

Se inaugura esta sección con este trabajo. Se busca en ella la inserción de contribuciones que sean de interés para enriquecer las estrategias didácticas de los profesores en temas específicos de la docencia de la química.

¿Iónico o covalente?

Laura Gasque-Silva*

Abstract

Comments on the lack of stress on the model-reality duality found in General Chemistry textbooks are followed by the author's proposal on how to introduce students to ionic and molecular compounds, emphasizing that models are motivated by a necessity to attempt giving an explanation to observed properties of different substances.

A true and false quiz on ionic and covalent compounds is followed by a simple laboratory exercise that helps eliminate student's tendency to erroneously generalize on physical properties of these two types of substances.

Introducción

A lo largo de la experiencia de impartir el curso universitario de Química Inorgánica, tengo la impresión de que existe, aun a este nivel, una gran confusión alrededor del tema, al parecer tan elemental, de los compuestos iónicos y covalentes. En general, los estudiantes son capaces de explicar los fundamentos de los dos modelos y las diferencias entre ellos, mas sin embargo incurren en algunos errores al tratar de relacionar las propiedades *observables* de las sustancias, con el tipo de enlace que supuestamente las explica. La causa de dichos errores radica generalmente a que "se saben" algunas *generalizaciones* acerca de las propiedades físicas de ambos tipos de compuesto, sin habérselas cuestionado jamás. Estas deficiencias fueron detectadas mediante la aplicación del cuestionario de "falso y verdadero" que se presenta más adelante en el anexo 1. También se presenta en el anexo 3 un ejercicio práctico para el laboratorio, que se ha diseñado con la intención de corregir algunas de estas concepciones erróneas, junto con algunas explicaciones de cómo fue elaborado, en el anexo 2.

Los libros de texto

El origen de esta falta de capacidad para contrastar el modelo con la realidad se encuentra probablemente en los mismos textos de Química General los que, en muchos casos, presentan la existencia de dos o más tipos de enlace de una manera dogmática, sin haber hecho previamente énfasis en

la *necesidad* de los modelos para explicar la *realidad*. A continuación cito algunos de los textos empleados en la actualidad en los cursos de Química General.

Por ejemplo, Mortimer (1979) dice simplemente:

Los enlaces químicos, que se forman cuando los átomos se combinan, son el resultado de cambios en la distribución electrónica. Existen tres tipos fundamentales de enlace químico:

1. Enlace iónico
2. Enlace covalente
3. Enlace metálico

Continúa con la definición del enlace iónico, el enlace covalente y el metálico, para luego clasificar en estas tres categorías a todas las sustancias, usando como herramienta la posición en la tabla periódica de los elementos que las componen, sin hacer en ningún momento alusión a sus propiedades físicas.

Chang (1992) dice por su parte: "El estudio del enlace químico ayuda a entender las fuerzas que mantienen enlazados a los átomos en las moléculas y a los iones en los compuestos iónicos" y la única referencia anterior a este tema en el mismo texto, se da en el Capítulo 2, *Átomos, moléculas e iones*, página 50: "Una molécula es un agregado de por lo menos dos átomos en una configuración definida, mantenidos juntos por fuerzas químicas", y en las páginas 54 y 55: "cuando se agregan o eliminan electrones de un átomo o una molécula neutros, se forma una partícula cargada llamada ion" y, más adelante, "Los compuestos que contienen cationes y aniones se llaman compuestos iónicos."

Por su parte, Garritz y Chamizo (Garritz, 1994), a pesar de iniciar el tema señalando el distinto comportamiento eléctrico de algunas sustancias, pasan directamente a definir electronegatividad y a utilizar la diferencia entre los valores de ésta para clasificar el enlace entre dos átomos como iónico, covalente o metálico, sin volver a hacer mención de las diferencias observables entre estos tipos de sustancias.

