

Abordaje de la química del carbono en un curso introductorio y masivo de Química General

Alberto Ghini, Adriana Veleiro, Jorge Bruno, Daniela Guerrien, Verónica Rusler y Cecilia Di Risio*

ABSTRACT (Carbon Chemistry Approach in a Massive Introductory General Chemistry Course)

This work deals with the methodology and results obtained when applying a sequence of contents different from the one usually taught in General Chemistry introductory courses at graduate level. The most significant change consists in the incorporation of carbon compounds in the unit devoted to chemical bonding. This approach was developed in order to allow students both to perceive the uniqueness of the discipline and engage in a variety of issues than those included in the official syllabus, particularly the ones important to Biology and Chemistry. The relevance of this approach was looked into by means of surveys, teaching of special topics and further tracking of students' learning improvements in subsequent courses where these contents have fundamental importance.

KEYWORDS: introductory chemistry course, general chemistry, carbon chemistry, syllabus

Introducción

La asignatura Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires (CBC-UBA), con una matrícula de aproximadamente 30.000 alumnos/año, es el primer curso disciplinar para alumnos inscritos en carreras de las áreas de Ciencias de la Salud, Ciencias Básicas y Tecnologías. La asignatura aborda, entre otros, contenidos relacionados con la estructura y las propiedades de la materia, el enlace químico y el equilibrio químico. Es una materia introductoria que podría considerarse una "Química Inicial" en facultades de Ciencias; además, para aproximadamente el 70% de los alumnos (los inscritos en carreras de: Enfermería, Fonoaudiología, Kinesología, Medicina, Nutrición, Obstetricia, Odontología) es el único curso de Química General, dado que las asignaturas correlativas en sus carreras están orientadas hacia la Química Biológica.

La materia se dicta en ocho sedes (ubicadas en distintas áreas de la Ciudad de Buenos Aires y de la Provincia de Buenos Aires, Argentina), en ambos cuatrimestres lectivos, cada uno de ellos con 14 semanas de clase y a razón de dos clases de tres horas cada una por semana. Las clases son teórico-prácticas, en ellas se desarrollan los contenidos teóricos y se realiza la ejercitación básica propuesta por la cátedra. El número de cursos oscila entre 180 y 140, dependiendo del cuatrimestre lectivo: la masividad es una de las características fundamentales de esta asignatura.

En este contexto, la incorporación de contenidos de Química Orgánica (química del carbono) resulta fundamental, sobre todo para proveer un enfoque integrado de conceptos elementales del enlace químico y de la relación entre la estructura submicroscópica y las propiedades macroscópicas de las moléculas, en particular aquellas con interés biológico. Varios textos clásicos de Química General como los de Chang, (2007), Brown, Le May y Bursten (2004), Petrucci, Harwood y Herring (2003), Whitten, Davis, Peck y Stanley (2010) abordan el análisis de los compuestos del carbono en sus capítulos finales. Nuestra experiencia docente en cursos introductorios de la disciplina sugiere que una secuenciación de los contenidos que incluya a compuestos del carbono en un marco amplio de compuestos químicos, podría propiciar una visión integral de la Química basada en fundamentos generales, que es por otra parte a la que adhieren los científicos contemporáneos más prominentes. Por ejemplo, hace ya casi dos décadas y en el prefacio de un libro de su autoría, E. J. Corey (1995), Premio Nobel de Química en 1990, comentó que en los métodos de síntesis de compuestos "orgánicos" se utilizaban hasta sesenta elementos químicos distintos, lo cual nos sugiere que la existencia de una categoría específica para la química del carbono no es necesaria al menos en el nivel introductorio.

