

Artículos en los que se aborde el tema del cambio conceptual o alguna idea previa de los estudiantes sobre un tema determinado

# El concepto de resonancia: confusiones ontológicas y epistemológicas

Julio Andrade-Gamboa<sup>1</sup> y Edgardo R. Donati<sup>2</sup>

## Abstract (*Resonance concept: ontological and epistemological mistakes*)

Resonance is a concept related to valence bond theory, which is, owing to its abstract nature, very difficult to introduce at elementary chemistry courses. Some teaching simplifications, besides student alternative conceptions, contribute to generate several misconceptions. In this work the main features of resonance are presented, and most frequent interpretations mistakes are discussed.

## Resumen

La resonancia es un concepto relacionado con la teoría de enlace de valencia y cuya naturaleza abstracta dificulta su presentación en cursos elementales de química. Algunas simplificaciones en su enseñanza contribuyen, conjuntamente con las ideas previas de los alumnos, a generar errores conceptuales. En este trabajo se describen las principales características de la resonancia y se señalan los errores de interpretación más frecuentes.

## Introducción

Uno de los objetivos primordiales en la enseñanza de conceptos científicos es lograr que los alumnos comprendan y compartan las herramientas más elaboradas que posee la ciencia (modelos y teorías), así como también que conozcan y distingan las diferentes aproximaciones interpretativas y/o matemáticas que deben asumirse, especialmente en la resolución de problemas complejos. La introducción de con-

ceptos con un fuerte desarrollo matemático suele enfrentarse, especialmente en los cursos básicos, con un incompleto o nulo dominio de las herramientas matemáticas necesarias por parte de los alumnos. A esta dificultad deben sumarse las concepciones alternativas que los alumnos poseen y que suelen distorsionar significativamente los conceptos recibidos. Las concepciones alternativas del alumno no sólo son producto del aprendizaje informal basado en el sentido común y en la cultura cotidiana (Pozo y Gómez Crespo, 1998), sino que también se generan a raíz de las explicaciones incompletas o incorrectas de los docentes, motivados por la necesidad de simplificar los conceptos, o por las propias concepciones alternativas de éstos (Andrade-Gamboa *et al.*, 1994; Donati *et al.*, 1994).

Existen tres principios a través de los cuales pueden justificarse las dificultades que dichas concepciones alternativas provocan en la interpretación de teorías o modelos científicos: epistemológicos, ontológicos y conceptuales (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Mártire y Donati, 2004). Los principios epistemológicos definen el marco de referencia o el paradigma dentro del cual deberían ubicarse los nuevos hechos y su explicación. Los principios ontológicos están relacionados con la clasificación de las entidades y con las propiedades que dicha clasificación determina. Por último, los principios conceptuales están relacionados con la forma en que se estructuran y se correlacionan los conceptos.

Prácticamente en todos los temas de un curso de química básica se pueden encontrar ejemplos donde determinadas explicaciones de los docentes provocan concepciones alternativas y, por ende, concepciones erróneas en los alumnos. Sin embargo, es dentro del desarrollo de temas sumamente abstractos, entre los que se destaca la descripción de la estructura atómica, donde se encuentran los ejemplos más representativos. Uno de estos ejemplos es la resonancia. En este trabajo discutiremos el origen y el significado de dicho concepto describiendo los errores frecuentes que suelen detectarse en la enseñanza del mismo.

<sup>1</sup> Área de Química, Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue y Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, Av. Bustillo Km 9.500, R8402AGP San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina.

Correo electrónico: andrade@cab.cnea.gov.ar

<sup>2</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, 47 y 115 (1900) La Plata, Argentina.

Correo electrónico: donati@quimica.unlp.edu.ar

Recibido: 3 de mayo, 2005; aceptado: 16 de agosto, 2005.

