



Cómics para el aprendizaje de la espectroscopia infrarroja

Comics in learning infrared spectroscopy

Alberta Lourdes Castillo-Granada,^{1*} Oscar Saúl Ríos-Calderón,¹ Rodrigo Soto-Páez,¹ Teresa Benítez-Escamilla¹ y David Atahualpa Contreras-Cruz^{1,2*}

Recepción: 24-07-2020
Aceptación: 09-01-2021

Resumen

En este trabajo se diseñó un material didáctico -cómico- como apoyo en el proceso de aprendizaje de la espectroscopia en el infrarrojo, para alumnos de las licenciaturas en Química Farmacéutica Biológica, Ingeniería Química y Biología. En los cómics se abordan de manera concreta los fundamentos teóricos acerca de lo que es la espectroscopia, la radiación infrarroja y cómo ésta última interactúa con las moléculas orgánicas; además de los principios básicos que permitieron a los estudiantes iniciar la interpretación de un espectro en el infrarrojo. Mediante un cuestionario de evaluación aplicado a 118 alumnos que leyeron los cómics, seguido de un análisis estadístico de los datos, se determinó que el material didáctico presentado influyó significativamente de manera positiva en el proceso de aprendizaje de los alumnos.

Palabras clave

Cómics, espectroscopia, infrarrojo medio, material didáctico, enseñanza.

Abstract

In this work a didactic material -comic- was developed for supporting the learning process of infrared spectroscopy, for students of the bachelor degrees in Biological and Pharmaceutical Chemistry, Biology and Chemical Engineering. The comics showed the theoretical foundations about what spectroscopy and infrared radiation are, and how the latter interacts with organic molecules. In addition, the basic principles that allow students to begin the interpretation of an infrared spectrum are presented. Through an evaluation questionnaire applied to 118 students who read the comic, followed by a statistical analysis of the data, it was determined that the didactic material presented had a significant positive influence on the group of student's learning process.

Keywords

Comics, spectroscopy, mid-infrared, teaching materials, teaching

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 09230, México. *Contacto: lourdescastillo134@gmail.com

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad La Salle México, Benjamín Franklin 45, Condesa, Ciudad de México, 06140, México. *Contacto: atahualpa_c@comunidad.unam.mx

Introducción

La espectroscopia es una área que forma parte de la química analítica, está constituida por varias técnicas de análisis instrumental que incluyen en su aplicación métodos basados en la interacción de la radiación electromagnética con la materia, teniendo como objetivo identificar la estructura o determinar la concentración de moléculas orgánicas e inorgánicas presentes en una muestra de interés particular (Silva *et al.*, 2018; Silverstein, 1998).

Dentro de las técnicas de análisis instrumental, la espectroscopia en el infrarrojo (IR) tiene su aplicación en la identificación de los grupos funcionales presentes en las moléculas orgánicas. Es esencial en varias áreas de la química como son la síntesis orgánica, ciencia de los materiales, agricultura, biotecnología, ciencias de la tierra, de la atmósfera, control medio ambiental, industria alimentaria, química forense, industria del petróleo, industria farmacéutica, industria textil, entre otras; con la ventaja de ser un procedimiento no destructivo y emplear muestras en estado líquido, sólido o gaseoso (Stuart, 2004; Vosegaard, 2018).

La espectroscopia en el infrarrojo es una técnica de determinación estructural clave, por lo cual no es sorprendente que muchos libros de texto de química orgánica le dediquen al menos un capítulo a este método de caracterización (Connor, Finkenstaedt-Quinn, & Shultz, 2019).

En la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES-Z UNAM), en el Plan de Estudios de las carreras de Química Farmacéutica Biológica, Ingeniería Química y Biología, a partir del tercer hasta el noveno semestre se imparten laboratorios que incluyen en su trabajo docente el estudio de moléculas orgánicas a través del análisis e interpretación de un espectro en el infrarrojo, esta aplicación continúa en diversos proyectos de servicio social y tesis; sin embargo, no se tiene considerado en el currículo escolar de las carreras a la enseñanza de la espectroscopia en el infrarrojo como una asignatura formal, por lo que se hace necesario buscar alternativas para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en esta área del conocimiento, explorando estrategias novedosas a través de la generación de materiales didácticos que fortalezcan el aprendizaje de esta técnica analítica y su vinculación a problemas reales.