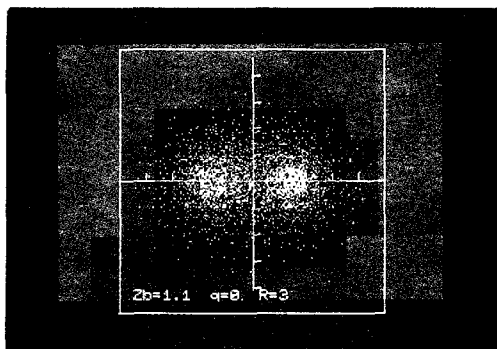
Es notable que la primera frase de Pauling (1973), en su libro clásico considerado eminentemente "teórico" sea: "La mayoría de los principios generales de la estructura molecular y el enlace químico fueron formulados hace mucho tiempo por los químicos por medio de la inducción de un gran cuerpo de HECHOS QUÍMICOS."

Facultad de Química, UNAM, México, D.F. 04510

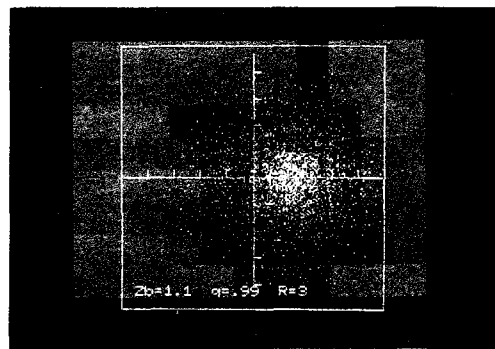
Recibido: 9 de abril de 1996; Aceptado: 5 de mayo de 1997.

- a) Enlace covalente.
b) Distribución de la carga en un par de iones.

¿Qué no debemos hacer algo, que tenga que ver más con los hechos químicos, antes de presentar a los alumnos esta interpretación electrónica de los modelos de enlace?



(a)



(b)

Modelos: una necesidad para explicar las evidencias

Por mi parte, me atrevo a proponer que en la presentación de los distintos tipos de enlace químico, se haga énfasis en las propiedades observables de las sustancias y al origen de los modelos de enlace, precisamente en una **necesidad** de explicar éstas.

Desde luego, al intentar partir únicamente de un análisis de los **hechos observables** para encontrar un modelo que

explique las distintas propiedades de las sustancias, es necesario iniciar, axiomáticamente, de una base.

Esta base axiomática, que puede darse en el nivel de bachillerato, debe incluir lo siguiente:

- que toda la materia está constituida por átomos (que a su vez tienen un núcleo con carga positiva y electrones, cargados negativamente, alrededor de éste),
- que los átomos interaccionan unos con otros (a través de fuerzas cuya naturaleza se explicará más adelante) y
- que las diferencias cualitativas y cuantitativas entre las distintas interacciones, pueden llegar a explicar las diferencias en las propiedades observables de las sustancias que nos rodean.

Después de introducir la base axiomática, se propone analizar algunas propiedades de unas cuantas sustancias familiares para los estudiantes, tratando de hacer con ellas una pequeña clasificación basada en propiedades simples, como el punto de fusión, la solubilidad en agua y la capacidad para conducir la corriente eléctrica —propiedades que en muchos casos pueden incluso demostrarse en el momento. Lo primero sería colocarlas como se especifica en la Tabla 1, de acuerdo con sus estados de agregación.

Podríamos empezar entonces con el análisis de los distintos estados de agregación de las sustancias y **proponer** que las interacciones que mantienen unidos a los átomos pueden ser de dos tipos. En el primero, estas interacciones son **multidireccionales**, es decir, cada uno de los átomos interactúa con todos y cada uno de sus vecinos de manera fuerte e idéntica, y en el segundo, las interacciones de un átomo con alguno o algunos de sus vecinos son de muy diferente orden de magnitud que con otros, es decir, que estas interacciones tienen **direccionalidad selectiva**.

Esta sencilla idea, la de distintos tipos de **direccionalidad**, permite proponer para el segundo tipo, la existencia de

Tabla 1. Estados de agregación de algunas sustancias.