## Desarrollo

A partir del descubrimiento del electrón por J.J. Thomson en 1897, comenzó el desarrollo de las teorías del enlace químico, tarea que llegó a un punto importante en 1916 gracias a los esquemas de enlaces por pares de electrones de G.N. Lewis. Esta visión permitió un avance en el desarrollo de una teoría de la química estructural y popularizó las representaciones moleculares en las que con uno, dos o tres segmentos se representaban los enlaces interatómicos simples, dobles y triples, respectivamente. La vieja teoría cuántica, fundada por M. Planck en 1900, y que había sido la inspiración para que N. Bohr desarrollara su modelo atómico en 1913, se vio reemplazada en 1925-1926 por una nueva mecánica cuántica (Pauling, 1935, p. 48) que tuvo dos formulaciones independientes y equivalentes: la mecánica matricial de W. Heisenberg y la mecánica ondulatoria de E. Schrödinger. Esta última se basa (Levine, 1977, p. 8) en la postulación de una ecuación (ecuación de ondas) cuya solución es la función de onda,  $\Psi$ . En esta nueva mecánica cuántica, cuando está aplicada a sistemas atómico-moleculares, la descripción de un electrón se realiza en términos de probabilidad (proporcional a  $|\Psi|^2$ ), dado que el principio de incertidumbre de Heisenberg establece que no es posible fijar simultáneamente la posición y la energía del electrón. Schrödinger aplicó su mecánica ondulatoria al átomo de hidrógeno, al átomo de helio y a moléculas diatómicas (Pauling, 1935, p. 50), aunque en los últimos dos casos la resolución matemática de la ecuación de Schrödinger exige necesariamente una serie de aproximaciones, ya que un sistema que contenga tres o más cuerpos interactuando entre sí no tiene solución exacta. La aplicación de la mecánica cuántica a la química fue liderada, entre otros, por L. Pauling (Wheland, 1955, p. 3) a través de la elaboración de una teoría general para describir el enlace químico, denominada método de enlace de valencia (EV). Este método está íntimamente relacionado con la descripción química de la molécula, con átomos unidos a través de enlaces localizados (tal cual se utiliza en las representaciones de Lewis), lo cual permite una adaptación no matemática y relativamente simple para la enseñanza de la química en niveles iniciales universitarios. Un método alternati-

vo para el tratamiento mecano-cuántico de las moléculas es el de orbitales moleculares (OM). La diferencia entre ambos es que el método EV considera la molécula compuesta de “carozos atómicos” (núcleos más electrones internos) y electrones de valencia enlazantes, mientras que en el método OM los electrones de valencia de todos los átomos se asocian a orbitales que abarcan a la totalidad de los núcleos atómicos. El método OM, en su versión más sencilla, otorga igual probabilidad a la posibilidad de que los electrones de la unión se encuentren asociados exclusivamente a uno sólo de los átomos y distribuidos en forma equitativa entre ambos átomos. Ambos métodos son tratamientos aproximados que al ser mejorados, conducen a resultados equivalentes (Levine, 1977, p. 396-403).

Para moléculas que no admiten una única estructura de Lewis (esquema de apareamiento de electrones), el método EV prevé que la  $\Psi$  molecular es una combinación de funciones de onda  $\phi_i$  correspondiente a cada una de los  $i$ -ésimos esquemas de apareamiento (estructuras contribuyentes). Una aproximación empleada (Wheland 1955, p. 25) es la de considerar esta combinación como lineal, es decir

$$\Psi = \sum_i k_i \phi_i \quad [1]$$

donde  $k_i$  es un factor de peso. Cada esquema de apareamiento contribuye a la descripción de la distribución electrónica molecular real (con un peso proporcional a  $k_i^2$ ), y esto es lo que se denomina *resonancia*. La condición para que los diferentes esquemas de apareamiento sean estructuras contribuyentes es que deben tener los núcleos en las mismas posiciones y poseer el mismo número de electrones desapareados.

