

## ACS, Química: Un proyecto de la American Chemical Society

Editorial Reverté, S. A.: Barcelona, 2005

Por Kira Padilla y Andoni Garritz\*



Hace unos meses llegó a nuestras manos la traducción del libro *Química: Un proyecto de la ACS*, gracias a la editorial Reverté, texto que se estuvo presentando en la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México en un taller de trabajo en enero-febrero de 2006. Posteriormente, en julio uno de los autores de esta reseña (Garritz) asistió a un *workshop* comandado por Jerry Bell en la 19th Biennial Conference on Chemical Education en la Universidad de Purdue y posteriormente (en septiembre) volvió a haber un taller de trabajo para los asistentes al XXV Congreso Nacional de Educación Química en México, DF. No cabe duda de que el grupo de autores está haciendo una amplia difusión a este texto traducido al español, que tiene el lema

“An activity-centered textbook”, un libro de texto centrado en actividades.

Consideramos oportuno hacer una reseña detallada sobre el empleo de este libro en la enseñanza de la Química General de los primeros semestres universitarios.

### El estudiante y su relación con el autoaprendizaje

Los autores inician con una breve introducción en donde describen los “cómos” y los “porqués” del libro. Incluso detallan qué necesita saber un estudiante para poder manejarlo con cierta facilidad. Dentro de cada capítulo aparecen secciones a las que llaman: *Investiga, considera, ejercicio resuelto y comprueba*.

- En *investiga*, se le pide al estudiante que realice diferentes tipos de actividades, desde un experimento sencillo de laboratorio hasta una investigación bibliográfica; el objetivo es ayudarlo a construir su propio conocimiento, hacerlo conciente y responsable de su aprendizaje con su involucramiento personal en el mismo, para cultivarse y trabajar en equipo;
- En *considera* normalmente se le solicita que argumente, que defienda su conocimiento, lo que le ayudará a desarrollar la metacognición (Campanario, 2000); un *considera* puede ir antes o después de un *investiga*, pero la idea fundamental es que piense en voz alta y argumente a favor o en contra, lo que se propicia actualmente en diversos artículos (Driver, Newton y Osborne, 2000; Zohar y Nemet, 2002).
- El *ejercicio resuelto* le enseña un procedimiento operativo para la resolución de problemas y se insiste en dos cosas: si tiene la información necesaria para la resolución y tiene sentido el resultado, recomendaciones bastante frecuentes (a partir de Polya, 1945). Ambos puntos son fundamentales. Son los que hacen que un estudiante pierda horas frente a un problema de supuesta fácil resolución o lo resuelva en cinco minutos.
- Los *comprueba* son ejercicios que se plantean para que el estudiante refuerce el conocimiento adquirido. Siempre habrá un *comprueba* después de cada ejercicio resuelto y en seguida habrá algunos más *comprueba* de otro tipo para fortalecer el conocimiento del estudiante.

Una de las cosas que el estudiante puede hacer es consultar la página web del libro, la cual se encuentra en [www.whfree-](http://www.whfree-)

\* Facultad de Química, UNAM 04510, México, DF.  
Correo electrónico: kira@informatica.fquim.unam.mx  
y andoni@servidor.unam.mx

man.com/acsgenchem. Allí está la guía, donde puede seleccionar el capítulo y la sección en la que tenga duda. El único ‘pero’ es que nuestros estudiantes deben tener conocimiento del inglés, cosa desafortunadamente poco frecuente en nuestros países (son francamente raros los casos). Otra sección que tiene en la página web es el **Tutor personal** el cual, dependiendo del tema que esté tratando, le pide que realice una pequeña prueba y dependiendo de cómo la resuelva, el Tutor personal le recomendará entrar a unas secciones u otras. Sin embargo, cabe mencionar que esto es útil para chicos que son responsables de su propio aprendizaje y la gran mayoría de nuestros jóvenes universitarios todavía dependen de nosotros, los profesores, para su aprendizaje, no les enseñamos a tomar esa responsabilidad sino hasta los últimos semestres de la carrera. Cualquier profesor que decida tomar este libro como texto debe considerar que sus estudiantes traen buenas bases de química del bachillerato y que son lo suficientemente responsables de su propio aprendizaje.

