

Innovación para la enseñanza de la Química

FISIOLOGÍA HUMANA APLICADA A LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA BIOINORGÁNICA

Andrea Fellet¹, Marisa Gabriela Repetto²

1- Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Instituto de Química y Metabolismo del Fármaco (IQUIMEFA, UBA-CONICET), Cátedra de Fisiología. Buenos Aires, Argentina.

2- Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Cátedra de Química General e Inorgánica; Instituto de Bioquímica y Medicina Molecular Prof. Alberto Boveris (IBIMOL, UBA-CONICET). Buenos Aires, Argentina.

E-mail: mrepetto@ffyb.uba.ar

Recibido: 20/09/2021. Aceptado: 11/10/2022.

Resumen. El objetivo de este trabajo es mostrar el diseño de una modalidad de clase orientada hacia una comprensión genuina y significativa de la Química Bioinorgánica relacionando el comportamiento químico de los bioelementos con los procesos fisiopatológicos. Se empleó una estrategia didáctica que permite enseñar la química de los bioelementos mediante actividades organizadas y enmarcadas en la planificación como una secuencia didáctica integradora, asociada a la evaluación formativa y continua de los aprendizajes. Esta estrategia didáctica indujo un mayor interés y una mayor participación de los estudiantes durante la clase. Se observó una comprensión genuina mayor de los contenidos de la química integrados a los procesos fisiopatológicos. La fortaleza de esta experiencia áulica residió en que se propuso integrar los procesos de enseñanza y aprendizaje con un tipo de evaluación diseñada directamente para contribuir y fortalecer estos procesos a través de una sistemática retroalimentación.

Palabras clave. enseñanza de la química, fisiología, hormesis, bioelementos, interdisciplinariedad.

Human physiology applied to the teaching of bioinorganic chemistry

Abstract. The aim of this work is to show the design of a class modality oriented towards a genuine and significant understanding of Bioinorganic Chemistry, relating the chemical behavior of bioelements with pathophysiological processes. A didactic strategy was used that allows teaching the chemistry of bioelements through activities organized and framed in planning as an integrating didactic sequence, associated with formative and continuous evaluation of learning. This teaching strategy induced a greater interest and a greater participation of the students during the class. A greater genuine understanding of the contents of chemistry integrated into pathophysiological processes was observed. The strength of this classroom experience lies in the fact that a type of teaching and learning integrated with evaluation designed directly to contribute to this process and strengthen it, through systematic feedback, was proposed for the teaching of Chemistry.

Keywords. teaching of chemistry, physiology, hormesis, bioelements, interdisciplinarity.



INTRODUCCIÓN

La enseñanza tradicional de la ciencia en general ha insistido en la adquisición de conocimientos por medio del análisis de los hechos y su memorización. Sin embargo, en los últimos años esta se ha modificado de modo tal de establecer y desarrollar nexos entre las diferentes disciplinas estimulando un aprendizaje significativo y relevante de los alumnos (Dávila, 2000).

La Química Bioinorgánica es una ciencia que trata del estudio de la reactividad química de los elementos y de los compuestos inorgánicos en los sistemas biológicos. Si bien el significado epistemológico de la palabra Bioinorgánica parece encerrar una contradicción, se la considera una rama interdisciplinaria de la Química que se ocupa de una serie de problemas ubicados en las interfases entre las ciencias químicas y las ciencias biológicas (Casas, Moreno, Sánchez, Sánchez, Sordó, 2002). Esta concepción errónea de que sólo los elementos clásicos de la química inorgánica tales como carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno eran esenciales para los seres vivos y que los elementos y compuestos inorgánicos no tenían un papel relevante en los procesos vitales se mantuvo durante años. Es en este contexto que se propone una estrategia de enseñanza de la Bioinorgánica partiendo del conocimiento de las funciones biológicas del organismo.