En la enseñanza en el IR se han probado varias aproximaciones, las cuales incluyen el uso de un modelo físico de bolas y resortes que permite a los alumnos entender conceptos básicos de la técnica, tales como la naturaleza de las vibraciones de tensión y flexión de enlaces (Wright & Oliver-Hoyo, 2019).

Se ha presentado también un modelo mecánico interactivo que muestra de manera separada las vibraciones de los átomos presentados como bolas plásticas, para describir las absorciones características de la molécula de benzocaína; tal dispositivo ocupa motores eléctricos que generan el movimiento de las esferas (Hartman, 1976).

Con el avance de los métodos computacionales, la técnica del modelado molecular de compuestos organometálicos, también se ha aprovechado para la enseñanza de la espectroscopia en el IR (Wang, 2012). Adicionalmente, un enfoque simple de enseñanza que utiliza reglas heurísticas ha sido propuesto para facilitar la identificación de ciertos grupos funcionales en el IR, y de esa manera evitar que los estudiantes comparen continuamente el espectro problema con las tablas de referencia (McMinn, 1984). Finalmente, se ha propuesto un enfoque de enseñanza del IR basado en la indagación y el descubrimiento, que se apoya en tarjetas y fichas fácilmente manipulables como herramienta visual (Bennett & Forster, 2010).

Por otro lado, las ilustraciones y los modelos visuales son de vital importancia para el aprendizaje de las ciencias en general, y de manera particular de la química, ya que parece ser casi imposible estudiarla sin la ayuda de imágenes, debido a que la *ciencia central* es una ciencia visual. Algunos autores han puntualizado el hecho de que la combinación de ilustraciones con texto es especialmente benéfica para el aprendizaje, ya que se fomenta la codificación dual de los contenidos (Dickmann, Opfermann, Dammann, Lang, & Rumann, 2019).

Debido a la importancia de los elementos visuales en el aprendizaje, es que las caricaturas se han utilizado en la enseñanza de la química, debido a que promueven un genuino interés de los estudiantes en el salón de clases, a la vez que facilitan la presentación de nuevas ideas, conceptos y actitudes. Se ha mencionado que una simple imagen puede cambiar la dinámica de un grupo de alumnos inyectando humor en la clase (Kennepohl & Roesky, 2008).

Los libros de cómics son una fuente de entretenimiento para jóvenes y adultos, pilares en la cultura popular, muchos de ellos son obras con excelente trabajo artístico y que contienen un fuerte valor nostálgico para los coleccionistas; aunque también pueden ser un recurso de información accesible para distintos temas, incluyendo a la ciencia química (Carter, 1988; Farinella, 2018). Por medio de los cómics se ha ilustrado la vida de grandes químicos como Joseph Priestley, Dmitri Mendeleev y Antoine Lavoisier, así como sus valiosas aportaciones (Carter, 1989). Los cómics también se han utilizado para enseñar temas de seguridad en el laboratorio de química, con personajes como Flash y Batman como los protagonistas (Di Raddo, 2006). El uso de cómics y fotocómics para dar instrucciones experimentales en laboratorios de química también está documentado (Affeldt, Meinhart, & Eilks, 2018; Zeiner, Viehauser, & Steiner-Friedmann, 2019).

Adicionalmente, se han descrito las bondades de realizar reacciones en microescala en un laboratorio de química utilizando el popular cómic de Archie (Szafran, Pike, & Singh, 1994), lo que generó gran interés en la comunidad universitaria y académica. Finalmente, el manga -un género japonés de novela gráfica similar al cómic americano- se ha utilizado para enseñar temas de seguridad en manejo de sustancias químicas, en universidades de Japón, Taiwán y Tailandia (Kumasaki *et al.*, 2018).

