

La vida sutil

Traducción libre del artículo: "LA VIDA SUTIL. Un Imaginario diálogo con una no tan sutil moral". ALLEN Vergotsky, *J.Chem.Ed.*, 1967, 44, 607-8.

En una tierra muy distante hace muchos años, vivía un viejo sabio biólogo y un viejo sabio químico. Sus fronteras no se extendían a otras disciplinas. El primero pensaba que la hiperconjugación, orbitales híbridos y radicales libres se referían a subversivos, y el segundo estaba convencido que la mitosis era una inflamación del hígado y que el DNA y ATP eran las iniciales de alguien. La historia comienza cuando los dos tienen la ocasión de encontrarse en el campus universitario.

Escena 1 (en el campus).

Biólogo. Mi querido amigo químico. Tengo que contarle sobre mi caballo favorito que tiene pasión por los cubos de azúcar. Estoy interesado sobre el destino de estos cubos.

Químico. Obviamente los cubos de azúcar deben ser objeto de variados cambios físicos y químicos, convirtiendo los carbohidratos en otra clase de moléculas.

Biólogo. ¡Qué fascinante pensamiento! Pero ¿qué son esas misteriosas transformaciones que presenta el azúcar?

Químico. No tengo ni idea, pero estudiaré su problema.

Escena 2. (en el laboratorio del químico, el mismo día)

Químico (hablando para sí). Veamos, no puedo tener un caballo en mi laboratorio, así que usaré un animal pequeño como el conejo. Pondré el animal en una jaula, lo alimentaré con azúcar y encontraré qué tipo de moléculas se forman y se desechan en una u otra vía. Yo puedo marcar el azúcar con carbono 14 , de tal forma, que solamente los compuestos que provengan del azúcar serán radioactivos y analizaré las moléculas radioactivas que son respiradas o excretadas.

Escena 3. (en el campus alrededor de un año más tarde)

Químico. Ah, usted por aquí. Yo he estado pensando en usted y debo contarle acerca de los experimentos con el azúcar.

Biólogo. ¡Oh! ¿Ha encontrado usted algo sobre las misteriosas transformaciones del azúcar?

Químico. Sí, por supuesto. Después de inyectar glucosa radioactiva a un conejo, encontré que parte del azúcar se rompió para producir CO_2 y algo de radioactividad en las heces y orina del conejo y el análisis químico mostró la presencia de los siguientes compuestos radioactivos...

Biólogo. ¡Extraordinario! Pero usted realmente piensa que el conejo maneja el azúcar exactamente igual a como lo hace mi caballo? También tengo curiosidad sobre la exis-

tencia de efectos sobre sus resultados: quizás el conejo no come lo normal estando en cautiverio. Podemos suponer que el trauma por estar encerrado, manejado e inyectado con glucosa puede alterar su sistema endocrino y cambiar el balance de sus hormonas. Quizás el conejo no responde a la glucosa pura en solución, de la misma manera que al azúcar en una dieta compleja; puede aún ser capaz de detectar la diferencia entre glucosa marcada y no marcada. Mirándolo de otra forma, la emisión de radioactividad dentro del organismo puede...

Químico. ¡PARE! Pienso que debo trabajar más este problema (pensó para sí: el biólogo tiene razón). Hay algo errado en el sistema. Hay muchas variables. Además, no me gusta trabajar con las heces de conejo y orina en mi laboratorio. Debe haber otra vía mejor para resolver el problema.

Escena 4. (en el campus, pocos meses más tarde)

Biólogo. Hola. ¿Cómo le va con el problema sobre el cual trabaja? El estudio de la misteriosa transformación del azúcar en un caballo.

Químico. He hecho grandes modificaciones sobre el experimento. Después de hablar con usted hace algunos meses, diseñé un nuevo aparato para el experimento. Acoplé un tubo de polietileno a un hígado aislado de conejo y se circula a través de él una solución salina de la misma fuerza iónica del suero sanguíneo. Lo llamo aparato de "perfusión". Planeo inyectar al hígado glucosa marcada y cada cierto tiempo analizar el hígado para ver qué cambios se han presentado.

Biólogo. ¡Interesante! Pero me parece que usted tiene en su experimento los mismos problemas que le mencioné antes. El hígado no es una entidad en sí mismo, pues recibe hormonas de las glándulas endocrinas. También se me ocurre que en los organismos vivos los productos de las células son constantemente removidos, pero en su sistema estos compuestos vienen a ser reciclados. Qué le hace pensar que la salinidad fisiológica es la misma que la de la sangre, y...

Químico. ¡SUFICIENTE! Es claro que se requiere más trabajo (pensó para él). Me parece que hay algo errado en mi aproximación. Es tan complicado. Debe haber un camino para simplificar...