Estado de agregación	Ejemplos	
Sólidos de alto* punto de fusión	NaCl (s)	800°C
	C (diamante)	3 550°C
	Fe (s)	1 528°C
	Ag (s)	961°C
	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH (huesos)	1 600°C
Sólidos de bajo* punto de fusión	MX ₂ · nH ₂ O (sales hidratadas)	100°C
	Iodo sólido	113°C
	Sn (s)	232°C
	Fenol (s)	43°C
	Azúcar	185°C
	Azufre	119°C
	Poliétileno	170°C
Líquidos	Agua Alcohol Benceno Acetona	
Gases	Oxígeno Dióxido de carbono Metano Amoníaco Argón Flúor	

* **Alerta:** es difícil hacer una distinción rigurosa entre "alto" y "bajo" punto de fusión.

especies finitas o discretas, formadas solamente por algunos átomos, los cuales interactúan fuertemente entre sí. A estas especies finitas o discretas, podemos llamarlas **moléculas**. Si las interacciones de los átomos que forman una de estas moléculas con los átomos que forman otra molécula son varios órdenes de magnitud más débiles que las que mantienen unidos a los átomos que forman una misma molécula, será mucho más fácil separar a una molécula de otra que separar a los átomos que la forman.

Así, si una sustancia está formada por moléculas (partículas finitas o discretas) será explicable que exista como un **gas**, como un **líquido**, o como un **sólido de bajo punto de fusión**.

En el caso de que los átomos que constituyen una sustancia participen en interacciones **multidireccionales**, no podemos concebir la idea de especies discretas o moléculas, que se separen fácilmente unas de otras, sino redes “**infinitas**” de átomos, todos fuertemente unidos entre sí.

Este tipo de sustancias, formadas por redes infinitas, serán seguramente **sólidos con altos puntos de fusión**.

Así, sin dar más detalles acerca de la naturaleza de las interacciones, simplemente proponiendo distintos grados de **direccionalidad** para éstas, es posible separar a los gases y los líquidos de los sólidos, asignando a los dos primeros una estructura molecular.

Para los sólidos de bajos puntos de fusión, podríamos extrapolar la hipótesis de la existencia de especies discretas, separables unas de otras al aplicarles una pequeña cantidad de energía, pero considerando que no es fácil decir *qué tan “bajo” es un bajo punto de fusión y que tan “poca” es una poca de energía*, debemos analizar otras posibilidades y sospechar de otros tipos de interacciones, que ya no es posible asignar sin analizar otra clase de propiedades **observables**, y proponer alguna otra característica para las interacciones distinta de la direccionalidad.

Analicemos el diferente comportamiento de los diversos sólidos de nuestros ejemplos de la Tabla 1 ante el paso de la corriente eléctrica. Algunas de estas observaciones pueden realizarse de manera sencilla en cualquier salón de clases, contando únicamente con un pequeño circuito eléctrico con un foco, de fabricación casera. Los resultados de estas experiencias, se resumen en la Tabla 2.

Esta sencilla observación nos permite separar de nuestra

Tabla 2. Conducción eléctrica en estado sólido.

Conductores en estado sólido	NO conductores en estado sólido
Fe Ag Sn	NaCl MX ₂ · 6H ₂ O C (diamante) Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH Azúcar Fenol Azufre Polietileno Iodo

colección de ejemplos, a los elementos puros fácilmente identificables como metales, por ser los únicos capaces de conducir la corriente en estado sólido. Será conveniente, entonces, hacer notar la necesidad de un modelo para explicar las interacciones entre los átomos de un metal puro o **sólido metálico**, el ENLACE METÁLICO. Por el momento, sigamos analizando el comportamiento de las demás sustancias.

Tomemos ahora a nuestros materiales no conductores en estado sólido y analicemos su conductividad en otra forma, por ejemplo disueltos en agua o fundidos (Tabla 3).

