

El Carbono Hexavalente. Un Nuevo Descubrimiento a ser enseñado en Química Orgánica

Alexander Castillo¹
alernald@gmail.com

Marina Ramírez²
marina.ramirez@hdes.luz.edu.ve

Rosa Ferrer³
rosaferrer26@gmail.com

Universidad del Zulia
Venezuela

Recibido: Septiembre, 2017
Aceptado: Marzo, 2018

RESUMEN

La química como ciencia no deja de sorprender con sus nuevos descubrimientos y, más aún, cuando se piensa que todas las teorías científicas están completamente descritas. El objetivo del presente estudio fue describir cómo se debe enseñar, en el contexto educativo, el nuevo descubrimiento de la hexavalencia del átomo de carbono. Se aplicó la ruta epistemológica racional deductiva, utilizando el método del análisis de contenido para derivar una matriz de caracterización, donde se realiza la descripción del carbono tetravalente y hexavalente. Entre las conclusiones más resaltantes del estudio se tiene que la enseñanza de la hexavalencia del átomo de carbono debe ser incluida en la episteme de docentes y estudiantes, mediante la aplicación de estrategias que permitan comprender la posibilidad del átomo de carbono de formar más de cuatro enlaces en los compuestos orgánicos.

Palabras clave: hexavalencia del carbono, enseñanza de la química, estrategias de enseñanza.

¹ Lcdo. en Educación mención Química. MSc. en Enseñanza de la Química. Doctor en Ciencias de la Educación. Profesor Agregado de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad del Zulia. Miembro del Comité Académico del Programa de Maestría en Enseñanza de la Química de la Universidad del Zulia.

² Lcda. en Educación, mención Biología y Química. Área Química. Mg. en Ciencias de la Educación. Mención Planificación y Administración Educativa. Profesora Titular de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad del Zulia

³ Lcda. en Educación mención Biología y Química. Área Química. Doctora en Química de Medicamentos. Profesora Titular de la Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad del Zulia. Miembro del Comité Académico del Programa de Maestría en Enseñanza de la Química de la Universidad del Zulia.

Hexavalent carbon. A new discovery to be taught in Organic Chemistry

Alexander Castillo
alernald@gmail.com

Marina Ramírez
marina.ramirez@hdes.luz.edu.ve

Rosa Ferrer
rosaferrer26@gmail.com

Universidad del Zulia
Venezuela

Received: September, 2017

Accepted: March, 2018

ABSTRACT

Chemistry as a science is constantly surprising us with its new discoveries, and even more so when it is thought that all scientific theories have been fully described. The objective of this study was to explain how the new discovery of the hexavalence of the carbon atom should be taught, in the educational context. The rational deductive epistemological approach was applied, using content analysis as a methodological key tool to derive a characterization matrix, where the description of tetravalent and hexavalent carbon is made. Among the most important conclusions reached in this study is the need to incorporate the teaching of the hexavalence of the carbon atom to the episteme of teachers and students, by applying strategies to understand the possibility of the carbon atom forming more than four bonds in the organic compounds.

Keywords: carbon hexavalence, teaching chemistry, teaching strategies.

O carbono hexavalente. Uma nova descoberta da Química Orgânica, para ensinar

Alexander Castillo
alernald@gmail.com

Marina Ramírez
marina.ramirez@hdes.luz.edu.ve

Rosa Ferrer
rosaferrer26@gmail.com

RESUMO

A Química como ciência não deixa de surpreender com suas novas descobertas e mais ainda quando se pensa que todas as teorias científicas estão completamente descritas. O objetivo do presente estudo foi descrever como deve ser ensinado a nova descoberta da hexavalência do átomo de carbono no contexto educativo. Aplicou-se a rota epistemológica racional dedutiva, utilizando como substância metodológica a análise de conteúdo para derivar uma matriz de caracterização, onde se realiza a descrição do carbono tetravalente e hexavalente. Entre as conclusões mais ressaltantes do estudo tem-se que o ensino da hexavalência do átomo de carbono deve ser incluída na episteme de docentes e estudantes, mediante o aplicativo de estratégias que permitam compreender a possibilidade do átomo de carbono de formar mais de quatro enlaces nos compostos orgânicos.

Palavras-chave: hexavalência do carbono, ensino da química, estratégias de ensino.