Escena 5 (en el campus, 6 meses después)

Químico. Pienso que he resuelto su problema. Desde la última vez que hablamos diseñé un aparato que corta el hígado en tajadas muy finas. También he desarrollado métodos analíticos muy sensibles, con los cuales yo espero determinar la naturaleza de cantidades trazas de azúcar marcado en los productos de su rompimiento en estas tajadas. Este es un bonito sistema y he conseguido un número apreciable de datos a partir de un hígado, de manera que no necesito muchos animales.

Biólogo. Me parece que no tuvo cuidado de las objeciones que le planteé la última vez acerca del problema. Al cortar el tejido, interrumpe la normal relación entre las diferentes clases de células del hígado. Supongo que las células ubicadas en las cercanías de los bordes del corte se dañarán seriamente y los fluidos citoplasmáticos pueden escapar. Desde el punto de vista de las células la más fina cuchilla de microtomo es similar a un martillo. Para darle una analogía, cortar la célula puede ser comparado a dividir una inmensa multitud en grupos ordenados, mediante cargas de TNT colocadas en sitios claves de la multitud.

Químico. ¡Qué horrible pensamiento! Yo entiendo sus objeciones sobre la técnica del corte y debo trabajar más sobre el tema.

Escena 6 (en el campus, varios meses después)

Biólogo. Hola ¿Qué ha estado haciendo sobre el problema del azúcar?

Químico. Excelente, amigo mío. He eliminado todas las dificultades sobre el corte y, al mismo tiempo, normalizado una forma fácil de trabajar. Ahora tomo el hígado y lo homogenizo con una licuadora de manera que tengo una mezcla uniforme de células a la cual planeo adicionar glucosa marcada y ver qué sucede con ella.

Biólogo. Todo eso es muy interesante pero usted se ha alejado aún más de los seres vivos y debe preguntarse acerca del significado fisiológico de la clase de datos que usted desea obtener. En su sistema homogéneo, la organización dentro de las células está destruida, de tal manera que sus moléculas están en una situación que no es real respecto de los organismos vivos.

Químico. ¡Qué sutiles son las cosas de la vida! Debe haber una mejor manera de resolver el problema.

Escena 7 (en el campus, días más tarde)

Biólogo. ¿Ha hecho algo más sobre la investigación sobre el azúcar?

Químico. (Brillante de orgullo). ¡He hecho! Desde la última vez que lo vi he aislado la primera enzima con la cual reacciona la glucosa en la célula. La he purificado 1.000 veces, recristalizado 5 veces en hermosas estructuras rómbicas y determinado la secuencia de los primeros siete aminoácidos en la cadena proteínica. Planeo determinar la estructura terciaria de esta enzima y entonces...

Biólogo. Con todos sus datos ¿qué puede decirme sobre las transformaciones del cubo de azúcar en un caballo?

Químico. ¿Caballo? ¡El caballo! ¡Me había olvidado de él!

Biólogo. **Mi pobre amigo. El aspecto penoso de su investigación es que usted ha eliminado la variable de la vida, usted se ha acercado más y más a la respuesta, pero siento temor, porque cada vez está más y más lejos de la verdad.**

Químico. **Quizás algún día, en una lejana tierra hombres como usted y como yo trabajarán juntos para resolver los sutiles problemas de la vida.**

Conclusión

Cuántas veces hemos querido ver en una actividad elemental y sencilla un sinnúmero de problemas inexistentes y aún más, buscarles explicaciones que nuestros interlocutores (estudiantes) no entienden. Creemos que estamos dando una respuesta adecuada usando la "última teoría o concepto con un alto nivel de elaboración", al cual nuestra capacidad como docentes no llega. Como dice el adagio popular: "nos desmontamos por la orejas", posiblemente del caballo del biólogo de nuestra historia.

El trabajo conjunto, en grupo, interdisciplinariamente no significa perder autonomía; es reconocer las debilidades, aceptar que "la unión hace la fuerza". No debemos seguir aceptando que mi disciplina es la más importante y que soy el único poseedor de la verdad. No es sentirse menos cuando se acude a quien se ha dedicado a profundizar en una disciplina y maneja los conocimientos básicos que pueden ayudarnos a resolver dudas e inquietudes.

Hoy por hoy, como siempre, la ciencia es un cúmulo de teorías y procedimientos generados por miles y miles de cabezas y muchas de ellas pueden estar a nuestro servicio.

No hay preguntas estúpidas

Tomado de: CARL, Sagan, *El mundo y sus demonios. La ciencia como una luz en la oscuridad*, Traducción de Dolors Udina, Ed. Planeta, Bogotá, 1997, págs. 347-9.