En el pregrado resulta importante iniciar con la caracterización de la estructura molecular como una práctica fundamental de la química orgánica, que generalmente se logra a través del análisis espectroscópico, donde la espectroscopia infrarroja es una técnica de análisis instrumental de gran utilidad, que además tendrá repercusión en el desarrollo profesional de los futuros egresados (Silva *et al.*, 2018). La interpretación y análisis de un espectro en el infrarrojo es un aspecto inherente de esta práctica, pero a pesar de su importancia es poca la atención que se da a este proceso; tal problemática muchas veces se origina dada la naturaleza compleja de la interpretación espectral. Para que los estudiantes interpreten correctamente un espectro en el infrarrojo deben conocer la estructura y propiedades electrónicas de los grupos funcionales, así como hacer uso de las tablas de referencia, y finalmente, comprender cómo interactúan las moléculas con la radiación electromagnética (Connor, *Op. Cit.*).

El aprendizaje de la espectroscopia en el IR requiere del diseño de nuevas estrategias educativas que sean atractivas visualmente y que permitan a los estudiantes de química razonar y aplicar sus conocimientos de espectroscopia para la interpretación de espectros de IR reales; esto con la intención de que se sientan motivados a continuar desarrollando esta área de estudio. En el presente trabajo se utilizaron a los cómics como un recurso

didáctico para facilitar el aprendizaje de la espectroscopia en el IR, principalmente en alumnos de la carrera de Química Farmacéutica Biológica (QFB), pero también en las carreras de Ingeniería Química y Biología de la FES-Z UNAM.

Metodología

Diseño del cómic

Para el diseño del material didáctico (cuadernillo de comics), se consideraron aspectos básicos de la espectroscopia en el infrarrojo e interpretación de los espectros. Fueron diseñados mediante la plataforma en línea Pixton (Goodinson & Goodinson, 2008-2020) de origen canadiense, registrando una cuenta para profesorado. Se eligió dicha plataforma por ser una poderosa herramienta de escritura visual accesible desde cualquier navegador web (Lee, 2013). La facilidad con la que se puede trabajar en la plataforma Pixton permitió generar tres cómics con los siguientes títulos: 1. “¿Qué es la espectroscopia infrarroja?”, 2. “La radiación infrarroja y las moléculas orgánicas” y 3. “Interpretación de espectros en el infrarrojo”.

Cada uno de los capítulos se escribió utilizando continuas “rupturas de la cuarta pared” en las viñetas (Miller, 2014); es decir, diálogos de tipo personaje-lector, ocupando el lenguaje técnico -cuando se requirió- y manteniendo un trato informal en los diálogos de los personajes hacia el lector, como una estrategia para conseguir la confianza e interés de los estudiantes en el material didáctico.

Para facilitar el acceso del material a los alumnos, los tres capítulos se organizaron en un cuadernillo, del cual se imprimieron 1000 ejemplares, que fueron distribuidos a estudiantes y profesores de tercer a noveno semestre de la carrera de QFB de acuerdo con la demanda, como un apoyo a los proyectos de docencia que requieren de la espectroscopia en el IR. Los tirajes posteriores fueron distribuidos ocasionalmente a otras carreras como Ingeniería Química y Biología. Es importante mencionar que los cómics pueden consultarse y descargarse en línea de manera libre por cualquier persona interesada (Castillo-Granada *et al.*, 2017).

Cabe señalar que el material didáctico fue evaluado y aprobado por el Comité Académico de la Carrera de QFB, antes de realizar su impresión y distribución.

Diseño de los cuestionarios

Con la finalidad de evaluar el impacto del cómic en el aprendizaje de los estudiantes, se diseñaron dos cuestionarios, contando con la participación de un grupo de tres profesores que poseen conocimiento en el tema de la espectroscopia en el infrarrojo.

El primer cuestionario, denominado Prueba A (el cual se aplicó antes de mostrarles el cómic a los alumnos para medir sus conocimientos previos sobre el tema) estaba conformado por una tabla de información (para registrar el semestre y la asignatura que los estudiantes cursaban, y asignarles un número de folio), seguida de una lista con seis preguntas abiertas, que se muestran a continuación:

1. Defina la espectroscopia en el infrarrojo.
2. Menciona al menos 5 aplicaciones de la espectroscopia en el IR.
3. Menciona cómo se llama la región del IR en la que se puede asignar los grupos funcionales de una molécula.