Es de resaltar que una buena cantidad de recursos listos para utilizar por el profesor están presentes en los FROGs (“ranas” en español), por las siglas de Faculty Resource and Organizational Guide [Guía de Organización y Recursos para el Profesorado]. Estos FROGs acompañan al libro del profesor en un CD.

### Capítulo 1: El agua: una maravilla de la naturaleza

Este libro toma como tema central al agua, como un compuesto fundamental en el proceso de la vida. La primera impresión que provoca es que es un libro dedicado a la enseñanza de la química para biólogos, no sólo porque aborda tópicos de biomoléculas con frecuencia, sino porque pasa por los temas con cierta superficialidad. El contenido del primer capítulo es bastante ambicioso y efectivamente abarca muchos y muy diversos temas. El problema es que no los explica con la profundidad que requieren los estudiantes que van a estudiar carreras de química. Quizás esa superficialidad se deba a que es un capítulo “de repaso” de lo ya aprendido, pero pasan demasiado rápido demasiados temas.

Dentro del primer capítulo se revisa el modelo atómico. Se hace una breve descripción de sus constituyentes (protones, neutrones y electrones), y para explicarlo se utiliza el de la capa de electrones, en el cual se menciona que los electrones forman una capa alrededor del núcleo; los **internos** están fuertemente atraídos por el núcleo y los de **valencia** no tanto, por lo que son los que interactúan con otros átomos. De este modelo un estudiante de química se ayuda para explicar prácticamente todas las propiedades periódicas, aunque el concepto de carga nuclear efectiva se evita. Los niveles de energía en que se encuentran los electrones

se retoman en el capítulo cuatro, sin la profundidad requerida para un estudiante de química.

El enlace covalente está orientado únicamente a la molécula de agua; primero se explica al alumno qué son los modelos moleculares y la compartición de electrones; posteriormente a dibujar estructuras de Lewis y a que identifique las disposiciones tridimensionales de los átomos (incluyendo los pares de electrones no compartidos), todo esto con el objetivo de explicar la electronegatividad, la polaridad del agua y el enlace de hidrógeno, y con esto sus temperaturas de fusión, ebullición, etcétera. Además, no sólo se explican las interacciones en el agua, sino que se va más allá, hasta las interacciones en biomoléculas como el ADN y las proteínas. Esta parte es sumamente interesante para estudiantes de las carreras de Medicina, Biología, Farmacia, Química e Ingeniería de Alimentos.

Uno de los conceptos más importantes en la química es la cantidad de sustancia y su unidad, el mol. La forma como se presenta en este libro arrastra concepciones alternativas reportadas en la literatura desde hace tiempo (Dierks, 1981; Case and Fraser, 1999; Furió *et al.*, 2000; Furió *et al.*, 2002). Esto es, no menciona a la cantidad de sustancia (en su lugar la sustituye por número de moles<sup>1</sup>) e iguala al mol con el número de Avogadro.

Algo que es interesante es que se empiezan a utilizar diagramas de energía, para que los estudiantes empiecen a comprender que en todo tipo de interacción química existe un intercambio de energía. Se enseña a interpretar un diagrama de energía ya que se utilizarán a lo largo del texto.