En el este de África, en los registros de las rocas que datan de dos millones de años, se pueden encontrar una serie de herramientas talladas, diseñadas y ejecutadas por nuestros antepasados. Su vida dependía de la fabricación y uso de esas herramientas. Era desde luego tecnología de la primera edad de piedra. Con el tiempo se utilizaron piedras de formas especiales para partir, astillar, desconchar, cortar y esculpir. Aunque hay muchas maneras de hacer herramientas de piedra, lo que es notable es que en un lugar determinado durante largos periodos de tiempo las herramientas se hicieron de la misma manera, lo que significa que cientos de miles de años atrás, debía haber instituciones educativas, aunque se tratara principalmente de un sistema de aprendizaje. Es fácil exagerar las similitudes, también lo es imaginarse al equivalente de profesores y estudiantes en taparrabos, las clases de laboratorio, los exámenes, las ceremonias de graduación y la enseñanza de posgrado.

Cuando no cambia la preparación durante largos periodos de tiempo, las tradiciones pasan intactas a la generación siguiente. Pero cuando lo que se debe enseñar cambia de prisa, especialmente en el curso de una sola generación, se hace mucho más difícil saber qué enseñar y cómo enseñarlo. Entonces, los estudiantes se quejan sobre la pertinencia de lo que se les explica; disminuye el respeto por los mayores. Los profesores se desesperan ante el deterioro de los niveles educativos y lo caprichosos que se han vuelto los estudiantes. En un mundo en transición, estudiantes y profesores necesitan enseñarse a sí mismos una habilidad esencial: **aprender a aprender**.

Excepto para los niños (que no saben lo suficiente como para dejar de hacer preguntas importantes), pocos de nosotros dedicamos mucho tiempo a preguntarnos ¿por qué la naturaleza es como es?; ¿de donde viene el cosmos? o si siempre ha estado allí; si un día el tiempo irá hacia atrás y los efectos precederán a las causas, o si hay límites definitivos a lo que deben aprender los humanos. Incluso hay niños, y he conocido algunos, que quieren saber cómo es un agujero negro, cuál es el pedazo más pequeño de materia, por qué recordamos el pasado y no el futuro y por qué existe el Universo.

De vez en cuando tengo la suerte de enseñar en una escuela infantil o elemental. Encuentro muchos niños que son científicos natos, aunque con el asombro muy acusado y el escepticismo muy suave. Son curiosos, tienen vigor intelectual. Se les ocurren preguntas provocadoras y perspicaces. Muestran un entusiasmo enorme. Me hacen preguntas sobre detalles. **No han oído hablar nunca de la idea de una PREGUNTA ESTÚPIDA.**

Pero cuando hablo con estudiantes del Instituto encuentro algo diferente. Memorizan "hechos", pero en general, han perdido el placer del descubrimiento, de la vida que se oculta tras los hechos. Han perdido gran parte del asombro. Los preocupa hacer preguntas estúpidas, están dispuestos a aceptar respuestas inadecuadas; no plantean cuestiones de detalle; el aula se llena de miradas de reojo para valorar, se-

gundo a segundo, la aprobación de sus compañeros. Vienen a clase con las preguntas escritas en un trozo de papel, que examina subrepticamente en espera de su turno y sin tener en cuenta la discusión que puedan haber planteado sus compañeros en aquel momento.

Ha ocurrido algo entre el primer curso y los cursos superiores, y no solo es la adolescencia. Yo diría que es en parte la presión de los compañeros contra el que se destaca, en parte que la sociedad predica la gratificación a corto plazo; en parte que la impresión de que la ciencia o las matemáticas no le ayudan a uno a comprarse un coche último modelo; en parte que se espera poco de los estudiantes, y en parte que hay pocas recompensas o modelos para una discusión inteligente sobre ciencia y tecnología.

Pero hay algo más: he visto a muchos adultos que se enfadan cuando un niño les plantea preguntas científicas. ¿Por qué la luna es redonda? ¿Por qué la hierba es verde? ¿Qué es un sueño? ¿Hasta qué profundidad se puede cavar un hueco? ¿Cuándo es el cumpleaños del mundo? ¿Por qué tenemos dedos en los pies? Demasiados padres contestan con irritación o ridiculización, o pasan rápidamente a otra cosa. ¿Cómo querías que fuera la Luna, cuadrada? Los niños reconocen en seguida que, por alguna razón, este tipo de preguntas enoja a los adultos. Unas cuantas experiencias como éstas y otro niño perdido para la ciencia. No entiendo por qué los adultos simulan saberlo todo ante un niño de seis años. **¿Qué tiene de malo admitir que no sabemos algo? ¿Es tan frágil nuestro orgullo?**

Hay mejores respuestas que decirle al niño que hacer preguntas profundas es una especie de pifia social. Si tenemos una idea de la respuesta, podemos intentar explicarla. Aunque el intento sea incompleto, sirve como reafirmación e infunde ánimo. Si no tenemos idea de la respuesta, podemos ir a la enciclopedia. Si no tenemos enciclopedia, podemos llevar el niño a la biblioteca. O podríamos decir: <<No sé la respuesta. Quizá no la sepa nadie. A lo mejor, cuando seas mayor, la descubrirás tú>>.