Introducción

La Química como ciencia no deja de sorprender con sus nuevos descubrimientos y más aún cuando se piensa que todas las teorías científicas que la fundamentan están completamente descritas. El objetivo del presente estudio fue describir cómo se debe enseñar el nuevo descubrimiento de la hexavalencia del átomo de carbono en el contexto educativo de la química orgánica.

El estudio, desde el punto de vista teórico, busca promover la actualización de los contenidos curriculares que se imparten en los programas de química de los distintos niveles y modalidades del sistema educativo venezolano, así como los libros de textos con respecto al número máximo de enlazamientos que puede presentar el átomo de carbono en los compuestos orgánicos.

La hexavalencia del átomo de carbono es un descubrimiento que se comenzó a reportar, desde principios del 2017, en diferentes revistas científicas como *Le Scienze*. En el contexto de la era de la información, dónde esta es el principal insumo de construcción y cohesión social, esta investigación contribuye a divulgar el nuevo descubrimiento de la química orgánica en los escenarios educativos, dirigiendo sus esfuerzos especialmente a docentes y estudiantes de química.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio utiliza el enfoque de investigación racional deductivo, poco aplicado en las ciencias de la educación, esto con miras a afirmar la relevancia de dicho enfoque investigativo, el cual permite generar o construir teoría científica.

Desarrollo

En la educación actual, los docentes de química están acostumbrados a describir el átomo de carbono como tetravalente, situación que es de esperarse en virtud del establecimiento de la teoría estructural de Friedrich August Kekulé von Stradonitz, Archibald Couper y Aleksandr Mijáilovich Bútlarov surgida entre los años 1858 y 1861, en la cual se propone que el átomo de carbono forma cuatro enlaces en sus compuestos.

La teoría estructural fue ampliada en 1874 por Jacobus Henricus van't Hoff y Joseph Achille Le Bel, químicos que, trabajando independientemente, representaron fórmulas en tres dimensiones y demostraron que los cuatro enlaces del carbono en el metano (CH_4), uno de los compuestos orgánicos más simple, están ordenados de tal forma que apuntan hacia las esquinas de un tetraedro regular, con el átomo de carbono en el centro tal como se señala en la figura 1.

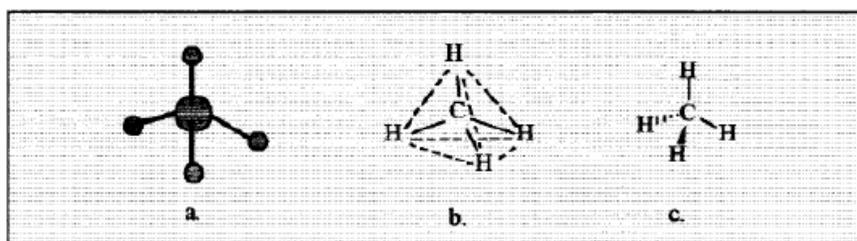


Figura 1. Fórmulas en tres dimensiones de los cuatro enlaces del metano. a) Modelo de bolas y varillas del metano b) metano proyectado del tetraedro c) proyección tridimensional del metano. El enlace de trazos gruesos sale del plano del papel, el de trazo interrumpido está por detrás. Fuente: Jaramillo, L. (2001). *Curso de Química Orgánica General*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. [Versión Adobe Digital Editions].

Así pues, muchos libros de texto de química general y química orgánica utilizados por los docentes, así como estudiantes en los distintos niveles y modalidades del sistema educativo venezolano, describen al carbono como tetravalente. Sin embargo, Malischewski y Seppelt (2017), químicos de la Universidad Libre de Berlín, señalan que el carbono además de ser tetravalente, también es hexavalente, confirmando la existencia de un compuesto en el que un átomo de carbono se liga a otros seis carbonos, tal como se observa en la figura 2.

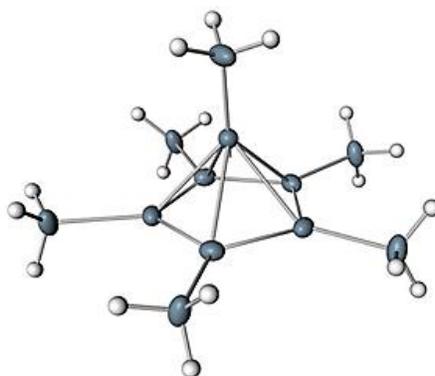


Figura 2. Hexavalencia del carbono. Fuente: Le Scienze. (24 de enero de 2017). Carbono-carbono: seis enlaces químicos nunca observados hasta ahora. *Investigación y Ciencia*. Recuperado de: <http://www.investigacionyciencia.es/noticias/carbono-carbono-seis-enlaces-quimicos-nunca-observados-hasta-ahora-14951>

Tal como se observa en la figura 2, existe una nueva forma de enlazamiento del átomo de carbono. En la molécula sintetizada por Malischewski y Seppelt (2017), un átomo de carbono ionizado se une a otros seis átomos de carbono, situándose

en el vértice de una pirámide de base pentagonal y ligándose a otro átomo del mismo tipo en el lado opuesto.