4. ¿En qué tipo de muestras se puede realizar un espectro IR?
5. ¿Cómo está constituido el espectro obtenido al realizar el análisis por IR?
6. ¿Cuáles son las regiones en las que se divide un espectro en el infrarrojo medio?

El segundo cuestionario, denominado Prueba B, (el cual se aplicó a los alumnos después de leer los cómics), estaba conformado por las seis preguntas incluidas en la Prueba A, además de una consulta de opinión que se formuló con el propósito de conocer la percepción de los estudiantes acerca del material didáctico. La consulta de opinión estuvo formada por cinco ítems en una escala tipo Likert, los cuales se muestran a continuación:

1. El uso de este material me motivó a conocer más acerca de la espectroscopia IR.
2. El lenguaje utilizado en el cómic me fue de fácil comprensión.
3. Este material me ayudó a comprender el fundamento de la técnica.
4. Este material es de ayuda para saber qué es un espectro en el infrarrojo.
5. La presentación del tema de espectroscopia IR empleando cómics me ayudó a entender mejor la técnica del IR.

En la consulta de opinión, los estudiantes podían elegir para cada pregunta solo uno de los siguientes cuatro niveles: Totalmente de acuerdo, de acuerdo, en desacuerdo y totalmente en desacuerdo. Adicionalmente, se incluyó un apartado para que los alumnos escribieran comentarios si así lo deseaban.

Aplicación de los cuestionarios

La aplicación de los cuestionarios se llevó a cabo en grupos de alumnos de tercero, cuarto y octavo semestre de la carrera de QFB, en horarios y espacios destinados para la actividad, en el siguiente orden:

1. Se les explicó a los alumnos las características de la Prueba A, para responder se les concedió un tiempo de 10 minutos, después entregaron la prueba al profesor.
2. Se proporcionó el material didáctico a cada estudiante y se concedió un tiempo de 15 minutos para su lectura.
3. Se les explicó a los alumnos las características de la Prueba B, para responder se concedió un tiempo de 10 minutos; finalmente, entregaron la prueba al profesor.

El número de alumnos participantes en la evaluación se describe en la Tabla 1.

Semestre	No. de alumnos
Tercero	39
Cuarto	32
Octavo	47
	<i>n</i> = 118

Tabla 1. Número de alumnos por semestre que contestaron las pruebas.

Evaluación de los cuestionarios

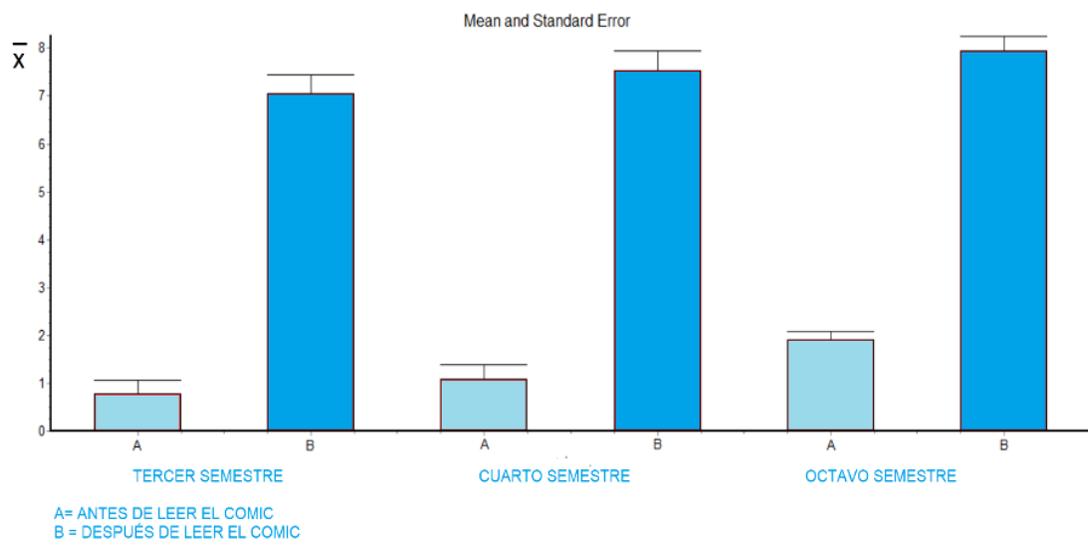
Las Pruebas A y B fueron evaluadas por tres profesores, que cuentan con el conocimiento y experiencia en el área de química orgánica y en especial de espectroscopia en el infrarrojo, utilizando una rúbrica de evaluación que permitió asignar una calificación de 0 a 10 a cada alumno, antes y después de leer el cómic. Las pruebas estadísticas se llevaron a cabo utilizando el software IBM SPSS STATICS V21.