Hay preguntas ingenuas, preguntas tediosas, preguntas mal formuladas, preguntas planteadas con una inadecuada autocrítica. Pero toda pregunta es un clamor por entender el mundo. No hay preguntas estúpidas.

El combustible limpio para automotores

Una de las mayores fuentes de contaminación atmosférica son los automotores, que cada día deben ajustarse a las exigentes normas que limitan la emisión de contaminantes. Las ensambladoras se han visto en la necesidad de desarrollar motores de combustión interna de mayor rendimiento y sistema de limpieza de los gases, producto de la combustión. Sin embargo la tecnología a pesar de sus limitaciones explora nuevos horizontes: el de las fuentes alternativas de energía como la electricidad y combustibles cuyos productos de oxidación (combustión) sean limpios.

La primera posibilidad se ha venido trabajando desde hace varios años y ha tropezado con barreras como costos, limitaciones tecnológicas y baja autonomía en el desplazamiento automotor; parece no tener un futuro promisorio a corto plazo.

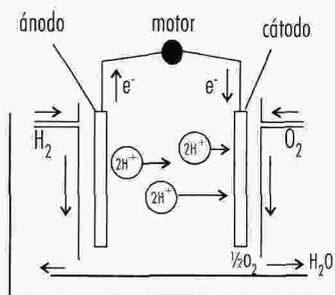
En la segunda posibilidad se han planteado y estudiado varias opciones entre las que se destacan el hidrógeno (H_2) como combustible y la llamada celda de combustible, en la cual a partir de hidrógeno y oxígeno se forma agua, y se genera una corriente eléctrica como fuente de energía.

La diferencia entre estas dos opciones radica en que la primera implica el manejo de tanques de hidrógeno con un alto nivel de riesgo por la combustibilidad de este gas que puede dar lugar a explosiones. En la segunda, el hidrógeno se produce a medida que se requiere y el oxígeno se obtiene del aire; los productos finales son agua y electricidad.

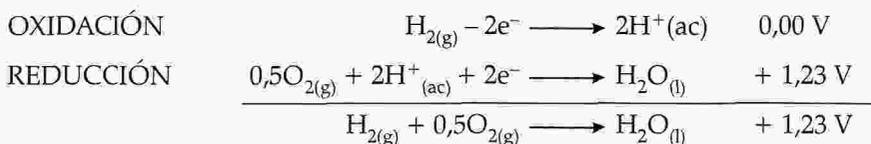
Centrándonos en la celda de combustible podemos hacer una descripción esquemática de su estructura y de los procesos de oxidación y de reducción que generan la corriente eléctrica.

Como toda celda electroquímica tiene electrodos (ánodo y cátodo), un medio conductor interno y un circuito externo que conduce la corriente eléctrica producida hacia el motor que la transformará en energía mecánica para mover el automotor. Un esquema simplificado se muestra en la figura.

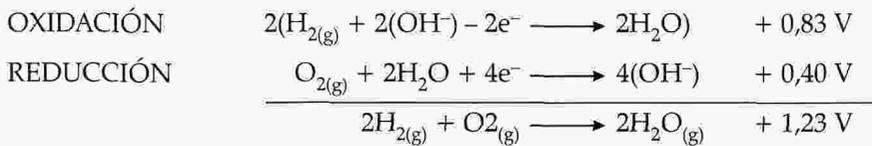
Los medios internos pueden ser de varios tipos: el que se muestra en la figura es ácido, los hay también básicos con hidróxido de potasio como electrolito y sólidos como carbonato de litio y potasio.



Las reacciones correspondientes a la celda ácida son:



Las reacciones correspondientes para un medio interno básico son:



A pesar de llamarse celda de combustión, este proceso en la realidad no ocurre; la energía que se libera en la formación de las uniones hidrógeno-oxígeno se convierte en electricidad. Estas celdas trabajan en condiciones isotérmicas y generan una mínima cantidad de calor comparadas con la combustión del hidrógeno.

Si bien es cierto que se ha avanzado en la tecnología de estas celdas, presentan inconvenientes que limitan su uso principalmente por las fuentes de hidrógeno y el alto costo por kilovatio de potencia. Según una publicación de *The Economist*, la producción de motores con celda de combustible cuesta alrededor de \$US 4.000 por kilovatio comparado con los \$US 40 que cuesta un kilovatio en los motores convencionales. Un factor de gran influencia son los electrodos de platino (Pt), que actúan también como catalizadores. Se ha estimado que un sistema práctico de una celda de combustible requiere una carga entre 0,25 y 0,5 g/kV; sin embargo, en el motor montado en un bus que circula por las calles de Vancouver (Canadá) se ha llegado hasta una carga de 5 g/kV. Según estas cuentas los técnicos han calculado que un millón de vehículos con una celda de 20 kV con una carga de 5 g de platino consumiría cerca del 5% de la producción mundial de este metal.