El origen del término resonancia (quizás en una elección desafortunada) obedece a que las expresiones matemáticas derivadas del método EV para la energía de una molécula son similares a las expresiones correspondientes al fenómeno clásico de la resonancia (Pauling, 1935, p. 315), en el que dos sistemas osciladores vinculados a través de una interacción débil se transfieren la energía de uno a otro con una dada frecuencia. Pero la resonancia cuántica *no es un fenómeno*, sino una extensión particular del método EV para describir aquellas moléculas, para las que una única estructura de Lewis no describe satisfactoriamente sus propiedades. La resonancia es un recurso para dar una solución aproximada a un

Para una lectura sobre la evolución de las ideas de la mecánica cuántica se recomienda el texto de divulgación de Gribbin (1986).

problema, cuya complejidad matemática impide obtener una solución exacta. De modo que la resonancia es semejante a otros procedimientos a los que se debe recurrir en la formulación de la mecánica cuántica.

La ya mencionada analogía matemática con la resonancia clásica ha generado una idea incorrecta acerca del verdadero significado de la resonancia (cuántica), al extender más allá las características del modelo análogo. *El error es pensar que existe un movimiento electrónico rápido en el que la configuración electrónica de una molécula cambia de una estructura contribuyente a otra.* Esto no subyace en la formulación 1 ya que la función de onda  $\Psi$  que describe los electrones en una molécula es independiente del tiempo. Si la estructura real se describe con base en dos estructuras contribuyentes, I y II, cuyas funciones de onda sean, respectivamente  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , la igualdad  $\Psi = k_I \phi_1 + k_{II} \phi_{II}$  es válida en todo momento. Es decir, no puede interpretarse que en un instante  $\Psi = \phi_1$  y en otro  $\Psi = \phi_{II}$  (Levine, 1977, p. 401).

Una concepción errónea adicional, y que tampoco subyace en la formulación de la mecánica cuántica, es considerar que una sustancia cuyas moléculas son descritas con base en la resonancia, es una mezcla molecular de contribuyentes en equilibrio. Esta idea se puede refrendar empíricamente dado que toda medición sobre la sustancia nunca da una suma de las propiedades de las estructuras contribuyentes. El motivo es que las estructuras contribuyentes no tienen existencia real. Cada función de onda  $\phi_i$  describe una distribución electrónica que es útil para contribuir a la función  $\Psi$  pero no es condición que  $\phi_i$  describa una estructura real —ésta era la razón fundamental de la postura soviética que no aceptaba que se emplearan idealizaciones para describir un hecho real, crítica que llegó a calificar a la resonancia como “viciosa”, “perversa”, “burguesa”, etcétera (Levine, 1977, p. 557).

Estos errores en la descripción de la resonancia y en el significado de las estructuras contribuyentes constituyen confusiones que se originan en diferencias epistemológicas y/o en los principios ex-

plicativos que rigen el dominio (conceptuales). Las primeras surgen debido a que no se diferencia correctamente entre realidad y modelo, al otorgar a los modelos características que no tienen. La confusión de los principios explicativos surge de trasladar la simbología a otro contexto (conocido) y activar otra interpretación. De esta manera, por ejemplo, al hacer la equivalencia entre la simbología utilizada en resonancia para vincular diferentes estructuras contribuyentes ( $\leftrightarrow$ ) con aquella típica del equilibrio químico ( $\rightleftharpoons$ ) se induce a realizar interpretaciones erróneas.

Por otro lado, la interpretación de la resonancia que le otorga características de proceso (movimiento rápido de electrones) encierra, al menos, una confusión ontológica. Esto es semejante a lo que ocurre cuando se describe el enlace iónico como la transferencia electrónica (proceso) en lugar de describirlo como una atracción electrostática (interacción) (Mártire y Donati, 2004).