Analizando el hecho de que de las tres sustancias que conducen en estado fundido, dos también lo hacen al disolverlas en agua y la tercera no lo hace simplemente porque no se disuelve, podríamos atrevernos a **proponer** que estas sustancias están constituidas por especies cargadas, (iones) positivas y negativas, que se atraen fuertemente entre sí, lo que hace que en estado sólido se mantengan firmemente

Tabla 3. Avanzando en las propiedades de los sólidos no metálicos

Solubles en agua	Insolubles o muy poco solubles
NaCl MX ₂ · 6H ₂ O Fenol Azúcar	C (diamante) Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH Azufre Polietileno Iodo
Conductores en disolución	NO conductores en disolución
NaCl MX ₂ · 6H ₂ O	Fenol Azúcar
Conductores en estado fundido	NO conductores en estado fundido
NaCl, MX ₂ · 6H ₂ O, Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	C (diamante) Azufre Polietileno Fenol Azúcar Iodo

unidas empaquetándose con una alternancia en las cargas opuestas, impidiendo así el paso de la corriente, pero que al vencer estas fuertes interacciones *multidireccionales*, las especies cargadas se ponen en evidencia al permitir el paso de la corriente. Esto es justamente el principio del MODELO DE ENLACE IÓNICO, que es capaz de explicar las interacciones entre los átomos que componen a los **sólidos iónicos**.

De los materiales del conjunto de los NO conductores en estado fundido, que tampoco mostraron conductividad eléctrica en ningún otra forma, podemos **proponer** la NO separación de cargas formando iones, sugiriendo que los electrones no se encuentran preferentemente con un tipo de átomos, sino que se comparten entre átomos vecinos de manera más o menos equitativa. Será entonces ahora necesario intentar plantear un MODELO DE ENLACE COVALENTE, para explicar las interacciones que gobiernan a este tipo de materiales.

Sin embargo, las grandes diferencias en puntos de fusión C(diamante) (3550°C), fenol (43°C) polietileno (165-175°C), azufre (119°C) nos hacen volver a nuestra idea inicial acerca de las diferentes posibilidades en cuanto a la *direccionalidad* del enlace, y proponer, para los de bajos puntos de fusión de este conjunto, a semejanza de lo que propusimos para los gases y los líquidos, la existencia de especies discretas o moléculas, llamándolos entonces **sólidos moleculares**, a diferencia de aquéllos, cuyos elevados puntos de fusión sugieren la presencia de interacciones multidireccionales, que podrían llamarse **sólidos covalentes**.

Esta presentación no considera un gran número de sustancias que escapan a este sobresimplificado intento de clasificación, como por ejemplo el mercurio, o las sustancias que se disocian parcialmente en disolución o “electroli-

tos débiles”, ni las conocidas como “metales orgánicos” o a los semiconductores. Es importante no olvidar que la química es una ciencia viva y que la aparición de nuevos materiales, suele necesitar de modificaciones en la teoría como sucedió con el caso de los superconductores cerámicos de alta temperatura.

También es importante no olvidar que una gran cantidad de sustancias se resiste a ser clasificada inequívocamente en alguna de las categorías presentadas aquí, ya que presentan propiedades intermedias entre dos o más de ellas.

Conclusión

Resumiendo, podríamos, antes de presentar dogmáticamente los diferentes tipos de enlace, hacer una somera clasificación de las sustancias con base en algunas sencillas propiedades, que motiven a **proponerlos**. Este tipo de presentación, aunque incompleta, permitiría a los alumnos incorporar a su formación en la ciencia la idea fundamental de que la teoría sólo surge cuando hay una realidad que requiera ser explicada.

Referencias

- Chang, R., *Química*, 4ª ed., Mc Graw Hill, México, 1992. Capítulo 9, *Enlace Químico: I Conceptos básicos*.
- Garritz, A. y Chamizo, J.A., *Química*, Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, 1994. Capítulo 6, *De los átomos a las moléculas*.
- Mortimer, C.E., *Chemistry, A conceptual approach*, 4th ed., Van Nostrand Company, New York, 1979. Capítulo 3.
- Pauling, L., *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd ed., Cornell University Press, New York, 1973. ▣

ANEXO 1. Cuestionario para aplicar a los estudiantes

Responder F o V, según sea el caso.