Desde otro punto de vista subsiste el problema de la contaminación. Como la fuente de hidrógeno es el metanol, se requiere de un reactor para su procesamiento llamado "reformador", que para el tamaño requerido en los automotores produce monóxido de carbono (CO) que además de contaminante envenena el platino de los electrodos, disminuyendo su capacidad como catalizador.

Si bien es cierto que falta camino por recorrer, la celda de combustible constituye actualmente una opción para el ideal de motores limpios para el impulso de los automotores del futuro cercano y cumplir con las normas de contaminación. Por ejemplo, en el estado de California se aprobó una norma para "vehículos de emisión cero", según la cual el 10% de los automóviles que se vendan en el año 2004 no deben generar contaminación.

Bibliografía

- _____. "Llegaron las celdas de combustible". En: Revista Semana- Selections from The Economist- London. April 24th - 30th de 1999.
- _____. "Fuel cells for future vehicles", PARAMINS Post. Diciembre de 1993, págs. 7, 8.
- Johannes J., Bent,S., "Fundamentals of ENERGY STORAGE", John Wiley & Sons, N.Y., 1984, págs. 127-68.

Mol

Nos hemos preguntado ¿en qué momento oímos hablar de MOL, MOL-GRAMO, MOLECULA-GRAMO y bajo qué circunstancias? Seguramente no nos acordamos, pero presumiblemente lo primero que trabajamos sobre el concepto de MOL es lo que hoy en día usamos, sin cuestionarnos y reflexionar sobre su significado; nos contentamos con aplicar una "definición" que se transforma en un número que entra a formar parte de una expresión matemática y nos permite llegar a la respuesta "pedida".

Si reflexionamos un poco sobre este concepto nos encontramos frente a dificultades dependiendo de la definición que apliquemos. Más que conveniente es sano y refrescante plantear y analizar, así sea brevemente, algunos interrogantes frente a este concepto. Por ejemplo:

¿es una cantidad?

¿es una unidad?

¿es una masa?

¿es un número?

Para responder a estas preguntas es necesario conocer algo sobre su origen y algunas de las características del concepto.

Comencemos por recordar que el término MOL parece haber sido introducido por Wilhelm Ostwald en 1896. Él lo tomó del latín "moles" que significa "montón"; por lo que MOL se puede describir en una primera aproximación como un "arrume" o "montón" muy grande de entidades (átomos o moléculas). Desde este momento ya se comenzó a relacionar el término MOL con un número no definido de entidades constitutivas.

El proceso ocurrido no fue sencillo y requirió del aporte de varios hombres de ciencia para lograr consolidar las bases necesarias para el desarrollo y clarificación del concepto.

Algunos aspectos previos que se pueden mencionar son:

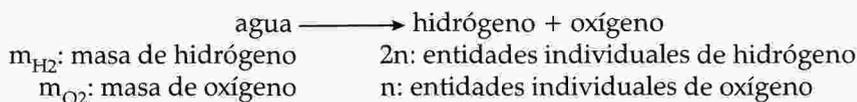
1. La materia está constituida por **entidades** de características definidas llamadas átomos y cada una de las clases de átomos tiene una masa determinada, descrita por la escala de masas atómicas que en su desarrollo ha tenido dos patrones o referencias principales: el O^{16} y en el presente el C^{12} .
2. Las sustancias que en sus reacciones se comportan de una forma propia descrita por las leyes de composición.
3. Las reacciones de sustancias en estado gaseoso pueden describirse por la Ley de Volúmenes de Combinación de Gay Lussac.
4. Las reacciones químicas son el resultado de la interacción de las unidades constitutivas de las sustancias que reaccionan (elementos o compuestos) y responden a un comportamiento característico. Esto implica que los átomos de los elementos al combinarse para formar un compuesto, o la reorganización de las sustancias reaccionantes para formar los productos, no lo hacen al azar sino en una proporción característica, dependiendo de la naturaleza de las sustancias o elementos que reaccionan y de los productos.

Lo anterior indica que en las reacciones químicas interactúan las unidades constitutivas de los reaccionantes (elementos o compuestos) para formar los productos y cada una de las unidades que los integran aportan masa de acuerdo con su constitución.

5. Los sistemas gaseosos en su comportamiento frente a la temperatura (Ley de Gay Lussac), se dilatan en la misma proporción bajo un aumento dado de la temperatura. Es decir que la relación entre el volumen y la temperatura de una muestra gaseosa no depende de la naturaleza del gas.

Amadeo Avogadro (1776–1856) apoyado en el comportamiento descrito por Gay Lussac dedujo que cualquier sustancia gaseosa, a una temperatura determinada, tiene el mismo número de partículas (unidades o entidades constitutivas), sean átomos o moléculas por unidad de volumen. Esta es la llamada **HIPÓTESIS DE AVOGADRO**.