A nivel introductorio, debido a que no es posible emplear el soporte matemático correspondiente, se recurre a la representación gráfica del híbrido de resonancia. A continuación, vamos a emplear esta formulación para reafirmar lo expuesto, a través de un ejemplo clásico, y acompañar a la aclaración de otros aspectos. Tomemos como ejemplo el benceno. La figura 1 muestra su representación como un híbrido de resonancia entre cinco principales estructuras contribuyentes. Todas las estructuras de la I a la V son hexágonos<sup>1</sup> regulares. Cada estructura se basa en las mismas distancias internucleares pero con un esquema de apareamiento electrónico diferente (Levine, 1977, p. 555-556). Ésta es una postulación de la teoría ya que cada  $\phi_i$  ( $i = I, II, III, IV, V$ ), como se ha adelantado, requiere la misma ubicación para los núcleos de manera que  $\Psi = k_I \phi_I + k_{II} \phi_{II} + k_{III} \phi_{III} + k_{IV} \phi_{IV} + k_V \phi_V + k_{VI} \phi_{VI}$ , esté definida para esas ubicaciones (es más, dichas posiciones nucleares pueden ser un resultado en la obtención de  $\Psi$  por resolución de la ecuación de Schrödinger). Es decir los contribuyentes I y II (estructuras de Kekulé) son diferentes al 1,3,5-ciclohexatrieno (CHT, imal llamado benceno Kekulé!), ya que éste, si existiera, debería tener enlaces cortos y largos. A su vez, los contribuyentes III, IV y V (estructuras de Dewar) no son el biciclo [2.2.0] hexa-2,5-dieno (BCH, imal

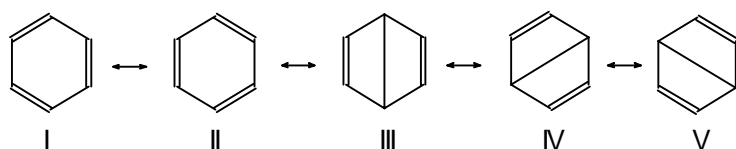


Figura 1. Principales estructuras contribuyentes del benceno.

<sup>1</sup> El vocablo *hexágono* es empleado con toda rigurosidad, de modo que queda implícita la naturaleza plana.

llamado benceno Dewar!), ya que una molécula real con dicho esquema de apareamiento no se corresponde con una estructura plana –el BCH ha sido sintetizado y se descompone a benceno (Potgeiter, 1991). En términos simples, para cada contribuyente la posición de los núcleos atómicos es la misma, lo que cambia es la distribución de electrones.

Para establecer el grado (cualitativo) de aporte de una estructura contribuyente (Hine, 1962, p. 6) se compara la geometría molecular experimental (real) con la geometría que debería esperarse para dicho contribuyente si la localización electrónica fuera real. Cuanto menor sea la diferencia entre ambas geometrías, mayor será el aporte. Pero la estructura contribuyente pone en juego su aporte *bajo la geometría correspondiente a la de la molécula real*. Así, como el hipotético CHT difiere poco de la geometría del benceno, una estructura contribuyente tipo Kekulé se puede considerar como contribuyente del benceno, pero representa un ciclo hexagonal regular con un esquema de apareamiento de enlaces C–C y C=C alternados. Por la misma razón se puede predecir que el aporte de las estructuras de Dewar es mucho menor que el de las estructuras de Kekulé, ya que el enlace simple a lo largo del ciclo es muy débil por ser de longitud 80% mayor que la de un enlace C–C. El aspecto dinámico erróneo de la resonancia, sumado a la identificación incorrecta de CHT y BCH como estructuras contribuyentes, induce a imaginar oscilaciones periódicas que involucrarían, además de vaivenes electrónicos, movimientos de núcleos con amplitudes mayores que las correspondientes a las vibraciones térmicas promedio.<sup>2</sup>

El criterio expuesto para evaluar la contribución relativa de un esquema de apareamiento, dada la condición de que la geometría del contribuyente es la observada para la molécula cuya estructura de EV

<sup>2</sup> Una falsa justificación de la no detección de estos movimientos nucleares resonantes se puede dar si se extendiera la analogía con la resonancia clásica, y se calculara una "frecuencia de resonancia cuántica". Este valor ( $\sim 10^{38} \text{ s}^{-1}$ ) es varios órdenes de magnitud superior a la frecuencia de vibración atómica ( $\sim 10^{13} \text{ s}^{-1}$ ). Pero, más allá de una incompatibilidad relativista para tan rápido movimiento, y tal como se ha mencionado, no se trata de que la resonancia cuántica sea un fenómeno no medible por la vertiginosidad de sus oscilaciones, sino todo lo contrario, esta visión dinámica no forma parte de la esencia de su formulación. No se está ante una limitación experimental como la que podría haber tenido la fotografía en sus inicios como para rebatir la hipótesis "los colibríes no poseen alas".