Marco histórico-conceptual

Típicamente, los textos de Química Orgánica universitaria (por ejemplo: Wheland (1949), Wade (2004), McMurry (2008a)) introducen la subdisciplina haciendo consideraciones históricas sobre el origen de la separación entre distintas ramas de la Química: la separación entre química orgánica e inorgánica viene desde finales del siglo XVIII, cuando (fundamentalmente gracias a Lavoisier) la química presentó avances hasta convertirse en la ciencia moderna que hoy conocemos. Por aquellos años se hicieron notorias las diferencias en el

* Cátedra de Química, Departamento de Ciencias Exactas, Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Correos electrónicos: Cecilia Di Risio <cecilia.dirisio@gmail.com>; Jorge Bruno <jrg.brn@gmail.com>

Fecha de recepción: 19 de julio 2011.

Fecha de aceptación: 1 de noviembre 2011.

comportamiento de las sustancias, según hubieran sido aisladas de materia inerte o de organismos vivos. Fue el químico sueco T. Bergman quien introdujo en 1770 el término “orgánicos” para referirse a este último tipo de sustancias (McMurry, 2008b).

La división aludida no resultaba arbitraria, considerando el contexto científico de aquella época. Por regla general, las sustancias “orgánicas” eran más difíciles de aislar y de purificar y se descomponían con facilidad, sus fórmulas mínimas no guardaban entre sus átomos una relación de números enteros y pequeños y se encontraban ejemplos de compuestos que, a pesar de tener exactamente la misma composición cualitativa y cuantitativa presentaban comportamientos químicos y físicos diferentes. Otra diferencia notable surgió cuando J. B. Biot (1815) encontró que la mayoría de las sustancias “orgánicas” disueltas en agua o en alcohol desviaban el ángulo de polarización de la luz. Todos estos hechos parecían estar en concordancia con la teoría vitalista, en cuanto reflejaba la convicción que se tenía en aquella época respecto a la incapacidad de producir compuestos “orgánicos” a partir de materiales inorgánicos y/o en el laboratorio.

Por los años 1850-60, L. Pasteur, en sus famosos trabajos sobre la interacción de las sustancias con la luz polarizada, al constatar que efectivamente “todas las sustancias fundamentales para la vida” eran ópticamente activas, consideró que esa “capacidad de sintetizar sustancias ópticamente activas era la diferencia más notable entre la materia viviente y la no-viviente” (Dubós, 1962). Así es que las diferencias entre sustancias “orgánicas” e “inorgánicas” estaban establecidas firmemente en el ambiente científico de entonces.

Hubo también en esos años experiencias que estaban sin duda en contra de la teoría vitalista: en 1816 Chevreul separó ácidos grasos desde el jabón, y suele citarse en los textos como decisiva la síntesis de urea a partir de cianato de potasio y amoníaco realizada por Wöhler en 1828. El conocimiento acumulado dejó en desuso a la teoría vitalista, la cual ya a finales del siglo XIX estaba completamente abandonada. Así lo mencionó Hofmann en ocasión de la muerte de Wöhler en 1882, reconociendo la importancia de aquella síntesis de urea. Las palabras de Hofmann fueron tomadas por la literatura, adjudicándole probablemente a la síntesis de Wöhler una trascendencia que no había tenido en su momento.

El desarrollo de la síntesis “orgánica” desde el comienzo del siglo XX fue vertiginoso; baste recordar la síntesis de colorantes desarrollada por von Baeyer (Premio Nobel de Química de 1905 por —según lo establecido por el comité de premiación— el avance de la química orgánica y de la industria química, gracias a sus trabajos sobre colorantes orgánicos y compuestos hidroaromáticos) y de productos de interés farmacéutico; en este último aspecto, resulta paradigmática la síntesis de penicilina efectuada muy poco tiempo después de su aislamiento, durante la Segunda Guerra Mundial. Por otra parte, el advenimiento de la química analítica instrumental en la segunda mitad del siglo XX y la capacidad de determinar cantidades muy pequeñas de sustancias hizo más evidente la

importancia de los componentes “inorgánicos” en los organismos vivos (micronutrientes, cofactores, iones).

