y la atribución de

diversos significados a la palabra mol (Furió-Más et al., 2002). Es frecuente hallar en los libros de textos destinados a la enseñanza en el nivel medio diferentes analogías del concepto de mol que, en su mayoría, refieren a una escala macroscópica. Probablemente una de las más utilizadas es la del término “docena”. Schmidt-Rohr (2020) argumenta que acorde a la actual visión atomística de la materia, una sustancia equivale, en esencia, a las moléculas en las cuales consiste y por lo tanto, “cantidad de sustancia” es igual al “número de moléculas”. En este contexto, el mol es una unidad numérica análoga a docena o porcentaje. Para entidades elementales contables, la “cantidad” de las mismas es el número de ellas, por lo tanto, cuando se aplica a las mismas, el mol debe ser un número. De hecho, la definición numérica de mol es la que efectivamente se utiliza en libros de texto de química, así como también en la práctica química, a pesar de que la definición oficial de la IUPAC lo desaconseje (Schmidt-Rohr, 2020).

El tipo mencionado de analogías del mol como un número fijo hacen énfasis en el aspecto “estático” del concepto de mol. También existen otros tipos de analogías que permiten abordar el concepto de mol en el contexto de una reacción química; esto es, analogías que focalizan en el aspecto “dinámico” del concepto de mol. En la enseñanza de la estequiometría, por ejemplo, se aborda el estudio de las relaciones cuantitativas y se vinculan conceptos como el de masa, volumen, moléculas, moles de las sustancias que participan de una reacción química. En este ámbito, el concepto de mol es necesario para la realización de cálculos, por lo que sería más adecuado definirlo como la cantidad de sustancia que se transforma en una reacción particular y no simplemente como la cantidad de sustancia asociada a un número fijo. Algunos ejemplos de analogías de este tipo son las analogías con recetas de cocina (en las cuales se comparan las proporciones de las sustancias que reaccionan en una reacción química determinada con la proporción de ingredientes necesarias para realizar una receta), o la analogía con las sillas de un cine para introducir el concepto de proporcionalidad (Guisado García, 2014).

Consideraciones finales

Consideramos que, para el abordaje de la enseñanza del concepto de mol, sería oportuno relacionar de manera armónica, las analogías estáticas y dinámicas del concepto de mol bajo un marco común que conciba al mol



como un concepto “puente” entre dos dominios de la química. Por un lado, las analogías “estáticas” permiten relacionar las partículas atómicas con objetos macroscópicos, haciendo énfasis en el mol como unidad de cuenta: “la docena de los químicos”. Por el otro, las analogías “dinámicas” permiten utilizar el concepto de mol en el contexto de sustancias que reaccionan en una determinada reacción química.

Además de todas las consideraciones anteriormente expuestas, sería importante incluir en las clases de química algunos aspectos históricos para contextualizar y explicitar cuál es el problema químico que el concepto de mol intenta resolver. En acuerdo con Carlos Furió-Más et. al. (2002), las concepciones actuales de la magnitud cantidad de sustancia y su unidad, el mol, “son el resultado de un largo proceso de investigación en torno al problema de la determinación de cantidades en las reacciones químicas dentro de un marco teórico atomista.” (2002, p. 238). En este sentido, para una adecuada comprensión conceptual sería necesario distinguir de manera clara que el contexto en el cual surge el concepto de mol (el paradigma equivalentista) es diferente al contexto que le da lugar a su actual definición. La concepción del concepto de mol como “puente” presentada en este trabajo podría ser un aporte para clarificar esa distinción y pretende ayudar a una mejor comprensión de los fenómenos químicos.

Referencias Bibliográficas

- Córdoba, M., Labarca, M. y Zambon, A. (2010). Multiplicidad ontológica y la sustancia en química. En P. García y A. Massolo (Eds.), *Epistemología e Historia de la Ciencia 2010* (pp. 162–169). Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Córdoba, M., Labarca, M. y Zambon, A. (2013). Acerca de la unicidad de la sustancia química. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 26, 167–180.
- Friedel, A. W. (1990). Using analogs for chemistry problem solving: does it increase understanding? *School Science and Mathematics*, 90(8), 674–82.

- Furió-Mas, C., Azcona, R., y Aranzabal, J. G. (2002). Revisión de investigaciones sobre la enseñanza-aprendizaje de los conceptos cantidad de sustancia y mol. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 229–242.
- Furió-Mas, C. y Martínez, K. P. (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”. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 17, 55–74.
- Gilbert, J. K., y Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: key models in chemical education. En Gilbert, J. K., y Treagust, D. F. (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 1–8). Springer.
- Guisado García, A. F. A. (2014). *Diseño de una estrategia didáctica basada en analogías para motivar el aprendizaje de la estequiometría* [Tesis de Maestría publicada]. Universidad Nacional de Colombia.
- Hendry, R. (2008). Microstructuralism: problems and prospects. En van Brakel, J., y Ruthenberg, K. (Eds.), *Stuff: the nature of chemical substances* (pp. 107–121). Königshausen & Neumann.
- Labarca, M., y Lombardi, O. (2010a). Why orbitals do not exist? *Foundations of Chemistry*, 12, 149–157.
- Labarca, M., y Lombardi, O. (2010b). Acerca del estatus ontológico de las entidades químicas: el caso de los orbitales atómicos, *Principia: Revista Internacional de Epistemología*, 14, 309–333.
- Lombardi, O. y Castagnino, M. (2010). Matters are not so clear on the physical side. *Foundations of Chemistry*, 12, 159–166.
- Marquardt, R. (2019). The mole and IUPAC: a brief history. *Chemistry International*, 41(3), 50–52.

- Needham, P. (2008). A critique of the Kripke-Putnam conception of water. En Labarca, M. y Lombardi, O. (Eds.), *Stuff: the nature of chemical substances* (pp. 93–105). Königshausen & Neumann.
- Schmidt-Rohr, K. (2020). Analysis of two definitions of the mole that are in simultaneous use, and their Surprising consequences. *Journal of Chemical Education*, 97(3), 597–602.
- van Brakel, J. (2008). Pure chemical substances. En Labarca, M., y Lombardi, O. (Eds.), *Stuff: the nature of chemical substances* (pp. 145–161). Königshausen & Neumann.
- Wolff, J. E. (2020). Heaps of moles? Mediating macroscopic and microscopic measurement of chemical substances. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 80, 19–27.