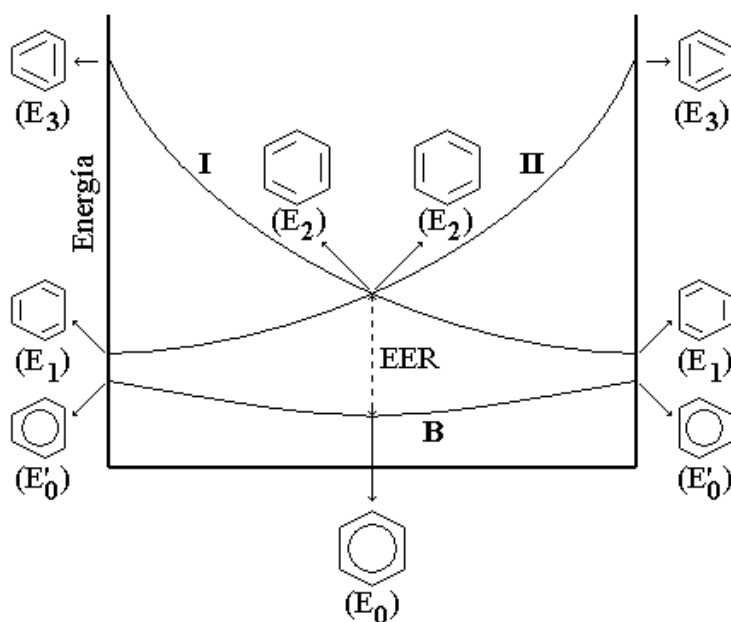


Figura 2. Relaciones energéticas entre las diferentes estructuras que permiten definir la verdadera energía de estabilización por resonancia.

se quiere describir, permite explicar de manera rigurosa el concepto de energía de estabilización por resonancia (EER). Para ello tomemos de nuevo el benceno como ejemplo y, para simplificar la discusión, consideremos que las moléculas del benceno son un híbrido de resonancia entre (solamente) los contribuyentes de Kekulé (la cual es una buena aproximación). Para ayudar a comprender los aspectos energéticos (Hine, 1962, p. 10) empleemos la figura 2 cuya abscisa representa la variación de la geometría estructural desde el extremo izquierdo correspondiente a un CHT, hasta el extremo derecho correspondiente a un CHT pero en el que los lados del hexágono invierten sus longitudes. Así la curva **I** representa la variación de la energía de un hipotético CHT asociada al acortamiento de sus enlaces C=C y al alargamiento de sus enlaces C=C hasta la configuración en la que los enlaces simples se los comprime a la longitud de uno doble y viceversa. La curva **I** es equivalente pero correspondiente a un CHT con diferente localización de los enlaces C=C. La curva **B**, representa la variación energética de una molécula de benceno para las geometrías mencionadas. Naturalmente la energía de una molécula de benceno es inferior a la de cualquier estructura hipotética, tal cual sugiere el método de variaciones (Levine, 1977, p. 188). Es más, un hipotético benceno