- | | |
|--|--|
| <p><input type="checkbox"/> 1. Los compuestos covalentes pueden formar sólidos cristalinos.</p> <p><input type="checkbox"/> 2. Los compuestos gaseosos a temperatura ambiente, son covalentes.</p> <p><input type="checkbox"/> 3. Dos gases pueden reaccionar para dar un sólido iónico.</p> <p><input type="checkbox"/> 4. El HF es un compuesto iónico.</p> <p><input type="checkbox"/> 5. Cualquier compuesto iónico se disuelve en agua y conduce la corriente.</p> <p><input type="checkbox"/> 6. Todas las sustancias iónicas tienen muy altos puntos de fusión.</p> <p><input type="checkbox"/> 7. Todos compuestos orgánicos son covalentes.</p> | <p><input type="checkbox"/> 8. Los compuestos inorgánicos pueden ser covalentes.</p> <p><input type="checkbox"/> 9. Si un compuesto es iónico, forma cristales a temperatura ambiente</p> <p><input type="checkbox"/> 10. Si un compuesto forma cristales a temperatura ambiente, es iónico.</p> <p><input type="checkbox"/> 11. Si un compuesto iónico se disuelve en agua, conducirá la corriente.</p> <p><input type="checkbox"/> 12. Si una sustancia es líquida a temperatura ambiente, no es iónica.</p> <p><input type="checkbox"/> 13. Si un compuesto es insoluble en agua, es covalente.</p> <p><input type="checkbox"/> 14. Si un compuesto es covalente, es insoluble en agua.</p> <p><input type="checkbox"/> 15. Si un compuesto fundido no conduce la corriente, seguro es covalente.</p> |
|--|--|

ANEXO 2

Comentarios para los profesores respecto a la actividad experimental

En el siguiente ejercicio, se ilustran las propiedades de varias sustancias que los alumnos, basados en sus conocimientos previos, identifican fácilmente como iónicas o covalentes. Después se les pide que clasifiquen con este criterio, a cada una de un par de sustancias problema, para al final preguntarles cuál es el mejor criterio para clasificar a las sustancias en estas dos categorías.

Las sustancias conocidas que se utilizan han sido elegidas porque aun siendo fácilmente identificables por los estudiantes como compuestos iónicos o covalentes, poseen alguna o algunas propiedades fácilmente observables que resultan “contradictorias” con las ideas preconcebidas que los estudiantes poseen acerca de las propiedades físicas de ambos tipos de sustancias. Por ejemplo:

- El CaF_2 , que sin titubear identifican como un compuesto iónico, es prácticamente insoluble en agua, y en la forma en la que se consigue comercialmente a un precio más económico, es un polvo tan fino que no es posible apreciar a simple vista su cristalinidad.
- El $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, como una gran cantidad de sales hidratadas, tiene un punto de fusión que resulta sorprendentemente bajo.
- El fenol, identificado inmediatamente como un compuesto covalente “por ser orgánico”, tiene un aspecto claramente cristalino y es muy soluble en agua, propiedades que les sorprenden de nuevo.

- La benzofenona se eligió por ser lo que los alumnos consideran un “clásico compuesto covalente”; es insoluble en agua, tiene un punto de fusión “bajo” y a simple vista, no tiene aspecto cristalino.
- El acetato de sodio se incluyó para intentar eliminar la idea de que todo compuesto iónico es inorgánico.