### Capítulo 2: Soluciones acuosas y solubilidad

El capítulo dos comienza con la solubilidad de compuestos covalentes polares en agua y explica a través de fuerzas intermoleculares esta solubilidad. Unos primorosos diagramas moleculares de densidad electrónica acompañan al libro desde este capítulo. El problema es cuando habla de la solubilidad de los sólidos iónicos sin haber explicado qué son estos sólidos. Para empezar a hablar de sólidos iónicos comienza explicando las ecuaciones químicas para la formación de iones en estado gaseoso. Es decir, toma un átomo de sodio y un átomo de cloro y lleva a cabo la transferencia electrónica. Según lo informado en la literatura de didáctica de las ciencias (Coll and Treagust, 2003; Taber, 1994; 1997; Oversby, 1996) precisamente esto es algo que no se debe hacer para explicar el enlace iónico ya que se

<sup>1</sup> La definición de cantidad de sustancia dada por la IUPAC habla de esto como parte del pasado (McNaught y Wilkinson, 1997): “The quantity had no name prior to 1969 and was simply referred to as the number of moles.”

crean modelos mentales equivocados en los estudiantes, quienes acaban por utilizar, explícita o tácitamente, una noción de pares iónicos como moléculas (Nelson, 1996) y prestan atención innecesaria a la irrelevante “historia del electrón” cedido y atrapado.

Lo que se trata con bastante profundidad son los cambios energéticos que se presentan cuando los sólidos iónicos se disuelven. Otro tema que se introduce es el de los equilibrios de solubilidad, el problema es que se hace sin decir que son equilibrios, simplemente se los maneja como **reacciones completas de precipitación** y muestra las reglas de solubilidad para los compuestos iónicos, con sus respectivas excepciones. Continúa con el tema de concentración molar y cómo determinarla, para seguir con cálculos estequiométricos de sólidos en disolución y finaliza este tema con Reactivo Limitante. Para cerrar el capítulo se analizan los equilibrios ácido-base a la Brønsted-Lowry. En este tema ya se explica lo que es el equilibrio desde una perspectiva microscópica y se utiliza el Principio de Le Chatelier, sobre este tema comentaremos más adelante.

### Capítulo 3: El origen de los átomos

Este capítulo se enfoca a estudiar la composición de los átomos. Empieza por la espectroscopia, analizando de dónde proceden y qué son los espectros de emisión y absorción de diferentes elementos y haciendo un análisis estelar (que resulta bastante interesante) a partir de las emisiones de luz de algunas estrellas y se empieza a preguntar cuál será la abundancia de los elementos en el universo, una pregunta relativamente difícil de contestar, pero que los estudiantes pueden empezar a tratar de contestar con sus conocimientos básicos de química y espectroscopia. A continuación se hace una descripción de los átomos: electrones, protones y neutrones. La relación de los protones y el número atómico y de los neutrones y el número másico hasta la identificación de isótopos. Con estos conocimientos básicos, se regresa al universo, a “la gran explosión” a la teoría del Big Bang. Esto para empezar a analizar reacciones de fusión nuclear, diferentes tipos de radioactividad y algunas de sus aplicaciones en la vida humana. Otro tipo de problemas que se analiza es el tiempo de vida media de los radioisótopos y su utilidad para determinar la edad de muestras arqueológicas muy antiguas, así como el de la energía desprendida en las reacciones nucleares. Para ello se muestran gráficas comparativas entre fisión y fusión nuclear, estas últimas son las que ocurren a niveles estelares y producen una gran cantidad de energía. En general, este capítulo va llevando de la mano al estudiante por el mundo de los átomos y las reacciones nucleares, su energía y su relación con el universo.

