

Un punto de vista polémico sobre la enseñanza de conceptos centrales en Química.

De palabras, de conceptos y de orden

Plinio Sosa*

Abstract (About words, concepts and order)

About words, about concepts and about order. Fundamental concepts in chemistry as matter, compounds, elements, molecules and atoms and their relationships are discussed.

Primeras reflexiones

La química es muy difícil. Lo sabemos. Enseñar química, por tanto es también difícil. Enseñarla por primera vez al niño, al joven, al no especialista, es más difícil aún. También lo sabemos. Parte somos nosotros, parte es la química, parte es la naturaleza. Pero buena parte de la culpa es, quizá, de la física. No de toda la física. No de la termodinámica, ni del electromagnetismo. Mucho menos de la cuántica, hoy vilipendiada, acorralada y a punto de ser expulsada de los estudios formales de varias carreras de química. No. Me refiero a la cinemática. Es más, específicamente a la inercia.

A la inercia de repetir las mismas palabras, los mismos conceptos. Y el mismo orden lógico entre ellas y ellos.

Veamos algunos casos. Es práctica común definir a la química como la ciencia que estudia la materia. Esta definición es a todas luces exagerada. De hecho, no define, no pone límites. Todo es materia. Luego de Einstein y de De Broglie, ¿alguien

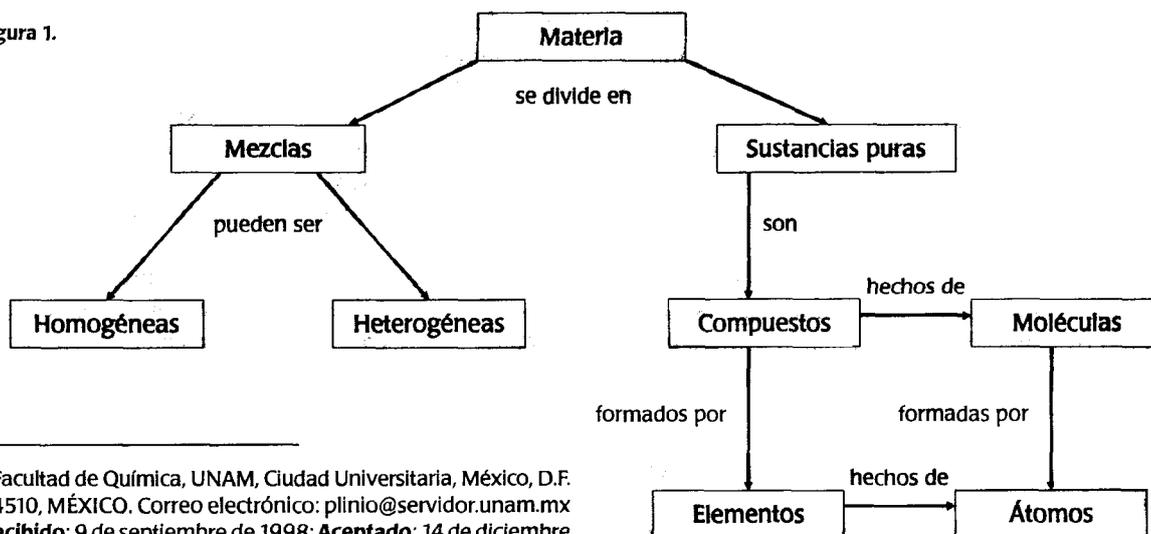
puede sostener con argumentos sólidos que los rayos X no son materia?

Además es falsa. No estudiamos a los neutrinos. No estudiamos a los gorilas. No estudiamos las pirámides de Egipto. Ni a los hoyos negros. Ni a los dinosaurios. Ni a los hongos alucinógenos. Ni a los hombres. Y todo esto es materia. Por si fuera poco, no somos los únicos que estudiamos la materia. También lo hacen los físicos, los biólogos, los geólogos, los historiadores, los psicólogos, etcétera.

También sucede que enseñamos el concepto de materia siempre de una misma manera. Quizá —a pesar del riesgo que conlleva toda generalización—, dicha manera podría quedar representada por el mapa conceptual de la figura 1.