El análisis estadístico para los grupos evaluados utilizando la prueba de Wilcoxon mostró una diferencia significativa positiva en el desempeño de los estudiantes de tercero, cuarto y octavo semestre, después de leer el comic; en todos los casos mejoraron su puntuación en la prueba B. Los resultados se muestran en la Tabla 2 y en la Gráfica 1.

Semestre	Antes de leer el comic	Después de leer el comic
Tercero	n=39 $\mu = 0.785 \pm 0.28$	n=39 $\mu = 7.046 \pm 0.39$ p< 0.0001
Cuarto	n=32 $\mu = 1.094 \pm 0.29$	n=32 $\mu = 7.528 \pm 0.42$ p< 0.0001
Octavo	n=47 $\mu = 1.915 \pm 0.17$	n=47 $\mu = 7.943 \pm 0.31$ p< 0.0001

Tabla 2. Resultados de la prueba de Wilcoxon.

Existe diferencia si $p < 0.05$, con un nivel de confianza del 95%.



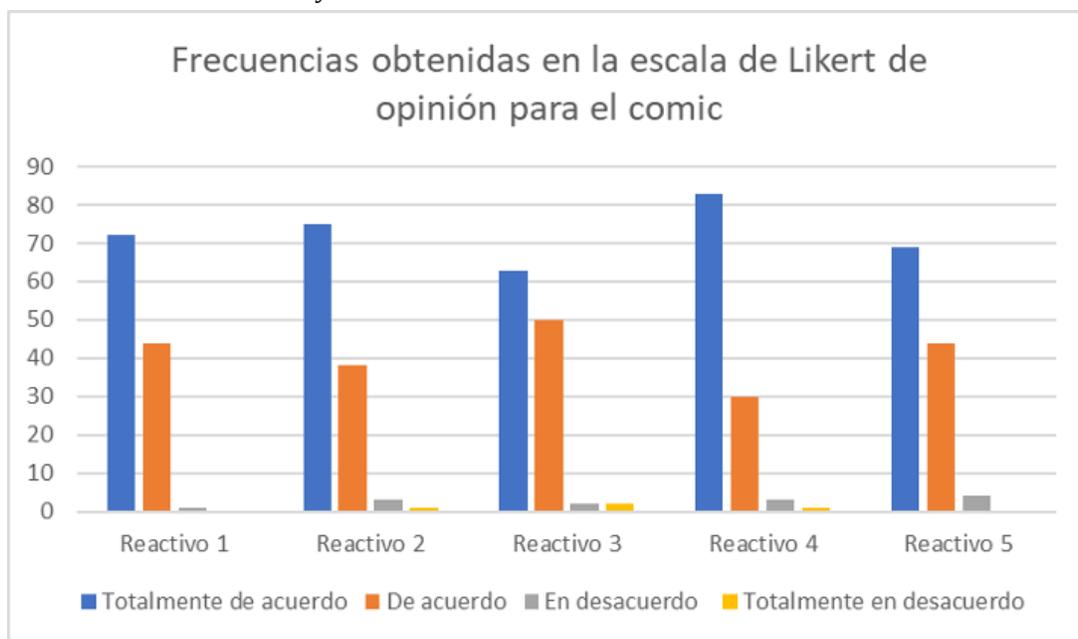
Gráfica 1. Comparativo de la puntuación obtenida por los alumnos para las pruebas A y B, para los distintos semestres.