### Capítulo 4: Estructura atómica

Este capítulo inicia con la explicación de las tendencias en las propiedades periódicas, al dar una visión histórica de cómo lo hicieron Meyer y Mendeleev. Después, al hablar del análisis elemental por absorción de luz, se empieza a comentar acerca de las energías de ionización. Justo en este punto se explica la dualidad onda-partícula sin adentrarse demasiado en este fenómeno, pero sí se entra con detalle en las propiedades de las ondas, para llegar a las ondas electromagnéticas y al espectro electromagnético, tema en el cual se propone una serie de experimentos para relacionar la temperatura con el color de un filamento incandescente. Aquí se muestran una serie de experimentos y propuestas que terminaron como avances parciales, como el de Stefan-Boltzmann o el de Wien, hasta que Plank planteó su propuesta, que fue la que más se aproximó a los resultados experimentales. Se hace una propuesta pre-cuántica sin meterse a estudiar la función de onda, con figuras para distribuciones de probabilidad y orbitales. Este es un tema muy polémico, del que se ha escrito mucho (Griffiths y Preston, 1992; Gillespie, 1996; Harrison y Treagust, 1996). Se inicia entonces la mención de la mecánica ondulatoria y de propuestas como la de De Broglie, Bohr y Heisenberg, así como del espín electrónico y el principio de exclusión de Pauli. Como está planteada, esta propuesta para estudiar estructura de la materia sin hacer mención de la función de onda puede llegar a causar complicaciones (Sánchez-Gómez y Martín, 2003), ya que los estudiantes se han quedado con la idea de que los orbitales son esferas y de que es muy sencillo resolver este tipo de sistemas, basta tener la longitud de onda y el radio de la esfera, y esto es únicamente un artificio didáctico. Incluso se propone que la energía total del átomo, al ser la suma de la energía cinética más la energía potencial, puede ser escrita así:

$$E \propto \frac{1}{R^2} - \frac{1}{R}$$

donde  $R$  es el radio de la onda (p. 248). Con estos antecedentes proceden a explicar propiedades periódicas, como las energías de ionización, la electronegatividad, etcétera. Como tema final se habla de la función de onda de Schrödinger y de algunas de sus soluciones, así mismo se dibujan algunos orbitales  $s$  y  $p$  y se introducen las configuraciones electrónicas que no podrían ser introducidas con el modelo previo que se estudió en el capítulo 1. Se analiza un diagrama de energía para los orbitales. Consideramos que esta última sección debería ser introducida con el tema de estructura atómica antes de empezar a estudiar las propiedades periódicas como tales ya que las configuraciones electrónicas son indispensables para explicar muchas de ellas.

### Capítulo 5. Estructura molecular

En este capítulo se estudian dos teorías de enlace. La teoría de Lewis, que los estudiantes ya habían estudiado previamente en el capítulo uno, con el agua y algunas moléculas orgánicas, y la teoría de orbitales moleculares (TOM). La mayoría de moléculas que son estudiadas son orgánicas. Las moléculas inorgánicas son muy contadas. Así pues, la primera parte del capítulo es un repaso, donde también se estudian los isómeros y cómo identificarlos. Para orbitales moleculares se va explicando qué son los orbitales enlazantes y no enlazantes sigma y pi y las formas que pueden adquirir las moléculas. Aunque dado que con OM no es posible determinar claramente una estructura molecular, se hace uso de modelos para predecir la estructura, como se muestra en la página 299 para el caso del hexafluoruro de azufre. No queda claro cómo puede un estudiante predecir la estructura utilizando TOM. Aparte de éste hay dos ejemplos más de moléculas inorgánicas. Se empieza a hablar sobre estereo-isomería, rotación óptica y grupos funcionales orgánicos. Hasta este momento no se ha hablado de la nomenclatura inorgánica ni de la estructura de estas moléculas, temas que deberían ser tocados en algún punto del temario y que no lo son.

### Capítulo 6: Reacción química

Este capítulo pasa, a nuestro gusto, demasiado rápido por la pregunta: ¿qué es una reacción química?, de tal forma que no aparece una definición contundente y remarcada en el texto. Si acaso cuando se dice: “Las evidencias de que diferentes sustancias están presentes antes y después del cambio probablemente ha sido uno de los criterios utilizados para distinguir si dicho cambio es o no una reacción química”, queda establecido lo que es una reacción. Sin embargo, da mayor importancia a la definición microscópica de la reacción diciendo en negritas que “comienza cuando un centro con carga positiva de uno de los reactivos es atraído por un centro de carga negativa del otro reactivo”. ¿Qué sucederá entonces en las reacciones de descomposición en las que existe un único reactivo?