Ahora bien, la formación pedagógica disciplinar que hasta ahora han recibido tanto los estudiantes en los diferentes niveles y modalidades del sistema educativo venezolano y de otros países, cómo los profesionales en diversas (que incluyen, a saber: licenciados en química; licenciados en educación, mención biología y química; licenciados en educación, mención ciencias biológicas; licenciados en educación, mención química; médicos; bioanalistas e ingenieros químicos) es que el átomo de carbono sólo forma compuestos con hasta cuatro enlaces covalentes, excluyendo el reciente descubrimiento de Malischewski y Seppelt (2017), sobre la hexavalencia del átomo de carbono en los compuestos orgánicos.

Esta situación se convierte en un nuevo reto para los educadores y estudiantes, quienes deben incluir una nueva concepción, como lo es la hexavalencia del átomo de carbono, la cual debe coexistir con la visión tetraédrica de los compuestos orgánicos, siendo un desafío novedoso a los planteamientos de la teoría estructural clásica.

De acuerdo con Galagovsky (2007), Castillo, Ramírez y Sánchez (2016), el desconocimiento del contenido disciplinar genera una enseñanza inadecuada del mismo, por lo que la capacitación docente y actualización de los saberes científicos debe ser parte de la formación permanente, siendo necesaria la enseñanza de los descubrimientos y avances científicos. Esto también es señalado por Weissmann (2002), al señalar que uno de los principales obstáculos, en el momento de enseñar,

es la falta de dominio y actualización de los docentes con relación a contenidos escolares.

En investigaciones realizadas por González (2009), se refiere que la episteme de los docentes de ciencias naturales condiciona la enseñanza, por lo que es necesario que estos actores del quehacer educativo incluyan las actualizaciones de las teorías científicas de su disciplina particular, para que los estudiantes reciban una formación educativa acorde a las innovaciones del conocimiento científico. El objetivo del presente estudio fue describir cómo se debe enseñar el nuevo descubrimiento de la hexavalencia del átomo de carbono en el contexto educativo de la química orgánica.

Tetravalencia y hexavalencia del carbono

En los libros de texto de química, autores como Chang (2007), Wade (2011), Brown, Lemay, Bursten, Murphy y Woodward (2014), señalan que el átomo de carbono es el elemento central de todos los compuestos orgánicos, presenta un número atómico $Z=6$, por lo tanto posee 6 protones en el núcleo del átomo, pero como el átomo es eléctricamente neutro, la cantidad de protones debe ser igual a la de los electrones, por ello tiene 6 electrones, dos de ellos ocupan el orbital 1s, otros dos ocupan el orbital 2s y los dos restantes ocupan los orbitales 2p. La configuración electrónica del átomo de carbono se representa como: $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$. Sin embargo, esta configuración también suele representarse como $1s^2 2s^2 2p^2$, en el estado fundamental.

En el estado excitado del átomo de carbono, la distribución de sus electrones involucra la promoción de uno de sus electrones del orbital 2s al orbital 2p_z, generando la siguiente configuración electrónica: $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$, disponiendo de cuatro electrones de valencia para ser utilizados en la formación de enlaces covalentes. Por lo que el átomo de carbono es tetravalente.

De acuerdo con Chang (2007), Wade (2011), Brown, Lemay, Bursten, Murphy y Woodward (2014), al escribir estructuras de Lewis sólo se representan los electrones de valencia. Así el átomo de carbono se representa como se observa en la figura 3:

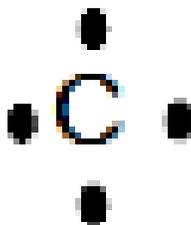


Figura 3. Representación de los electrones de valencia en el átomo de carbono tetravalente. Fuente: Jaramillo, L. (2001). *Curso de Química Orgánica General*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. [Versión Adobe Digital Editions].