Los resultados estadísticos sugieren que estos cómics son una herramienta que facilita la adquisición de conocimientos de la espectroscopia infrarroja; mejorando en el corto plazo el desempeño de los alumnos en la prueba escrita. Cabe señalar que los efectos en el aprendizaje a largo plazo no fueron evaluados en este trabajo.

Es importante aclarar que la información contenida en estos cómics no sustituye la asesoría del profesor o la información adquirida de un libro o una revista científica; sin embargo, puede considerarse un valioso apoyo para el fortalecimiento de la búsqueda de información y la adquisición de conocimiento; a la vez que al tratarse de un recurso visual atractivo, podría fomentar el interés de los alumnos por la espectroscopia en el IR.

Con respecto a la percepción de opinión de los alumnos acerca del material didáctico, considerando los siguientes ítems: (1) el uso de este material me motivó a conocer más acerca de la espectroscopia IR, (2) el lenguaje utilizado en el cómic me fue de fácil

comprensión, (3) este material me ayudó a comprender el fundamento de la técnica, (4) este material es de ayuda para saber qué es un espectro en el infrarrojo y (5) la presentación del tema de espectroscopia IR empleando cómics me ayudó a entender mejor la técnica del IR; al agruparlos por frecuencias se obtuvo la Gráfica 2, la cual mostró que las apreciaciones de los alumnos fueron favorables, al encontrarse principalmente dentro de las categorías “Totalmente de acuerdo” y “De acuerdo”.



Gráfica 2. Percepción de los cómics por parte de los estudiantes.

Finalmente, los estudiantes emitieron comentarios favorables respecto al material didáctico, entre los que cabe mencionar: “Explica muy bien los conceptos, me fue de gran ayuda”, “también deberían elaborar un material así de resonancia magnética nuclear” y “me parece que esta estrategia ayuda a digerir mejor la información del curso”.

En un futuro cercano, se contempla la reimpresión de nuevos tirajes del material didáctico, así como llevar a cabo el diseño de un instrumento que permita evaluar el aprendizaje a largo plazo de los alumnos que utilizan el cómic; lo anterior considerando un mayor número de estudiantes involucrados, incluyendo a los alumnos de las Carreras de Ingeniería Química y Biología.

Conclusiones

El análisis estadístico mostró que existe una diferencia significativa entre el desempeño de los estudiantes al realizar las pruebas escritas de conocimientos de espectroscopia en el IR, antes y después de leer el cuadernillo “Cómics como medio de aprendizaje de la espectroscopia de infrarrojo”; lo anterior se traduce en que el material presentado apoya el reforzamiento del conocimiento de la técnica de espectroscopia en el infrarrojo, en el corto plazo; este material didáctico podría resultar de interés para alumnos y profesores de licenciaturas afines al área química. Aunado a que en el contexto actual de la pandemia de Covid-19, la FES-Z UNAM busca la implementación de un modelo educativo híbrido, por lo que este cómic podría ser considerado un recurso valioso para el apoyo al proceso de aprendizaje de la espectroscopia en el IR.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME) de la DGAPA UNAM, con registro PE206115. Los autores agradecen a Edmundo Vázquez Cornejo por su asesoría durante el análisis estadístico.