Presenta tres reacciones en las que se forma  $\text{CO}_2$  como ejemplos de cambio químico y aprovecha el reactivo limitante para introducir la técnica de las variaciones continuas para conocer la estequiometría de una reacción de precipitación. Introduce entonces los conceptos de ácidos y bases de Lewis y de Brønsted-Lowry, de una forma complementaria y moderna, incluida su fortaleza, gracias a los diagramas de distribución de densidad electrónica introducidos desde el capítulo 2. Presenta la estructura de los compuestos complejos y de electrófilos y nucleófilos en diversas reacciones, incluidas las polimerizaciones. Pasa finalmente al concepto de carga formal y a las reacciones de óxido-reducción,

incluidas las de compuestos del carbono. No se pone ningún énfasis en lo relativo a qué es la pérdida o ganancia de electrones en muchas de estas reacciones.

### Capítulo 7. Energía química: entalpía

Inicia este capítulo con la mención del “secreto” de Watt y Stephenson de que “media onza de carbón puede transportar dos toneladas de peso a lo largo de una milla”. Un buen inicio para sopesar la presencia de energía química en los compuestos, que inmediatamente se extrapola a los alimentos. Introduce entonces las dos formas de energía en tránsito: calor y trabajo, con el adecuado nombre de energía térmica y mecánica, respectivamente, como dos funciones de trayectoria. Entonces entra la entalpía, como una función de estado, y con ella el uso del calorímetro para medir su cambio. El cálculo teórico del cambio de entalpía para una reacción es introducido mediante las entalpías de los enlaces y más tarde mediante las entalpías estándar de formación. Muy interesante resulta entonces la sección sobre energía en los sistemas vivos, con la reacción de formación del ATP. Hasta entonces se introduce el concepto de energía interna y la primera ley de la termodinámica, desembocando de nuevo en la entalpía, pero ahora como  $E+PV$ . Este capítulo culmina con lo que nos falta saber sobre las reacciones químicas más allá de su cambio de entalpía, como es su espontaneidad. Se introduce finalmente el modelo cinético-molecular de los gases.

### Capítulo 8: Entropía y organización molecular

Nos presenta a la entropía como “la variable termodinámica que nos dice en qué dirección se producirá un proceso espontáneo”.

Como un ejemplo del uso de términos no generalizados del español en el texto, en el “8. INVESTIGA” se habla de “sirope”, que es un anglicismo proveniente de “syrup”, en lugar de “jarabe” o “almíbar”, el cual es quizá mejor, porque en España “jarabe” tiene más bien la connotación médica.

Todo este capítulo está basado en el cálculo de las “disposiciones moleculares” de un sistema, para llegar a la  $W$  de Boltzmann. Se retoma el esquema simple de aquel estupendo texto de Nash (1974), pero ahora con figuras extraordinarias de los átomos y las moléculas. Introduce entonces la energía libre de Gibbs,  $G$ , como el parámetro que determina la dirección del cambio.

De acuerdo con la norma de presentar ejemplos biológicos, en este capítulo entra la formación de micelas y membranas de doble pared. Igualmente, sorprende que aparezcan las propiedades coligativas de las disoluciones, un tema que empezaba ya a olvidarse en los libros más recientes, porque representa hacer más cálculos a cambio de no abordar los temas básicos y conceptuales.

### Capítulo 9. Equilibrio químico

Nuevamente dominan las aplicaciones biológicas en este capítulo, desde la figura que lo encabeza, con el equilibrio del oxígeno en la hemoglobina, hasta las secciones “Propiedades ácido-base de las proteínas” y “La termodinámica de los sistemas vivos”, ambas sumamente interesantes.

Desde la introducción del capítulo se habla del principio de Le Chatelier, ese precepto tan puesto en tela de juicio últimamente (ver las Pp. 279-281 y 285-286 en la referencia de Van Driel y Gräber, 2002; o bien en esta misma revista el artículo de Quílez, 2002). Quizá los autores del libro desconocen la literatura reciente de investigación en enseñanza de las ciencias sobre temas específicos de química. Se dedica finalmente una buena parte del capítulo al empleo de  $K_a$  y  $K_b$  de ácidos y bases, así como a disoluciones reguladoras.