El carbono con sus cuatro electrones externos, es capaz de formar una gran variedad de enlaces covalentes con otros átomos iguales o diferentes a él (Ver Tabla 1).

Tabla 1.
Posibilidades de formación de enlaces covalentes del átomo de carbono tetravalente

Estructura	Descripción de los tipos de enlaces
	Cuatro enlaces covalentes simples por compartición de sus electrones con otros átomos.
	Un enlace covalente doble y dos enlaces covalentes simples.
	Un enlace covalente triple y uno sencillo. Dos enlaces covalentes dobles.

Fuente: Jaramillo, L. (2001). *Curso de Química Orgánica General*. Santiago de Cali: Universidad del Valle. [Versión Adobe Digital Editions].

Basado en la teoría estructural de Friedrich August Kekulé von Stradonitz, Archibald Couper y Aleksandr Mijáilovich Bútlarov que data de los años 1800, el carbono es tetravalente. Sin embargo en la publicación realizada en *Le Scienze* (2017), se presenta un desafío a los planteamientos de la teoría estructural del átomo de carbono al reseñar los experimentos de Hogeveen y Kwant (1973), científicos de la Universidad de Groningen, en Holanda, quienes ionizaron la molécula de hexametilbenceno (seis átomos de carbono dispuestos en forma de anillo hexagonal con otros átomos de carbono que sobresalen hacia el exterior), cuya fórmula estructural es $[C_6(Me)_6]^{2+}$, al extraerle dos electrones, la molécula, dotada de un exceso de carga positiva, se derrumbó sobre sí misma y creó una especie de pirámide con un átomo de carbono hexavalente, una estructura inestable que solo existe a bajas temperaturas y dentro de líquidos sumamente ácidos.

En razón de lo anterior, tras muchas investigaciones, Malischewski y Seppelt (2017), dieron con un ácido lo bastante potente como para producir unos pocos

miligramos de cristal del compuesto, analizados por medio de método de rayos X. Los datos recogidos han demostrado que se trata de una estructura piramidal con una base pentagonal, su nombre es dicación pentagonal-piramidal de hexametilbenceno, un compuesto orgánico con un átomo de carbono hexavalente, tal como se observa en la figura 4.

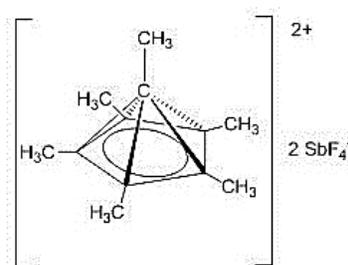


Figura 4. Estructura del dicación pentagonal-piramidal de hexametilbenceno, un compuesto orgánico con un átomo de carbono hexavalente. Fuente: Malischewski and Seppelt (2017).

Comúnmente, se observan estructuras de compuestos orgánicos con átomos de carbono tetravalente, siendo cuatro el número máximo de átomos unidos al carbono. No obstante, las investigaciones de Malischewski y Seppelt (2017), revelan que, en ciertas condiciones experimentales, se puede llevar al carbono a superar el límite de enlazamiento, esto se logra mediante la ionización, proceso en que se extrae del átomo uno o más electrones. En el caso del átomo de carbono para que sea hexavalente se deben extraer dos electrones, generando un dicación o carbono con exceso de dos protones, siendo uno de los más simples el metano

diprotonizado (CH_6^{++}). Esta estructura presenta dos electrones menos, llevando a la formación de enlaces entre el carbono y seis átomos de hidrógeno.

En el contexto educativo, la visión hexavalente del átomo de carbono debe enseñarse, puesto que constituye un nuevo conocimiento científico a ser incluido en la teoría estructural de la química orgánica.

Metodología

Se utilizó la ruta epistemológica racional deductiva fundamentada por Padrón (1998), utilizando como sustancia metodológica el análisis de contenido para derivar una matriz de caracterización, donde se realiza la descripción del carbono tetravalente y hexavalente (Ver Tabla 2), indispensable para el establecimiento de lineamientos para la enseñanza en el contexto educativo.