Esta clasificación parece tener su propia lógica. Permítaseme tratar de reproducir dicha lógica. Hay dos tipos de materia: la que está pura y la que está mezclada. Hay dos tipos de mezclas: las homogéneas y las heterogéneas. De las sustancias puras, los compuestos están hechos de elementos. De ahí que, muchas veces, se acostumbre colocar los compuestos en un nivel superior y más abajo los elementos. Dado que las moléculas y los átomos guardan entre sí la misma relación que la que hay entre compuestos y elementos y, dado que las partículas más pequeñas de los elementos son los átomos y las de los com-

Figura 1.



* Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F. 04510, MÉXICO. Correo electrónico: plinio@servidor.unam.mx
Recibido: 9 de septiembre de 1998; Aceptado: 14 de diciembre de 1998.

puestos son las moléculas, suena prudente resaltar ese paralelismo poniéndolos en una columna adyacente.

En esta presentación, el grado de dificultad es mínimo. Son sólo definiciones de palabras y conceptos y la relación que guardan entre sí. En principio, no debería de haber ningún problema con este asunto.

Sin embargo, la realidad es otra, mucho más triste.

Los alumnos confunden compuesto con mezcla, átomo con elemento, mezcla heterogénea con compuesto, sustancia con mezcla, compuesto con sustancia, molécula con compuesto, etcétera. Terrible, porque si esto que sólo se trata de definiciones y conexiones no lo pueden entender los alumnos, ¿qué va a ser cuando se aborden temas con un grado de abstracción superior?

¿Qué pasa en este mundo? ¿Es posible que la misma especie—el *homo sapiens*—de donde han surgido los más grandes genios, los más grandes atletas, las más grandes sensibilidades, sólo pueda engendrar, en la víspera del tercer milenio, millones y millones de personas incapaces de comprender una cuantas palabras?

¿Son los cerebros de nuestros alumnos? ¿Es el sistema educativo? ¿Somos los maestros? ¿Es el dólar? ¿Es la contaminación? ¿Es la forma de presentar el tema según el mapa conceptual mostrado?

Sólo por simplicidad, revisemos primeramente esta forma de presentar el tema.

Primero. ¿Hay dos tipos de materia? Eso es absurdo. Hay dos tipos de carga, la positiva y la negativa. Pero no hay dos tipos de materia. La materia es La Materia. Lo que hay es una inmensa variedad de materiales. En la imposibilidad de abarcar esa infinidad de materiales, el hombre ha creado el concepto de materia. El concepto de materia es a los materiales, más o menos, lo que el concepto de infinito es a los números.

Segundo. ¿Son de la misma jerarquía las mezclas y las sustancias puras? ¿Son las mezclas sustancias impuras como sugiere el esquema? Algo está chueco aquí. Los materiales que contienen más de una sustancia son mezclas. En este sentido, un material formado por una sola sustancia decimos que está puro. Sustancia, al menos en el sentido químico, tendrá que ser la palabra que usemos para designar los materiales puros.

La materia entonces se manifiesta o está presente en todos los materiales que existen en el Universo.

Todos los materiales son mezclas de sustancias. La pureza es tan sólo un índice de en qué proporción se encuentra cada sustancia en determinado material. En algunos materiales, una de las sustancias está en una proporción tan grande que, para fines prácticos, decimos que está pura.

Tercero. ¿Qué hacen en el mismo nivel las mezclas homogéneas, las heterogéneas, los compuestos y las moléculas? Además, ¿cuáles son las moléculas de la sílice? O, peor tantito: ¿cuál es la partícula mínima de la sustancia cloruro de sodio? Es decir, ¿cuál es la partícula más pequeña que conserva las propiedades de la sustancia cloruro de sodio? ¿Un ion sodio? ¿Un ion cloruro? ¿Una molécula NaCl?