Este planteamiento abrió el camino para explicar la composición del agua, con base en su descomposición electrolítica, como formada por átomos de hidrógeno y de oxígeno en proporción de 2:1. Además, se obtuvo una información definitiva: la masa de oxígeno es 8 veces mayor que la del hidrógeno, por lo que el átomo de oxígeno debería tener una masa 16 veces más que la del hidrógeno (el valor experimental es 15,87).



Se puede establecer la relación:

$$\begin{aligned} (m_{\text{H}_2}/2n) &= \text{masa de una unidad de hidrógeno} \\ (m_{\text{O}_2}/n) &= \text{masa de una unidad de oxígeno} \end{aligned}$$

Por tanto:

$$\frac{m_{\text{H}_2}/2n}{m_{\text{O}_2}/n} = \frac{1/2n}{8/n} \quad \Rightarrow \quad \frac{M_{\text{H}}}{M_{\text{O}}} = \frac{1}{16}$$

Avogadro halló una relación de masas para los elementos que componen el agua, pero no su valor individual que podría ser: 1/16; 2/32; 3/48;...

Esta dificultad se resolvió cuando se estructuraron las escalas de masas atómicas relativas. Como no es posible pesar las unidades individuales de la materia y por pequeña que sea la masa que se maneje, se está trabajando con un gran número de unidades. Dichas escalas se estructuraron como cualquier otra escala en el sentido que:

- Se escoge un elemento patrón
- Se especifica la magnitud de la unidad.

A mediados del siglo XIX se seleccionó el oxígeno como elemento patrón y se le asignó un valor de 16 u.m.a. para su masa atómica y se definió una **UNIDAD DE MASA ATÓMICA** (u.m.a.) como:

$$1 \text{ u.m.a.} = (1/16) \text{ de la masa atómica del oxígeno}$$

y la masa atómica del hidrógeno se tomó como:

$$\frac{\text{masa de un átomo de hidrógeno}}{\text{masa de un átomo de oxígeno}} = \frac{1}{15,87}$$

$$\frac{\text{masa de un átomo de hidrógeno}}{\text{masa de (1/16) del átomo de oxígeno}} = \frac{1}{15,87/16} = 1,000 \text{ u.m.a.}$$

De esta forma el hidrógeno quedó ubicado en la escala de masa atómica, tomando como patrón al oxígeno.

¿Qué relación tienen estos hallazgos con el concepto de MOL?

Como en el laboratorio se manejan masas en gramos, kilos, libras, se vio la necesidad de buscar un procedimiento por el cual se pudieran tomar masas de elementos o compuestos, que tuvieran el número adecuado de unidades constitutivas para interactuar completamente. Por ejemplo, en la obtención del óxido de carbono (II) $\langle \text{CO} \rangle$ se requiere tomar masas de carbono y de oxígeno²⁷ tales que la relación de unidades constitutivas sea 1:1. Si es la obtención del óxido de azufre (VI) $\langle \text{SO}_3 \rangle$ deben tomarse masas de azufre y oxígeno tales que la relación de unidades constitutivas sea 1:3.

Pero las unidades constitutivas pueden ser átomos individuales o agrupaciones de átomos (moléculas). Como una primera aproximación a la solución del problema con respaldo experimental, se partió del O^{16} como patrón de la escala de masas atómicas y, por tanto, el O_2 tendría una masa de 32. Con esta base la definición de MOL es:

"Masa de una sustancia que contiene un número de unidades constitutivas como moléculas de oxígeno (O_2) hay en 32 g. de este elemento".

Como complemento de lo anterior, se tiene el hecho experimental que 32 g. de oxígeno (1 mol), 71 g. de cloro (1 mol), 2 g. de hidrógeno (1 mol), 28 g. de nitrógeno (1 mol), 28 g. de óxido de carbono (II) (1 mol), 17 g. de amoníaco (1 mol), son gases que a condiciones normales (273°K y 1 atm. de presión) ocupan un volumen de 22,4 litros. Por ello se encuentra otra definición de MOL:

"Masa en gramos de una sustancia que en estado gaseoso a condiciones normales (C.N.) ocupa un volumen de 22,4 litros".

Hasta este punto del análisis, MOL se define como una masa (en gramos) que cumple con unas condiciones, pero que explícita o implícitamente guarda relación con el número de unidades o entidades presentes en esa masa.

Con el transcurso del tiempo se han elaborado como rótulos para referirse a MOL, que probablemente han llevado a más confusión que a clarificar el concepto; de ahí los problemas que se presentan cuando los estudiantes lo aplican a sistemas químicos. En general no se va más allá de un proceso puramente mecánico en la solución de ejercicios que con frecuencia es la causa de un cierto rechazo.