Hoy, la unicidad de la disciplina está firmemente establecida. Los principios que explican los compuestos más simples también aclaran los más complicados, sean éstos “orgánicos” o “inorgánicos”. Prueba de ello son los avances en la síntesis de compuestos enantioméricamente puros (“síntesis asimétrica”) que utiliza catalizadores inorgánicos (complejos de diferentes metales), y otras subdisciplinas de gran desarrollo actual, como la química bio-inorgánica y la de materiales. Resulta ilustrativo recordar que el Premio Nobel de Medicina y Fisiología de 1998 fue otorgado a científicos estadounidenses en mérito a sus descubrimientos concernientes al óxido nítrico como molécula marcadora del sistema cardiovascular, y el Premio Nobel de Química de 2010, a tres científicos japoneses por haber desarrollado las reacciones de acoplamiento cruzado catalizadas por paladio en síntesis orgánica (Nobel Prize in Chemistry, 2011).

Como ocurre con la enseñanza de toda área de conocimiento a nivel universitario, aquella correspondiente a la disciplina se organiza categorizando áreas que reúnen suficientes especificidades para constituir cursos de grado y/o posgrado individuales, supuestamente correlacionados unos con otros. En particular, esta modalidad de organizar el “gran currículum” de la Química separando a la orgánica de la inorgánica a pesar de su unicidad disciplinar fue percibida, entre otros, por W. Brande ya en 1848 al afirmar que “no se puede trazar una línea definida entre la química orgánica y la química inorgánica (...) Todas las diferencias sólo deben considerarse como asunto de conveniencia práctica, prevista para impulsar el progreso de los alumnos” (McMurry, 2008b). Pero la conveniencia práctica que menciona Brande no obsta para subvalorar herramientas conceptuales disponibles para y por los alumnos desde los cursos iniciales. Y a pesar de la percepción integral de la disciplina por parte de los expertos, resulta paradójico que la mayoría de los textos (y docentes) universitarios de química orgánica no empleen exhaustivamente las herramientas conceptuales enseñadas en cursos de Química General. Del mismo modo, los textos —y docentes— de química general e inorgánica raramente incluyen compuestos “orgánicos” en sus explicaciones.

Resulta entonces deseable, en especial en asignaturas introductorias como Química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires, un diseño de contenidos que no sugiera división entre estas especialidades, hasta tanto que, por conveniencia práctica, éstas se presenten en cursos más avanzados.

A partir del año 1999 y luego de haber dictado el curso de Química del CBC sin incluir contenidos de química “orgánica”, la Cátedra de Química consideró necesario incorporar al currículum de la asignatura contenidos elementales relativos a los compuestos de carbono. Se incluyó entonces como último tema de la asignatura una unidad denominada “Nociones de Química Orgánica”, que abordaba la nomenclatura, las familias de compuestos, los grupos funcionales, la isomería y la

relación entre la estructura submicroscópica y las propiedades macroscópicas de las sustancias. Esta secuencia didáctica sólo habilitaba la ejemplificación con especies inorgánicas durante el dictado de las unidades temáticas previas de enlaces químicos, fuerzas intermoleculares, geometría molecular y propiedades macroscópicas. Esta organización temática subsiste, aún hoy, en textos y cursos de Química General.

En un intento de ajustar los tiempos de clase dedicados a cada tema, se pidió a 97 docentes de la Cátedra de Química del CBC que asignaran prioridades a cada uno de ellos, comparando todos los temas entre sí. Los resultados obtenidos mostraron claramente el conflicto presente sobre el tema “química orgánica” aun entre los docentes (Roverano *et al.*, 2004). Fue éste el tema que tuvo mayor dispersión en la asignación de prioridades, lo cual en cierta medida reflejaba la inconsistencia del dictado con esas características y la tensión originada en la propia formación disciplinar.

Posteriormente se modificó el programa del curso y se creó una nueva unidad temática llamada “Compuestos Inorgánicos y Compuestos del Carbono”. Esta unidad se ubicó a la mitad del programa de la materia, a continuación de “Uniones Químicas” y antes de “Geometría Molecular y Fuerzas Intermoleculares”; aun así, los ejemplos y las actividades desarrolladas no estaban integradas, lo cual no permitió en esa instancia alcanzar el objetivo de transmitir una visión integral de la Química de acuerdo con los planteamientos de la Química contemporánea.