Es duro, quizá, pero hay que aceptarlo: hay muchas sustancias en este universo que no tienen algo así como “una partícula mínima de sustancia”. No tienen moléculas, pues. De hecho, la mínima porción representativa del cloruro de sodio es su celda unitaria. Pero la idea central en el concepto de celda unitaria es opuesta a la del concepto de molécula. La celda unitaria es parte de un continuo. En cambio, la molécula es una partícula aislada, discreta.

Ni modo. A pesar de la *moleculitis* que ha impedido en la enseñanza de la química, a pesar de que todo lo queremos explicar en términos de moléculas, hay que reconocer un hecho, reitero: no todas las sustancias son moleculares.

Cuarto. ¿Qué hacen los elementos abajo de los compuestos? No es cierto que los compuestos contengan elementos. Algunas sustancias, bajo ciertas condiciones, reaccionan para producir otras sustancias, de las cuáles ya no se puede obtener sustancias más simples. Las primeras son sustancias compuestas, las segundas son sustancias simples o elementales. Pero ambas son sustancias. Más importante que si unas se pueden descomponer en las otras es el hecho de que ambas son sustancias.

No es cierto que las partículas mínimas de los elementos sean siempre átomos. Las partículas mínimas de sustancias elementales como el hidrógeno, el oxígeno, el fósforo, el azufre, etcétera, son moléculas.¹ De hecho, las sustancias elementales cuyas

¹ Por supuesto que, en condiciones muy drásticas, las moléculas de estos elementos se pueden romper para formar partículas más pequeñas (los átomos) que son especies muy inestables y, por lo tanto, sumamanete reactivas (radicales libres). La realidad es que el oxígeno y el nitrógeno del aire que respiramos no están formados por átomos sino por moléculas.

partículas mínimas son átomos son una diminuta minoría: los gases nobles.

Es más, la mayoría de los elementos (los metales) presentan una estructura más parecida a la de las sustancias iónicas que a la de las sustancias moleculares. Los metales son sustancias no moleculares donde la idea de partícula mínima, representativa de la sustancia, no es aplicable.

Más importante que la distinción entre compuestos y elementos es la distinción entre sustancias moleculares y sustancias no moleculares. Esta última es una diferencia fundamental. La otra no.

Últimas reflexiones

¿Quién “inventó” a los gases nobles y quién “inventó” al mercurio? Si no existieran los gases nobles cuyas partículas mínimas sí son átomos, la denominación “sustancias moleculares” sería estrictamente correcta en todos los casos. Por culpa de los gases nobles tendríamos que decir: “sustancias moleculares y atómicas”. Una posibilidad sería hablar, no de átomos y moléculas, sino simplemente de partículas. Entonces, todas las sustancias se podrían clasificar como “sustancias particulares” y “sustancias no particulares”. Lamentablemente, la palabra “particular” tiene múltiples significados en el habla cotidiana. Una clasificación así podría entenderse como “sustancias especiales” y “sustancias no especiales”, una idea muy diferente a la que se quiere comunicar.

Si el mercurio no existiera podríamos generalizar y entonces decir que todas las sustancias no moleculares son sólidas en las condiciones de la superficie terrestre. O quizá lo que se necesitaría es que la Tierra estuviera un poquito más lejos del Sol. De esa manera, la temperatura ambiental sería menor y hasta el necio mercurio se solidificaría. Pero, ¡cuidado! No acerquemos la Tierra al Sol, ni siquiera un poquito, porque entonces varios de nuestros sólidos no moleculares se nos empezarían a fundir.