### Capítulo 10. Reducción-oxidación: electroquímica

En la introducción del capítulo se muestran varios aspectos contemporáneos del tema, como la oxidación que se da en el proceso respiratorio en la mitocondria o la oxidación parcial de la glucosa en una celda de biocombustible, una pila electroquímica con tecnología de punta. Eso caracteriza a este capítulo, que habla constantemente de las aplicaciones tecnológicas de este tema, y también, nuevamente, de sus aplicaciones biológicas. Sus figuras de los procesos electrónicos resultan tener una calidad extraordinaria.

### Capítulo 11. Mecanismos de reacción

Este último capítulo del libro es novedoso por tratarse éste de un texto de Química General, en los que no se acostumbra tratar este tema. No cabe duda de que el tratamiento de la cinética química tiene mucho más sentido si se le emplea para elucidar los mecanismos de las reacciones. En el capítulo se pasa con acierto de la expresión de la velocidad como el incremento de la concentración de alguno de los productos de la reacción sobre el intervalo de tiempo en el que ocurre,  $\Delta P/\Delta t$ , a la expresión diferencial  $dP/dt$ , aunque posteriormente se prefiere seguir empleando la expresión  $\Delta P/\Delta t$  todo el tiempo. La velocidad de la reacción de descomposición del agua oxigenada con el ion yoduro (de primer orden respecto a ambos, ver ecuación [11.14]) conduce a la primera ocasión en la que se plantea un mecanismo de reacción en función de la expresión cinética de la reacción química (11.21). Después se presenta otro ejemplo resuelto: el mecanismo de reacción de  $\text{OCl}^-$  (ac) con  $\text{I}^-$  (ac) y se analizan las expresiones cinéticas de las reacciones de primer orden y de la constante de velocidad de Arrhenius, con el concepto de la energía de activación. Se analiza entonces la fotoquímica y se vuelve al ejemplo del inicio del capítulo del escarabajo pelotero, el que gracias a una reacción catalizada de descom-

posición de agua oxigenada produce una dispersión defensiva a alta temperatura, desembocando en el tema de la catálisis enzimática, otro ejemplo biológico de importancia, con el que concluye el libro.

Terminamos esta reseña con la mención de las “grandes ideas” recurrentes en el libro, mencionadas en su “Introducción” (Pp. xxvii-xxviii), para que el lector de esta reseña se lleve una idea clara de lo que los autores piensan que son las aportaciones más importantes del texto.

Hay varios conceptos o ‘grandes ideas’ que son recurrentes en una u otra forma a lo largo del libro. He aquí una breve descripción de los mismos:

- Las atracciones entre centros positivos y negativos mantienen unida la materia y son responsables de las reacciones químicas.
- Cuanto menor es su energía, más estable es un sistema.
- En los cambios se conserva la energía:  $\Delta E_{\text{total}} = 0$ .
- Las propiedades de los elementos se repiten periódicamente al aumentar el número atómico de sus átomos.
- Los electrones de los átomos y las moléculas se comportan como ondas de materia con energías cuantizadas; cuanto más se extiende una onda material, tanto menor es su energía (más favorable).
- Los cambios ocurren en aquella dirección en la que aumenta el número de disposiciones distinguibles de las partículas y/o los cuantos de energía. La entropía,  $S$ , es una medida de ese número, y en todos los procesos espontáneos, aumenta la entropía total  $\Delta S_{\text{total}} > 0$ .
- Las reacciones se encuentran en equilibrio cuando  $\Delta S_{\text{total}} = 0$  para el cambio de los reactivos a los productos.
- Cuando se perturba una reacción en equilibrio, el sistema reacciona para minimizar la perturbación. Éste es el principio de Le Chatelier. Las reacciones en equilibrio se describen cuantitativamente en función de una constante de equilibrio que depende de la temperatura.
- La corriente eléctrica puede producir reacciones químicas de oxidación-reducción. Las reacciones químicas de oxidación-reducción pueden producir una corriente eléctrica.
- La velocidad de una reacción química depende de la concentración de las especies y de la temperatura del sistema. Estos son un resultado del mecanismo de la reacción.”