con geometría de CHT tendría menor energía que éste. El cruce de las curvas I y II corresponde a la geometría de la molécula de benceno y la ordenada correspondiente es el valor de la energía de una estructura de Kekulé, que también es el promedio energético de los contribuyentes I y II. La diferencia entre el promedio energético (pesado por el grado de aporte) de las estructuras contribuyentes y la energía correspondiente a la molécula real es la EER (la que normalmente se expresa por mol de moléculas). De la figura 2 se puede ver que  $EER = E_2 - E_0$ . Normalmente la EER se considera como la diferencia entre la energía de una molécula de benceno y la del hipotético CHT (es decir,  $E_1 - E_0 = 36$  kcal/mol). El motivo de esta elección es que dicha cantidad (la que suele denominarse EER empírica) resulta fácil de calcular (y entender) como la diferencia entre el calor de hidrogenación de tres enlaces C=C y el calor de hidrogenación de una molécula de benceno (Sykes, 1973). Para obtener la verdadera EER hay que sumar la cantidad de energía que habría que entregar al hipotético CHT para estirar los enlaces C=C y acortar los enlaces C-C y llevarlos todos a la longitud correspondiente al benceno. Este valor es 27 kcal/mol (Levine, 1977, p. 529), por lo que para el benceno la  $EER = 63$  kcal/mol.

La errónea consideración de suponer que una estructura contribuyente de Kekulé es CHT, puede haberse arraigado por una interpretación no estricta de lo que significa predecir una geometría molecular a partir de la teoría de resonancia, constituyéndose nuevamente en una confusión de tipo epistemológica donde se le asigna a la realidad propiedades que exceden a las del modelo. Así, en un camino inverso al de la presente discusión, y una vez aceptado que el benceno es un híbrido de resonancia entre (fundamentalmente) las formas de Kekulé, se puede predecir que la longitud de un enlace CC en esta molécula debe tener una longitud promedio entre las correspondientes a los enlaces C-C y C=C. Pero esto no significa que cada contribuyente esté aportando a la descripción de la molécula real con una geometría particular. El aporte es en cuanto a la distribución electrónica. Debido a esto, lo que se debe promediar son los órdenes de enlace, para luego asignar al valor

resultante la correspondiente longitud. Esta longitud es aquella que minimice la energía para un dado orden de enlace, y que para enlaces CC está dada por la dependencia funcional que ajusta con los tres valores 1,54 Å, 1,33 Å y 1,20 Å, para órdenes de enlace 1, 2 y 3 respectivamente. Así, para el benceno como híbrido de resonancia I ↔ II, con un promedio simple se calcula un orden de enlace CC de 1,5 que, mediante la dependencia funcional mencionada, se corresponde con una longitud de 1,42 Å. Este valor es un poco mayor que el valor experimental (1,39 Å), pero está en muy buen acuerdo en virtud del reducido número de contribuyentes empleados.

Otro aspecto importante para recalcar es que la resonancia suele ser una herramienta útil para explicar las propiedades moleculares, incluso en casos para los que no parecería necesario aplicarla. La resonancia puede ser utilizada en casos menos evidentes para los que una única estructura da una descripción satisfactoria de aspectos moleculares generales, pero que no permite explicar algún detalle experimental particular. Es un error pensar que hay moléculas “conflictivas” a las que se aplica la resonancia, y que, por otro lado, hay moléculas “no conflictivas” que de haber sido las únicas existentes en la naturaleza, la teoría EV nunca hubiera necesitado de la resonancia para describirlas. La realidad es que la resonancia es más la regla que la excepción. Por ejemplo, el dióxido de carbono podría estar bien representado por un único esquema de apareamiento de electrones con dos dobles enlaces C=O, ya que es suficiente una sola estructura de Lewis (O=C=O) para justificar su momento dipolar nulo y la igualdad en la energía (o longitud) de ambos enlaces. Sin embargo, las distancias interatómicas son menores a las esperadas para un enlace C=O, a la vez que la energía de disociación experimental de la molécula es superior a la correspondiente con la estructura O=C=O. Para interpretar estos hechos se puede considerar a la molécula de dióxido de carbono como el híbrido de resonancia mostrado en la figura 3 para el que las estructuras 2 y 3 realizan el mismo aporte, una respecto de la otra, pero que es de menor importancia que el realizado por la 1. Si bien, en cuanto los órdenes de enlace y polaridad molecular, los contribuyentes 2 y 3 no agregan nada a la descripción proporcionada por la estructura 1, su inclusión da cuenta de un aumento de la polaridad de los enlaces, tal como mostraremos a continuación. A partir de un cálculo de cargas atómicas parciales (Andrade-Gamboa, 2004), se puede establecer para cada

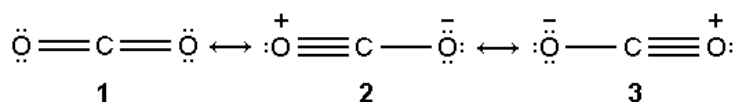


Figura 3.

contribuyente los valores mostrados en la figura 4.