Tabla 2.
Matriz de caracterización del carbono tetravalente y hexavalente

Subcategoría	Carbono Tetravalente	Carbono Hexavalente
Teoría que lo fundamenta	Teoría estructural (1861).	Experimentos de Hogeveen y Kwant (1973).
Científicos que lo describen	<ul style="list-style-type: none"> Friedrich August Kekulé von Stradonitz. Archibald Couper. Aleksandr Mijáilovich Bútlarov 	<ul style="list-style-type: none"> Moritz Malischewski. Konrad Seppelt
Número de valencia máxima	4	6
Especies químicas que forman	<ul style="list-style-type: none"> Moléculas neutras con cada átomo de carbono tetravalente. Intermediarios reactivos: carbenos, carbocationes y carbaniones. 	<ul style="list-style-type: none"> Dicación o carbono con exceso de dos protones.

La enseñanza de la hexavalencia del átomo de carbono. Un nuevo descubrimiento de la Química Orgánica

La enseñanza de la hexavalencia del átomo del átomo de carbono constituye un desafío para los docentes de Química, puesto que deben actualizar su formación disciplinar para poder enseñar en el aula de clase un nuevo descubrimiento de la Química Orgánica, que refuta los planteamientos de la teoría estructural: la hexavalencia del carbono.

Por lo anterior, se establece un conjunto de lineamientos que permiten enseñar dicho descubrimiento. Estos lineamientos, están dirigidos a los docentes que imparten clases de química en los diferentes niveles y modalidades del sistema educativo venezolano:

- Actualizar sus conocimientos con respecto a la teoría estructural para poder comprender la hexavalencia del átomo de carbono en los compuestos orgánicos mediante revisión y análisis de los postulados de la teoría y los principios de la energía de ionización.
- Reestructurar los planes y programas curriculares, en los cuales se incluya la hexavalencia del átomo de carbono como nuevo contenido curricular.
- Elaborar producciones escritas, para ser discutidas con los estudiantes, en las que se explique el hecho de la hexavalencia del átomo de carbono y el desafío que este descubrimiento científico representa para la teoría estructural, así como discutir la estabilidad de los enlaces de carbono en esta molécula formada.

- Explicar los experimentos de Hogeveen y Kwant, así como la investigación realizada por Malischewski y Seppelt, en relación a la hexavalencia del átomo de carbono.
- Aplicar estrategias para el aprendizaje que permitan comprender a los estudiantes la existencia de compuestos orgánicos tanto tetravalentes como hexavalentes. Entre las estrategias se recomiendan las de representaciones de conocimiento como maquetas, esquemas, cuadros, tablas, mapas conceptuales, mapas mentales, lecturas, exposiciones y juegos didácticos.
- Utilizar recursos para la generación de aprendizaje escolar, entre ellos: impresos o textuales (esquemas, resúmenes, diagramas, textos, láminas y material de estudio), los recursos visibles no proyectados como: pizarra clásica, murales, posters, fotografías, dibujos; los recursos proyectados (diapositivas y películas); recursos de audio (programas de radio, discos, entre otros), los audiovisuales (películas, programas de TV y videos) y las tecnologías de información y comunicación (TIC).

Todos estos lineamientos se recogen en la figura 5, en la que se resumen los aspectos relevantes para la enseñanza de la hexavalencia del átomo de carbono en el escenario educativo.