Metodología

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se desarrollaron estrategias para que los alumnos perciban a la Química como una disciplina única. La más relevante, realizada en el año 2009, fue la reformulación de la secuencia de contenidos para tratar los compuestos químicos sin realizar diferenciaciones apriorísticas entre compuestos “inorgánicos” y “orgánicos”. Se propuso entonces, e implantó en todos los cursos, la siguiente secuencia de contenidos para el dictado de la asignatura:

- 1) Sistemas materiales.
- 2) Átomos y moléculas.
- 3) Estructura electrónica de los átomos.
- 4) Clasificación periódica de los elementos.
- 5) **Enlaces, compuestos químicos, geometría e interacciones intermoleculares.**
- 6) Soluciones.
- 7) Gases.
- 8) Reacciones Químicas.
- 9) Equilibrio químico y equilibrio ácido-base.

Esta secuenciación permite abordar, en una única unidad temática, todos los tipos de compuestos sencillos y facilita el estudio posterior de las soluciones, los gases, las reacciones químicas más comunes y el equilibrio químico, utilizando ejemplos de diferentes compuestos sin recurrir a la falsa dicotomía “inorgánicos-orgánicos”. Esto resulta particularmente

útil para ejemplificar algunos tipos de reacciones químicas (por ejemplo síntesis, combustión, hidrólisis) y explicar conceptos tan importantes como el comportamiento de ácidos y bases débiles y de soluciones reguladoras.

La unidad 5 se desarrolla durante siete clases (del total de 28 que se dictan en un cuatrimestre en la materia) con la siguiente secuencia:

- a) Símbolos de Lewis.
- b) Electronegatividad.
- c) Enlace metálico, iónico y covalente.
- d) Polaridad de enlace.
- e) Estado de oxidación.
- f) Estructuras de Lewis.
- g) Tipos de compuestos químicos y nomenclatura: binarios, ternarios, cuaternarios, hidrocarburos, compuestos oxigenados y nitrogenados.
- h) Distribución electrónica, geometría molecular: TRePEV.
- i) Polaridad molecular.
- j) Interacciones intermoleculares.
- k) Relación entre estructura y propiedades macroscópicas (punto de ebullición, solubilidad).
- l) Isomería estructural y estereoisomería.

En la unidad temática aludida se desarrollan ideas básicas sobre el enlazamiento químico, que se categoriza en función de valores relativos de las energías de interacción: enlaces intramoleculares e intermoleculares (interacciones intermoleculares, en la enumeración de la secuencia elegida). Se trata de un enfoque (Bruno, 2010) que prioriza la economía de conceptos y prescinde de las formalizaciones de los modelos cuánticos, al tiempo que propicia el análisis del enlace en la totalidad de los tipos de compuestos químicos descritos en el curso. Como base conceptual previa a la introducción del enlazamiento intermolecular, se incluyen herramientas para predecir la geometría de especies químicas sencillas (moléculas o iones) con base en la Teoría de Repulsión entre Pares de Electrones de Valencia (TRePEV) y posteriormente, el análisis de la polaridad molecular. La aplicación de estos marcos teóricos, presentados en conjunto con las diferentes familias de compuestos, puede ejemplificarse con especies con uno o varios átomos que pueden considerarse “centrales”. Así, los alumnos pueden analizar la geometría alrededor de cada átomo de carbono de una cadena, sin necesidad de recurrir, en un curso introductorio, a las conceptualizaciones derivadas de, por ejemplo, la Teoría de Enlaces de Valencia (Gillespie, 2008).