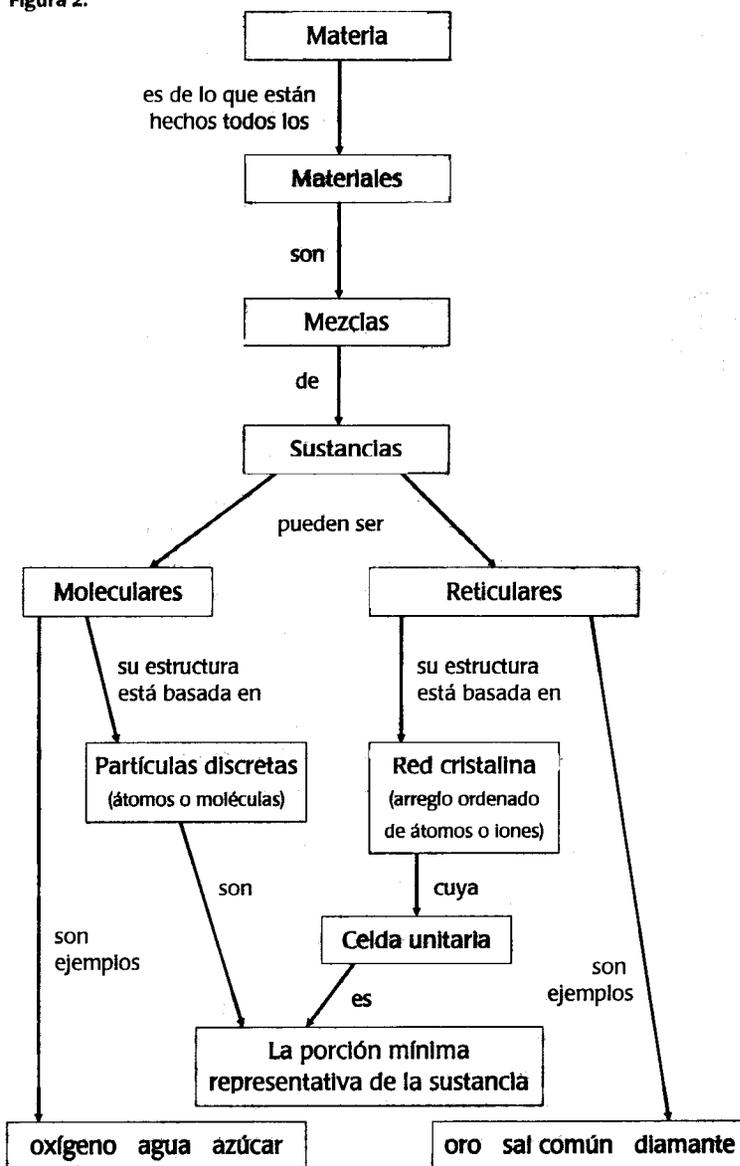
En fin, mientras se nos ocurre cómo desaparecer a los gases nobles y al mercurio de este universo o cambiar la distancia de la Tierra al Sol, permítaseme proponer otro mapa conceptual (figura 2). Al menos para que se discuta.

Intencionalmente no aparece ninguna referencia a las sustancias simples (los elementos) ni a las sustancias compuestas (los compuestos) porque las propiedades de las sustancias (que es a final de cuentas lo que queremos enseñar) no dependen de si son simples o son compuestas. Dependen, más bien, de si el tipo de estructura es molecular o reticular. Lo

que se ve no se juzga. Existen elementos tanto gaseosos, como líquidos, como sólidos. Y lo mismo, existen compuestos en todos los estados de agregación. Ser o no elemento no hace la diferencia.

En cambio, ser, o no, una sustancia molecular sí hace diferencia. Todas las sustancias moleculares, independientemente de si son compuestos o no, se pueden desagregar fácilmente en sus “partículas mínimas”. De hecho, en las condiciones de la superficie terrestre, muchas de ellas ya lo están y, por eso, se encuentran en estado gaseoso. Otras —aunque fuertemente asociadas—, debido a la gran velocidad de

Figura 2.



sus "partículas mínimas", se arrastran unas a otras dando lugar al estado líquido. Y otras, las lentas y grandotas, están atrapadas en el estado sólido. Obviamente, las sustancias moleculares en estado sólido, están formando una red cristalina pero sus propiedades están determinadas por su carácter molecular, por ejemplo, el azúcar: calentamos un poquito (menos de 300 °C) y se deshace la tal red cristalina.