Referencias

- Affeldt, F., Meinhart, D. y Eilks, I. (2018). The Use of Comics in Experimental Instructions in a Non-formal Chemistry Learning Context. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6, 93-104.
- Bennett, J. y Forster, T. (2010). IR Cards: Inquiry-Based Introduction to Infrared Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 73-77.
- Carter, H. A. (1988). Chemistry in the comics: Part 1. A survey of the comic book literature. *Journal of Chemical Education*, 65(12), 1029.
- Carter, H. A. (1989). Chemistry in the comics: Part 2. Classic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 66(2), 118.
- Castillo-Granada, A. L., Ríos-Calderón, O. S., Soto-Páez, R., Parra-Cervantes, P., Benítez-Escamilla, T., Robles-López, F. y Méndez-Gutiérrez, A. E. (2017). Fortalecimiento de la formación profesional en el análisis instrumental. Cómics como medio de aprendizaje de la espectroscopia de infrarrojo. Consultado en línea el 29 de diciembre de 2020, <https://papimepe206115fesunam.files.wordpress.com/2018/08/espectroscopia-ir.pdf>
- Connor, M. C., Finkenstaedt-Quinn, S. A. y Shultz, G. V. (2019). Constraints on organic chemistry students' reasoning during IR and ¹H NMR spectral interpretation. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(3), 522-541.
- Di Raddo, P. (2006). Teaching Chemistry Lab Safety through Comics. *Journal of Chemical Education*, 83(4), 571.
- Dickmann, T., Opfermann, M., Dammann, E., Lang, M. y Rumann, S. (2019). What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(4), 804-820.
- Farinella, M. (2018). The potential of comics in science communication. *Journal of Science Communication*, 17.
- Goodinson, C. y Goodinson, D. (2008-2020). Pixton. Consultado en línea el 29 de diciembre de 2020, <https://www.pixton.com/es/>
- Hartman, K. (1976). A student operated animated infrared spectroscopy teaching model. *Journal of Chemical Education*, 53(2), 111.
- Kennepohl, D. y Roesky, H. W. (2008). Drawing Attention with Chemistry Cartoons. *Journal of Chemical Education*, 85(10), 1355.
- Kumasaki, M., Shoji, T., Wu, T.-C., Soontarapa, K., Arai, M., Mizutani, T., Okada, K., Shimizu, Y. y Sugano, Y. (2018). Presenting Safety Topics Using a Graphic Novel, Manga, To Effectively Teach Chemical Safety to Students in Japan, Taiwan, and Thailand. *Journal of Chemical Education*, 95(4), 584-592.

- Lee, W. V. (2013). Using Pixton As a Tool in the Classroom. Consultado en línea el 29 de diciembre de 2020, http://etec.cltt.ubc.ca/510wiki/Using_Pixton_As_a_Tool_in_the_Classroom
- McMinn, D. (1984). Introductory use of infrared spectra: A formalized approach. *Journal of Chemical Education*, 61(8), 708.
- Miller, C. H. (2014). Digital storytelling : a creator's guide to interactive entertainment (tercera edición. ed., pp. 15). New York: Routledge: Focal Press.
- Silva, R. O., Freitas, J. C. R., Silva, M. F. R., Silva, P. C. B., Melo, E. J. M. V. C. F. y Freitas Filho, J. R. D. (2018). Development of decision-making competence in courses of spectrometric analysis of organic compounds. *Educación química*, 29, 35-47.
- Silverstein, R. M. y Webster, F. X. (1998). *Spectrometric Identification of Organic Compounds* (6th ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc. .
- Stuart, B. (2004). *Infrared spectroscopy : fundamentals and applications*: Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, NJ : J. Wiley, [2004].
- Szafran, Z., Pike, R. M. y Singh, M. M. (1994). Microscale Chemistry in the Comics. *Journal of Chemical Education*, 71(6), A151.
- Vosegaard, T. (2018). iSpec: A Web-Based Activity for Spectroscopy Teaching. *Journal of Chemical Education*, 95(1), 97-103.
- Wang, L. (2012). Using Molecular Modeling in Teaching Group Theory Analysis of the Infrared Spectra of Organometallic Compounds. *Journal of Chemical Education*, 89(3), 360-364.
- Wright, L. C. y Oliver-Hoyo, M. T. (2019). Supporting the Teaching of Infrared Spectroscopy Concepts Using a Physical Model. *Journal of Chemical Education*, 96(5), 1015-1021.
- Zeiner, M., Viehauser, P. y Steiner-Friedmann, C. (2019). Teaching Laboratories at a Slower Pace: Introduction of Photocomics as Easy-to-Use Laboratory Instructions. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2518-2523.