De tal manera, resultan factibles actividades de ejercitación que incluyen, por ejemplo, las enunciaciones siguientes:

- Escribir una estructura de Lewis para cada una de las especies químicas siguientes: óxido de azufre(VI), propilamina, ácido sulfúrico, nitrato de aluminio, etanoato de sodio.
- Predecir si el valor del ángulo de enlace que existe entre los átomos señalados se aproximará a 109°, a 120° o a 180°.
 - a) H–O–C en $\underline{\text{CH}_3\text{OH}}$;
 - b) F–B–Cl en $\underline{\text{BCl}_2\text{F}}$;

- c) C–N–H en $\underline{\text{CH}_3\text{NH}_2}$;
- d) O–S–O en el anión sulfito;
- e) C–O–C en dimetil éter.
- Explicar por qué en la molécula de trietilamina, el ángulo de enlace C–N–C tiene un valor de $109,5^\circ$ mientras que en el amoníaco el ángulo H–N–H tiene un valor de 107° .
- Escribir la ecuación química correspondiente a la reacción ácido base de las especies siguientes:
 - a) fluoruro de hidrógeno,
 - b) HCOOH ,
 - c) ion amonio, y
 - d) CH_3NH_3^+ .

El trabajo en clase y la ejercitación a partir del mismo se basan, como queda implícito en los ejemplos anteriores, en evitar distinciones taxativas entre compuestos “inorgánicos” y “orgánicos”, tratando de enfatizar de esta forma que el concepto del enlazamiento químico es único, y puede ser aplicado al estudio de todos los tipos de compuestos sencillos abordados a lo largo del curso; intencionalmente, los compuestos se identifican por sus fórmulas o por sus nombres, para ejercitar nomenclatura química.

Un tratamiento similar se realizó para abordar el tema de los enlaces intermoleculares, y tanto los ejemplos de aplicación como la ejercitación propuesta siguieron un patrón similar al anterior, como se muestra en los siguientes ejemplos:

- Analizar si los compuestos siguientes son polares:
 - a) SO_3
 - b) SO_2
 - c) $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ (alanina)
 - d) BF_2Cl
 - e) etanal
 - f) SiF_4
- ¿Cuál o cuáles de los compuestos siguientes forman enlaces de hidrógeno con moléculas de agua? ¿Y enlaces ion-dipolo?
 - a) metanol
 - b) Cl_3CH
 - c) KNO_2
 - d) CH_3COCH_3
 - e) NH_4NO_3
 - f) ácido propanoico
 - g) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COO}(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}_3$ (“cera de cachalote”),
 - h) dimetilamina

El trabajo del grupo de investigación constituido por los autores se enmarca en el proyecto “Estrategias activas orientadas a la enseñanza de la Química en el primer curso universitario, basadas en la importancia social de la disciplina”, de la Programación UBACyT 2010-2012. En este contexto, utilizando los cambios mencionados, y para profundizar los conceptos abordados en la asignatura el grupo desarrolló una estrategia didáctica para la cual se crearon puentes de utilización de conceptos centrales con ejemplos cotidianos de aplicación (*tópicos*

de acercamiento) (Di Risio *et al.*, 2009). Esta estrategia fue implementada en una serie de cursos piloto, que constituyeron el 5% del total de cursos de la asignatura, desarrollándose tópicos que recibieron nombres tales como “Las bombas de cobalto”, “El incidente de Fukushima” (Ferenaz, Rusler, Di Risio, 2011), “Bebidas energizantes”, “Materiales con propiedades especiales”, entre otros. Como consecuencia de la incorporación de compuestos sencillos del carbono en la unidad dedicada al estudio del enlace químico, pudieron desarrollarse tópicos que ponen de manifiesto la interrelación entre las subdivisiones arbitrarias de la disciplina, tales como la interacción entre proteínas y moléculas pequeñas y la relación entre la estructura tridimensional de las moléculas y su función biológica. Éstos son de interés particular para un alumnado que en su gran mayoría inicia estudios universitarios en el área de las Ciencias de la Salud.