La contribución conjunta de los híbridos 2 y 3 a las cargas atómicas será el promedio simple entre ellas:  $O^{-0,76}C^{+1,52}O^{-0,76}$ , por lo que un mínimo aporte de estas estructuras significará, respecto de las cargas correspondientes a la estructura 1, una carga más negativa para los oxígenos y una carga más positiva para el carbono. Esta polaridad adicional del enlace CO es la que justifica la menor longitud y la mayor energía de enlace observadas respecto del valor teórico para un enlace C=O.

### Conclusión

En este trabajo se ha descrito una serie de concepciones alternativas sobre el tema de resonancia que suelen presentar los alumnos y que pueden estar originadas en explicaciones incompletas. En estas concepciones pueden distinguirse confusiones tanto epistemológicas (no discernimiento entre realidad y modelo), como ontológicas (idea de la resonancia como un proceso) y también conceptuales (confusión entre los principios explicativos específicos de la resonancia y los correspondientes a otros dominios). Muchas de estas confusiones se originan en la necesidad de simplificar conceptos complejos cuando se los enseña en cursos introductorios. La clasificación de los principios que rigen esas confusiones, así como la toma de conciencia de cómo los docentes pueden generarlas por el uso descuidado de palabras, símbolos, extrapolaciones o interpretaciones, seguramente permitirá extremar las precauciones con la intención de evitarlas.

### Bibliografía

- Andrade-Gamboa, J.J., Polarity of a dative bond. Donor and acceptor electronegativities, *Educ. quím.*, **15**, Número extraordinario, 335-341, 2004.
- Andrade-Gamboa, J., Donati, E. y Mártire, D., Realidades, representaciones y desconceptos en la

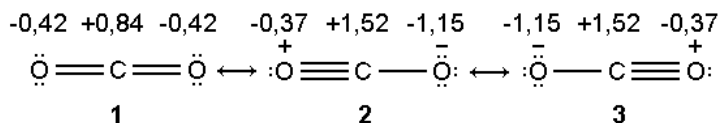


Figura 4.

- enseñanza de la química, *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, **7**, 95-102, 1994.
- Donati, E., Andrade-Gamboa, J. and Mártire D., Misconceptions induced by chemistry teachers", *Chem 13 News*, **241**, 20-21, 1995.
- Gribbin, J. *En busca del gato de Schrödinger. La fascinante historia de la mecánica cuántica*, Salvat Editores, Barcelona, 1986.
- Hine, J., *Physical Organic Chemistry*, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, 1962.
- Levine, I. N., *Química Cuántica*, Editorial AC, Madrid, 1977.
- Mártire, D. y Donati, E., Desde las teorías implícitas a los errores en los cursos básicos de química, *Anuario Latinoamericano de Educación Química*, **18**, 205-209, 2004.
- Pauling, L. and Wilson, E. B., *Introduction to Quantum Mechanics*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo, 1935.
- Potgeiter, J. H., The diverse nature of the C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> molecule, *J. Chem. Educ.*, **68**[4], 280-281, 1991.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A., Aprender y Enseñar Ciencia. Del Conocimiento Cotidiano al Conocimiento Científico, Ediciones Morata. Madrid, 1998.
- Sykes, P., *Mecanismos de reacción en Química Orgánica*, Ediciones Martínez Roca, S. A., Barcelona, 4<sup>a</sup> ed., 1973, p. 29.
- Wheland, G. W., *Resonance in Organic Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1955.