²⁷ Como se conoce con la densidad del gas puede calcularse el volumen que debe medirse a una temperatura y presión dadas.

Estos rótulos y los inicialmente citados muestran una variabilidad en la manera de definir MOL y algunas de ellas no pasan de intenciones de "trabajar elegantemente" el concepto.

Pero qué decir en cuanto al número de entidades presentes en el MOL²⁸. Este es otro aspecto del problema cuya solución conocemos hoy en día como el NÚMERO DE AVOGADRO.

Al respecto es bueno llamar la atención sobre agrupaciones de elementos que manejamos en la vida diaria como un todo y por lo comunes o evidentes que son, las utilizamos casi instintivamente; son el par, la docena, la gruesa y la resma. Estas agrupaciones se trabajan como unidades numéricas, pero tienen una gran diferencia con el concepto de MOL: los elementos constitutivos son en general contables físicamente a simple vista. En el caso del MOL (Número de Avogadro), debemos contar unidades que no se ven.

Sin entrar a una revisión de los métodos para determinar el Número de Avogadro, se puede mencionar que se basan en la Teoría Cinética de los Gases (Loschmidt – 1865), William Thomson (Lord Kelvin – 1870), Rayleigh (1899) y Perrin (1923).

Además se desarrollaron métodos y técnicas como la de Millikan, de desintegración radiactiva, difracción de rayos X, electrólisis del agua, electrodeposición y el de la película delgada. Este último se trabaja a nivel de laboratorio de química básica. Lo importante es apreciar el rango de valores hallados.

Loschmidt	$6,18 \times 10^{23}$
Kelvin	6×10^{21}
Rayleigh	$2,47 \times 10^{19}$
Millikan	$6,0220 \times 10^{23}$
Perrin	$3,4 \times 10^{23}$
Desintegración radiactiva	$6,04 \times 10^{23}$
Difracción de Rayos X	$6,0220 \times 10^{23}$
Película delgada	$1,76 \times 10^{23}$
Electrólisis del agua	$5,60 \times 10^{23}$
Electrodeposición	$5,96 \times 10^{23}$

Claramente se puede notar que el valor numérico depende del método y de la calidad de la medida. El valor aceptado para el Número de Avogadro es de $6,02 \times 10^{23}$.

De esto surge otra definición de MOL:

"Masa en gramos de un elemento o compuesto que contiene $6,02 \times 10^{23}$ unidades constitutivas".

Pero la aplicación de la definición va mucho más lejos porque estas unidades pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, fotones, estrellas, sueños, ángeles. Por eso en muchos textos aparece definido MOL como:

²⁸ Peso en gramos de una sustancia numéricamente igual a su peso molecular.
 Peso en gramos de una sustancia gaseosa que ocupa un volumen de 22,4 litros a C.N.
 Peso en gramos de la molécula –gramo del elemento o compuesto.
 Peso en gramos de un gramo-fórmula de una sustancia.

"Masa en gramos que contiene $6,02 \times 10^{23}$ entidades constitutivas, sean átomos, moléculas, iones, electrones".

Esta definición presenta una dificultad para los estudiantes: la magnitud del número.

¿Cómo podemos visualizar qué tan grande es el Número de Avogadro y que no se reduzca a un factor que sirve para resolver ejercicios típicos?

Por ejemplo, cuando tomamos una barra de 27 g de aluminio o una masa de 12 g. de carbono, tenemos una masa que contiene (en cada caso) $6,02 \times 10^{23}$ átomos de aluminio y de carbono respectivamente. **No es que se tenga un mol de átomos.** Con estos datos podemos imaginarnos lo pequeños que son sus **átomos**. (7) Para tener una idea aún más cercana se pueden hacer comparaciones con situaciones familiares para nosotros. Al respecto Doris Kolbe plantea los siguientes casos:

"Si Ud. divide el Número de Avogadro de hojas de papel en pilas iguales de **un millón de hojas**, los arrumes se extenderían hasta el sol y aún más allá".

"Si el número de Avogadro de marmelos se riega uniformemente sobre el territorio de los Estados Unidos, producirán una cubierta de más de **965.000 km. de profundidad**".

"Si el Número de Avogadro de centavos se distribuye por partes iguales entre los habitantes de la Tierra (alrededor de 4 mil millones), cada uno tendría suficiente dinero para gastar **un millón de pesos por hora**, día y noche, por toda la vida y aún así no gastaría la mitad de lo recibido".

"Un computador que cuente **diez millones de unidades por segundo**, tardaría **dos billones** de años para contar el Número de Avogadro de unidades".

Puede deducirse de estos ejemplos que el Número de Avogadro es muy grande y sin embargo es real y finito, y podría manejarse como cualquier otro número que implique varias unidades como docena, miles, cientos.