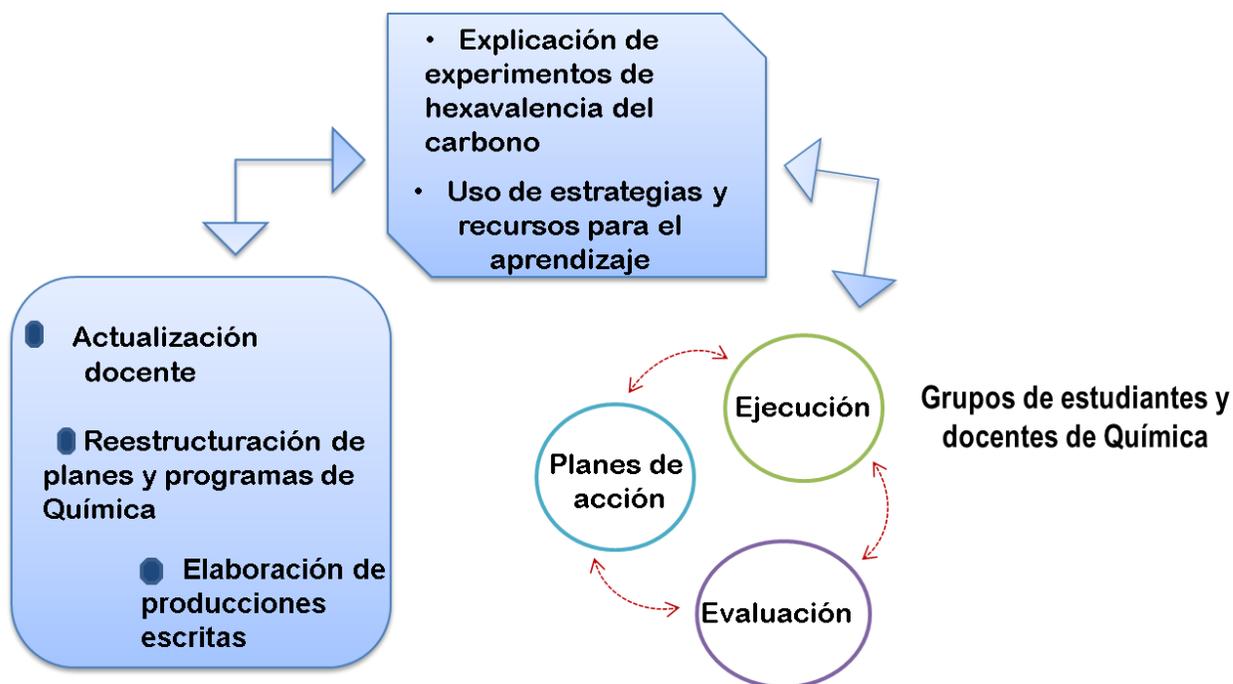


Figura 5. La enseñanza de la hexavalencia del átomo de carbono en el escenario educativo.

Conclusiones

Entre las conclusiones más resaltantes del estudio se tiene que la enseñanza de la hexavalencia del átomo de carbono debe ser incluida en la episteme de docentes y estudiantes mediante la aplicación de estrategias que permitan comprender la posibilidad del átomo de carbono de formar más de cuatro enlaces en los compuestos orgánicos.

Asimismo, se debe incluir en los programas de estudio de Química Orgánica el contenido relativo a la hexavalencia del átomo de carbono, como nueva posibilidad de unión y formación de compuestos orgánicos coordinados. Por otro lado, la actualización de los docentes de química y los libros de textos, en la que se describa la forma en como el átomo de carbono puede ser hexavalente. Por último,

el descubrimiento de la hexavalencia del átomo de carbono involucra un desafío a los postulados de la teoría estructural de Kekulé, Couper y Aleksandr y Bútlarov.

Referencias

- Brown, T; Lemay, H; Bursten, B; Murphy, C y Woodward, P. (2014). *Química. La Ciencia Central*. México: Pearson.
- Castillo, A; Ramírez, M y Sánchez, J. (2016). Formación permanente de docentes de Química en Educación Media desde una perspectiva integradora. *Revista Omnia. XXII (2)*, 25-36.
- Chang, R. (2007). *Química*. México: Mc Graw Hill.
- Galagovsky, L. (2007). Enseñar química vs aprender química: Una ecuación que no está balanceada. *Revista Química Viva. Número especial (6)*, 1-13.
- González, M. (2009). *La generación de conocimiento científico en el aula. Una explicación teórica de la práctica pedagógica*. (Tesis doctoral inédita). Universidad del Zulia, Maracaibo.
- Hogveen, H and Kwant, PW. (1973). Direct observation of a remarkably stable dication of unusual structure: $(CCH_3)_6^{2+}$. *Tetrahedron Letters. XIV (19)*, 1665–1670.
- Le Scienze. (2017). *Carbono-carbono: seis enlaces químicos nunca observados hasta ahora*. Recuperado de <http://www.investigacionyciencia.es/noticias/carbono-carbono-seis-enlaces-quimicos-nunca-observados-hasta-ahora-14951>.

- Malischewski, M and Seppelt, K. (2017). Crystal Structure Determination of the Pentagonal-Pyramidal Hexamethylbenzene Dication $C_6((CH_3)_6)^{2+}$. *Angewandte Chemie International Edition*. LVI (1), 368–370.
- Padrón, J. (1998). *Esquemas formales de los procesos de investigación*. [Monografía]. Recuperado de <http://www.entretemas.com>.
- Wade, L. (2011). *Química Orgánica. Volumen 1*. México: Pearson.
- Weissmann, H. (2002). *Didáctica de las ciencias naturales. Aportes y reflexiones*. Buenos Aires: Paidós.