Resultados y discusión

El uso de la Teoría de Repulsión de Pares Electrónicos de Valencia (TRePEV) para introducir la forma de las moléculas, junto con elementos para describir la polaridad de las mismas, permite explicar propiedades macroscópicas de las sustancias. Al incluir compuestos orgánicos en la aplicación de esos modelos sencillos, se pudieron abordar conceptos aparentemente muy complejos como la relación entre la estructura tridimensional y las propiedades macroscópicas.

La relevancia de este enfoque fue indagada mediante la observación de clases en un curso de Introducción a la Biología General y Molecular dictado para la carrera de Licenciatura en Ciencias Biológicas en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-UBA. La respuesta de los alumnos a preguntas del docente orientadas a los contenidos abordados en el curso de Química del CBC, mostró la importancia de la integración de éstos, en particular los referidos a la interacción entre moléculas y forma de las mismas.

En cuatro cursos piloto se trabajó especialmente en el tema de la relación entre la estructura tridimensional de las moléculas y su función biológica. Para tal fin, se utilizó como material básico de trabajo una publicación (Ghini y Di Risio, 2009) que explica en un lenguaje sencillo los principios fundamentales que rigen la relación estructura-función biológica en moléculas complejas (por ejemplo, entre una hormona esteroidea y la proteína que actúa como receptor biológico). El énfasis fue puesto en la identificación de la geometría, con base en la TRePEV, de los distintos grupos funcionales presentes. Esto fue posible a partir de análisis realizados durante el desarrollo habitual del tema con moléculas más sencillas. Se desarrollaron seminarios de discusión grupales a partir de la lectura del trabajo, y se solicitó a los alumnos que ampliaran en lo posible los temas tratados, mediante una búsqueda bibliográfica y posterior puesta en común en otro seminario desarrollado en una clase posterior.

En otro curso piloto se realizó una actividad de alta dedicación, por el trabajo tanto de los docentes como de los alumnos. El tema convocante fue “¿Cómo actúan las píldoras anti-

conceptivas?” Dicho tópico se planteó de una manera interactiva con los alumnos y durante la discusión del mismo, se utilizaron y profundizaron diferentes conceptos desarrollados, tales como interacciones intermoleculares, forma tridimensional de las moléculas, los compuestos polifuncionales y el rol de los mismos en la Naturaleza. Este curso piloto estuvo integrado mayoritariamente por alumnos que cursaban la asignatura por segunda vez (por fracaso en las evaluaciones formales o por abandono), particularmente desmotivados debido a su mala experiencia previa. El tópico se eligió en vista del mal desempeño de estos alumnos en la evaluación de los conceptos aquí profundizados, en oportunidad de su primera cursada. Antes y después del dictado del tópico se desarrollaron otras actividades especiales: discusión en clase, en grupos, de material preparado especialmente por los docentes (para estos alumnos esta actividad se prefirió a la búsqueda de información por parte de ellos), demostraciones de laboratorio realizadas en la misma aula, análisis de noticias de actualidad elegidas día a día por los docentes, lo cual mejoró la participación de los alumnos en clase. La opinión de los 98 alumnos de dicho curso fue indagada con un cuestionario donde el 85% valoró muy positivamente la metodología propuesta, e inclusive el 68% recomendó enfáticamente que se implementara en todas las comisiones de la Cátedra; esta reflexión nos parece particularmente valiosa, sobre todo por tratarse de alumnos que ya habían cursado la asignatura en todo o en parte, no habiendo logrado anteriormente aprender los conceptos puestos en juego en esta actividad. Si bien los temas elegidos profundizaron a aquellos ejemplificados en la ejercitación básica propuesta en la asignatura, se pudo observar que los alumnos pudieron incorporar adecuadamente esos conceptos, y aproximarse a un conocimiento que habitualmente se adquiere en cursos dedicados a la “química orgánica”, basándose en los contenidos desarrollados en este curso de Química General.