Conclusión

De esta lectura podemos concluir que el concepto de MOL se ha interpretado desde diferentes ópticas, pero actualmente es notoria la tendencia a eliminar el uso de rótulos como peso gramo-fórmula, molécula-gramo, masa en gramos numéricamente igual a la masa atómica o molecular, masa de un gas que ocupa un volumen de 22,4 litros a C.N., masa del Número de Avogadro de partículas, unidad de masa química.

Se orienta el concepto a:

"Cantidad de sustancia que contiene tantas unidades como átomos están presentes en 0,012 k de C^{12} "

Esta es la definición oficial del **Sistema Internacional de Unidades**.

Desde otro punto de vista no se puede considerar como una Unidad, porque su valor depende del elemento o compuesto que se trate; por ejemplo, 56,5 g de hierro es UN MOL de hierro; 49 g de cianuro de sodio (NaCN) es UN MOL de este compuesto; 134 g. de sacarosa corresponden a UN MOL de azúcar.

Es decir que MOL nos está indicando la masa de elementos y/o compuestos que reaccionan para dar los productos, de acuerdo con la ecuación correspondiente debi-

La misma interpretación se da cuando la reacción incorpora especies en estado gaseoso. En este caso se miden volúmenes (a condiciones dadas) que correspondan a una masa determinada y, por tanto, a un número determinado (entero o fraccionario) de moles.

En esta forma se trabajan las reacciones químicas en gramos o moles y no se ha hecho ninguna referencia al número de unidades constitutivas presentes en la masa de cada una de las especies presentes en el sistema. Es decir que el Número de Avogadro no es obstáculo, ni debe ser la base para realizar cálculos estequiométricos.

Sin embargo, en muchos libros de texto se presenta otra situación, como interpretar las expresiones libra-mol (lb-mol); tonelada-mol (Ton-mol), kilogramo-mol (k-mol).

Tiene igual tratamiento que gramo-mol (en estas notas se ha llamado simplemente MOL), en el sentido que deben utilizarse en la proporción descrita por la ecuación estequiométrica. Si nos referimos a la reacción indicada anteriormente quiere decir que una lb-mol de carbonato de calcio reacciona con dos lb-mol de cloruro de hidrógeno, para producir una lb-mol de cloruro de calcio y una lb-mol de ácido carbónico. Sin embargo, ya no se puede hablar de Número de Avogadro de unidades presentes en esa lb-mol o k-mol o Ton-mol, sino de otro número:

una lb-mol contiene	$2,73 \times 10^{26}$ unidades constitutivas
una k-mol contiene	$6,02 \times 10^{26}$ unidades constitutivas
una Ton-mol contiene	$5,46 \times 10^{29}$ unidades constitutivas

Para cerrar estas notas sobre el concepto de MOL es conveniente llamar la atención sobre los problemas que se integran al trabajo estudiantil cuando se manejan conceptos mediante rótulos y sus expresiones matemáticas correspondientes, que si bien funcionan en su aplicación mecánica a la solución de ejercicios, deja de lado aspectos determinantes que rigen las reacciones químicas.

De otra parte, así no se llegue a una definición única y total del concepto de MOL, sí se logra su manejo lógico, aspecto determinante en la formación de los individuos dentro de la disciplina.

Bibliografía

Doris, K., *J. Chem. Educ.* 1978, 55, 728-732.

Isaac, A., *Enciclopedia biográfica de ciencia y tecnología*, Emecé. De. Buenos Aires, 1972, pág. 221.

Chemical Bond Approach Projeet. *Chemical Systems*, McGraw Hill Co., N.Y., 1964, págs. 96-97.

Robert, M. H., *J. Chem. Educ.*, 1973, 50, 282.

Robert, M.H., *J. Chem. Educ.*, 1970, 47, 751-755.

W. H. Slabaugh, *J. Chem. Educ.*, 1963, 40

George, G., *J. Chem. Educ.* 1994, 71, 114.

Jay A.Y. y G. Malik, *J. Chem. Educ.* 1968, 45, 719.

Romen, C. R., *J. Chem. Educ.* 1990, 67, 139.

Shanti, R. K., *J. Chem. Educ.*, 1994, 71, 653.

Comentarios sobre el discurso químico en la escuela, presenta los resultados de la experiencia de formación de profesores llevada a cabo, desde el campo de la química, en el contexto del Programa RED.

Desde una perspectiva de producción de saber pedagógico, el texto cumple dos funciones fundamentales: a) dar testimonio de procesos de innovación y cambio venidos desde la perspectiva disciplinar y articulados a una visión amplia de la formación científica de los ciudadanos, buscando que sirvan a los lectores para que tomen ideas de allí con el propósito de reflexionar sobre su práctica y apropiarse de algunas sugerencias que consideren pertinentes, y b) ofrecer alternativas prácticas para trabajar la educación científica, a partir de la incorporación de los rituales propios de construcción de una disciplina, la química, en el aula y de la explicitación de sus gramáticas básicas.