En cuanto a las sustancias usadas como “problema”, se han empleado diferentes tipos de las disponibles en un laboratorio de Química:

- Algunas de ellas típicamente iónicas, como el NaCl (cuyo punto de fusión no es posible alcanzar con un aparato tipo Fisher).
- Alguna sal hidratada distinta a la empleada como conocida.
- Glicina, que a pesar de tener aspecto cristalino, ser muy soluble en agua y no fundir en el Fisher, tiene un claro comportamiento de no conductor.
- Azúcar, que en muchos casos identifican por el olor al intentar fundirla, y aun
- CrCl_3 anhidro, que aparte de tener un hermoso aspecto de brillantes hojuelas cristalinas de color violeta, es absolutamente insoluble en agua e imposible de fundir en el Fisher o con mechero, por lo que sólo pueden contestar “no se cuenta con suficiente información para conocer la respuesta”, lo cual es, desgraciada o afortunadamente, una frase que todo científico debe incorporar a su léxico.

ANEXO 3

Actividad experimental Propiedades de los compuestos iónicos y de los compuestos covalentes

Procedimiento

Tienes 5 sustancias, CaF_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, fenol, benzofenona y acetato de sodio. Además tienes dos muestras desconocidas (A y B).

1. Usando tus conocimientos previos, clasifica a cada una de las sustancias conocidas como iónica o covalente.

2. Anota en cada caso, si la sustancia tiene aspecto cristalino o no.

3. A cada una de ellas, (ojo: no disuelvas TODA la

muestra) intenta disolverla en agua DESTILADA y prueba si la solución resultante conduce la corriente.

4. A cada una de ellas determínale el punto de fusión con un aparato Fisher (pueden ponerse varias muestras **muy pequeñas** en el mismo cubreobjetos).

5. A cada una de ellas intenta fundirlas con el mechero en un pequeño vaso de precipitados y prueba si conducen la corriente al estar fundidas.

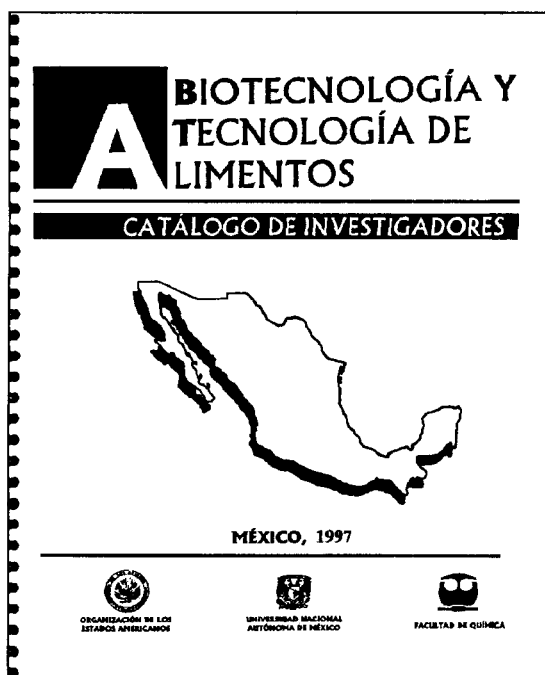
6. Con tus resultados llena la siguiente tabla:

	fenol	benzofenona	CaF ₂	(Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O)	CH ₃ COONa
tipo de compuesto					
cristalino (sí o no)					
soluble en agua (sí o no)					
conduce en agua (sí o no)					
punto de fusión					
conduce fundida (sí o no)					

Ahora realiza las mismas pruebas a las sustancias desconocidas A y B y con la información obtenida, clasifica a cada una de ellas como iónica o covalente

	A	B
cristalino (sí o no)		
soluble en agua (sí o no)		
conduce en agua (sí o no)		
punto de fusión		
conduce fundida (sí o no)		
tipo de compuesto (iónico o covalente)		

En conclusión, ¿cuál es el mejor criterio para distinguir a los compuestos iónicos de los covalentes?



Este catálogo, publicado por OEA-UNAM puede consultarse en las bibliotecas de las instituciones mexicanas de investigación y docencia, o en Internet, en las siguientes URL:

<http://hunabku.pquim.unam.mx/html/alim.html>

<http://www.bdt.org.br/bdt/simbiosis/nodos>