En las sustancias reticulares, en cambio, la energía que se necesita para deshacer la red es sumamente grande. Parte porque las fuerzas de atracción al interior de la red son de gran magnitud, parte porque las posibles partículas mínimas son inestables. La partícula mínima de la sustancia oro sería el radical libre Au. Las partículas mínimas de la sustancia cloruro de sodio serían los iones Na^+ y Cl^- . La partícula mínima de la sustancia diamante sería el tetrarradical libre :C:

Por supuesto que cuando algún factor ayuda a estabilizar a las posibles partículas mínimas, es más fácil deshacer la red cristalina. El agua es capaz de estabilizar a los iones Na^+ y Cl^- del cloruro de sodio. Por eso, las sustancias iónicas generalmente se disuelven en agua. Al mismo tiempo, el agua no es capaz de estabilizar a los radicales libres Au y :C:. Por eso, ni el oro ni el diamante se disuelven en agua.

Nótese también que no se hace ninguna referencia al "tipo de enlace". Otra vez, las propiedades de la sustancia dependen, más bien, de si la estructura es molecular o reticular y no del supuesto "tipo de enlace". Esto queda claramente ilustrado con los ejemplos escogidos para las sustancias reticulares: oro, sal y diamante. El primero es una sustancia metálica (un metal), la segunda, una sustancia iónica y el tercero, una sustancia covalente. Y no pasa nada. Están guardados en la misma gaveta porque su principal característica, tener una estructura basada en una red cristalina, les es común.

Todo es relativo. Las excepciones también. Son relativas a la generalización que se escoja. En el esquema compuestos covalentes-compuestos iónicos, el carbonato de calcio es una espantosa excepción porque debiendo disolverse en el agua, no lo hace. En la clasificación sustancias moleculares-sustancias reticulares, la explicación es muy simple: la red cristalina es más estable que los iones en solución, por lo tanto, el carbonato de calcio no es soluble en agua. Punto. El oro y el diamante no son solubles por la misma razón. La red es más estable que los radicales libres en solución. La disolución del azúcar en

el agua se explica de la misma manera que la de la sal. Las partículas en solución son más estables que la red cristalina.

Ultimísima reflexión

La otra gran enfermedad (además de la *moleculitis*) que aqueja a los cursos de química es la *elementitis*. Hay una extraña fascinación por los elementos. Dedicamos una gran cantidad de tiempo a explicar las propiedades de los fantásticos elementos. O, mejor dicho, de los fantásticos átomos de los elementos. Literalmente fantásticos. Porque la mayoría de los elementos se encuentran combinados formando sustancias compuestas. Y de los que ocurren como elementos, la mayoría no está estructurada con base en átomos sino en redes cristalinas.

Una consecuencia de la *elementitis* es la creencia de que es muy importante enfatizar la diferencia entre elementos y compuestos. Supongo que, como la cantidad de sustancias compuestas es enorme comparada con la de sustancias elementales, estas últimas fueron desapareciendo del mapa y, así, todas las sustancias, fueran simples o compuestas, se denominaron *compuestos*. La palabra *compuesto* se convirtió en sinónimo de la palabra *sustancia*.

Desde el punto de vista de la gramática, el error es un absurdo. El adjetivo *compuesto* califica al sustantivo *sustancia* del mismo modo que el adjetivo *azul* califica al sustantivo *sustancia*. Imaginemos, tan sólo un instante, lo que sería si usáramos la palabra *azul* en vez de la palabra *camisa*.

Por eso, nos cuesta tanto trabajo presentar la química al neófito (bueno, entre otras cosas). Porque con la fiebre que acompaña a la *moleculitis* y a la *elementitis*, extraviados (o desvirtuamos o pervertimos) una palabra crucial para la química.

En efecto, la química estudia la materia pero no todo lo de la materia. Solamente un cachito: lo que tiene que ver con la transformación de unas sustancias en otras.

¿Cómo podemos definir la química y explicar sus fundamentos si la palabra *sustancia*, la importante, está ausente, escondida o disfrazada, en nuestros cursos?

Bibliografía

- Chang, R., *Química*, 4ª ed., McGraw-Hill, México, 1992.
- Gillespie, R.J., Humphreys, D.A., Baird, N.C., Robinson, E.A., *Chemistry*, Allyn & Bacon, Massachusetts, 1989.