No cabe duda de que se trata de un libro preparado para un currículum novedoso, con la virtud de presentarnos unas figuras de muy alta calidad elaboradas en computadora, con programas de avanzada de la distribución electrónica. Todo

lo escrito se basa en las actividades que ha de desarrollar el estudiante, en el entendido de que lo que haga éste tiene que ver con su aprendizaje efectivo. ■

## Referencias

- Campanario, J. M., El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno, *Enseñanza de las Ciencias*, **18**(3), 369-380, 2000.
- Case, J. M., Fraser, D. M. An investigation into chemical engineering students' understanding of the mole and the use of concrete activities to promote conceptual change. *International Journal of Science Education*, **21**(12), 1237-1249, 1999.
- Coll, R. K., Treagust, D. F., Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learners' mental models of ionic bonding, *Journal of Research in Science Teaching*, **40**(5), 464-486, 2003.
- Dierks, W. Teaching the mole. *European Journal of Science Education*, **3**(2), 145-158, 1981.
- Driver, R., Newton, P. and Osborne, J., Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms, *Science Education*, **84**, 287-312, 2000.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, J., Ratcliffe, M., Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole', *International Journal of Science Education*, **22**(12), 1285-1304, 2000.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, J., The learning and teaching of the concepts 'amount of substance' and 'mole': A review of the literature. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, **3**(3) 277-292, 2002.
- Gillespie, R.J. Bonding without orbitals. *Education in Chemistry*, **33**(4), 103-106, 1996.
- Griffiths A., y Preston K. R. Grade-12 Students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules, *Journal of Research in Science Education*, **29**(6), 611-628, 1992.
- Harrison, A. G., y Treagust, D., F., Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, *Science Education*, **80**(5), 509-534, 1996.
- McNaught, A. D. y Wilkinson, A., *IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (The gold book)*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, publicada en forma impresa por Blackwell Science, 2<sup>nd</sup> edition, 1997. Puede consultarse en la URL <http://www.chemsoc.org/chembytes/goldbook/>
- Nash, L. *Elements of Statistical Thermodynamics*, Dover Publications, Inc., 1974.
- Nelson, P.G. To be a molecule or not to be, *Education in Chemistry*, **33**(5), 129-130, 1996.
- Oversby, J. The ionic bond, *Education in Chemistry*, **33**(2), 37-38, 1996.
- Polya, G. *How to solve it: A new aspect of mathematical method*, Princeton University Press: Princeton, NJ, 1945.
- Quílez, J., Una propuesta curricular para la enseñanza de la evolución de los sistemas en equilibrio químico que han sido perturbados, *Educ. Quím.*, **13**[3], 170-187, 2002.
- Sánchez Gómez, P. J. y Martín, F. Quantum vs. "Classical" chemistry in university chemistry education: a case study on the role of history in thinking the curriculum. *Chemistry education: Research and practice*, **4**(2), 131-148, 2003.
- Taber, K. S. Misunderstanding the ionic bond, *Education in Chemistry*, **31**(4), 100-103, 1994.
- Taber, K. S. Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework?, *School Science Review*, **78**(285), 85-95, 1997.
- Van Driel, J. y Gräber, W. Teaching and learning of chemical equilibrium. En J. K. Gilbert *et al.* (eds.) *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, 271-292. Netherlands: Kluwer, 2002.
- Zohar, A. y Nemet, F. Fostering Students' Knowledge and Argumentation Skills Through Dilemmas in Human Genetics, *Journal of Research in Science Teaching* **39**(1), 35-62, 2002.