Conclusiones

La experiencia de re-secuenciación de los contenidos del curso de Química General y el énfasis puesto en unificar los conceptos del enlace químico y aplicarlo tanto a moléculas “inorgánicas” como “orgánicas” sin efectuar distinciones taxativas entre las mismas, permitió que los alumnos perciban la unidad de la disciplina desde el nivel inicial. Ello amplió notablemente el alcance de los conceptos fundamentales para explicar las propiedades macroscópicas de compuestos de cualquier tipo, allanando el camino para que los alumnos los incorporen en su primera asignatura disciplinar más significativamente. La re-secuenciación posibilitó además la realización, en cursos piloto, de actividades didácticas positivamente motivadoras que incorporaron contenidos especialmente orientados a las Ciencias de la Salud, área de conocimiento elegida por el 80% del alumnado de esta materia masiva.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el marco de la Programación UBACyT 2010-2012 de la Universidad de Buenos Aires (Proyecto 20020090200046). Los autores desean agradecer a los revisores por sus valiosas sugerencias.

Referencias

- Biot, J. B., *Bull. Soc. Philomat.*, 190-192, 1815, citado en *Optical Rotatory Power*, T. M. Lowry (p. 20). Londres: Ed. Longmans, Green & Co., 1935.
- Brown, L., Le May, H. y Bursten, B., *Química, la ciencia central*. Ciudad de México, México: Pearson Educación, 2004.
- Bruno J., *Apuntes sobre el enlace químico*, 1ª edición, Ed. CCC Educando, Buenos Aires, 2010.
- Corey, E.J., Cheng, Xue-Min, *The Logic of Chemical Synthesis*, Nueva York, U.S.A.: John Wiley and Sons, Inc., 1995.
- Chang, R., *Química*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill Interamericana, 2007.
- Di Risio, C., Bruno, J., Ghini, A., Guerrien, D., Rusler, V., Velleiro, A., Acciones orientadas a trabajar las representaciones acerca de la Química de los alumnos de un primer curso universitario, *Primer Congreso Internacional de Pedagogía Universitaria*. Secretaría de Asuntos Académicos de la Universidad de Buenos Aires, 621-626, 2009.
- Ghini, A.A. y Di Risio, C.D., La forma hace a la función, *Q.e.d.*, 3, 5-12, 2009.
- Dubós, R., *Pasteur y la ciencia moderna*, Colección Ciencia Joven (p. 27). Buenos Aires: Ed. Eudeba, 1962.
- Ferenaz, G., Rusler, V., Di Risio, C., Tópicos de Acercamiento: El incidente radiológico de Fukushima. En: Ana Bedoya (Ed): *7as. Jornadas de Material Didáctico y Experiencias Innovadoras en Educación Superior*. (1 CD ROM, ISBN 978-950-29-1299-8). Buenos Aires, 2011.
- Gillespie, R. J., Fifty years of the VSEPR model, *Coordination Chemistry Reviews*, 252, 1315-1327, 2008.
- McMurry, J., *Organic Chemistry*, Belmont, U.S.A.: Thomson Learning Inc., 2008a. *Ibid*, pág. 2, 2008b.
- Nobel Prize in Chemistry. Laureates. Consultada por última vez en junio 22, 2011, en la URL <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/index.html>
- Petrucci, R., Harwood, W., Herring, F. *Química General*. Madrid, España: Pearson Educación, 2003.
- Roverano, M., Guerrien, D., Angelini, M. C., Baumgartner, E., Landau, L., Lastres, L., Sileo, M., Torres, N., Vazquez, I. Matriz de prioridades: Una herramienta para abordar el conflicto tiempo-contenido en un curso masivo, *Educ. quim.*, 15(3), 286-290, 2004.
- Wade Jr., L.G., *Química Orgánica*. Madrid. España: Prentice Hall, 2004.
- Wheland, G. W., *Advanced Organic Chemistry*. Nueva York, U.S.A.: J Wiley & Sons, Inc., 1949.
- Whitten, K., Davis, R., Peck, M. y Stanley, J. *Chemistry*. Florence, U.S.A.: Cengage Learning Inc., 2010.