Los elementos inorgánicos cumplen importantes funciones en los seres vivos y están implicados en el control y activación de diversos procesos biológicos fundamentales, así como en el mantenimiento de la estructura y función de las membranas y paredes celulares. La tarea de integrar saberes se ha convertido en una necesidad social en el contexto histórico actual y su finalidad es potenciar en los/las estudiantes estrategias de aprendizaje y estilos de pensamiento acordes. Chacón y col. (2012) proponen que las prácticas de enseñanza de los/las docentes deberían poner el foco en la integración de las diversas disciplinas, con el objetivo de permitir que el/la estudiante pueda construir interrelaciones y comprender la realidad en su carácter multidimensional y complejo. Este tipo de propuesta involucra la integración de saberes y el análisis para la resolución de problemas y transformación social (Rodríguez Palmero, 2004). Varios autores mostraron diversas formas de abordar el problema proponiendo estrategias didácticas y diferentes formas de enseñar química para mejorar la enseñanza y motivar el aprendizaje (Godoy, 2020; Blanco, España y Rodríguez, 2012). Se han propuesto un abanico de métodos con el objetivo de sugerir estrategias didácticas que optimicen la labor docente universitaria. Algunas de las estrategias sugeridas incluyen la indagación en el aula (Caamaño, 2012), tanto de conocimientos previos como de la comprensión e intereses (motivación en el contexto) de los/las estudiantes (Larson, Long y Briggs, 2012; Franco-Mariscal y col., 2012), el aprendizaje basado en problemas (Sanmartí y Márquez, 2017), estudios de caso (Olivares, 2014) e introducción de juegos didácticos para el aprendizaje de los elementos de la tabla periódica (Franco-Mariscal y col., 2016), pero desde el punto de vista disciplinar de la química, sin una mirada hacia el rol de los elementos químicos en la salud y en la fisiología animal, vegetal y humana. No se han encontrado trabajos previos que documenten la sinergia entre estas dos disciplinas para el abordaje de la enseñanza de la Bioinorgánica. Un trabajo publicado en el año

2020 por Rodríguez Revelo y Alarcón Salvatierra documenta los resultados de estudios existentes y llegaron a la conclusión que "existe la necesidad de que todo profesor maneje estrategias didácticas como parte de las habilidades que debe poseer un docente para una mejor práctica en el aula y asegurar aprendizajes significativos en los estudiantes" (p.1).

Actualmente y en la mayoría de las unidades académicas, la enseñanza de los Bioelementos se realiza a través del abordaje clásico, a partir del análisis sistemático de las propiedades periódicas de los elementos, su función y clasificación según su concentración en los seres vivos. Una propuesta innovadora publicada en el año 2012 sugería la enseñanza de la química de los metales de transición a través de un recorrido de los conocimientos previos construidos en Química General, con vistas hacia un enfoque biológico, farmacológico, toxicológico, fisiopatológico que despierta sin lugar a duda el interés de los estudiantes, además de abrirles un panorama aplicable de la química (Repetto, 2012). Sin embargo, en ese trabajo no se proponía la forma de llevarlo a cabo, de relacionar el estudio de los bioelementos con los procesos fisiológicos que estudiarán en otra asignatura, coordinando los contenidos y adelantándose al abordaje de estos.

Es en este contexto que en el aula se debería estimular a los/as alumnos/as promoviendo la incorporación de objetivos actitudinales, la adquisición de destrezas, así como también la incorporación y aplicación de lo aprendido a su vida cotidiana. La satisfacción de comprender lo que se ha vivido permitirá que los alumnos lo puedan explicar mejor.

Por otra parte, la Fisiología también es una disciplina científica básica en el área de las Ciencias de la Salud cuya comprensión une y coordina conocimientos morfológicos, físicos, químicos y biológicos entre otros, lo cual favorece a fundamentar la función de los órganos y sistemas en situaciones normales y patológicas. En la enseñanza de la misma se combinan conocimientos que incluyen contenidos de Anatomía, Física, Química, Matemáticas, Histología, Biología Molecular, etc., por lo cual es comprensible las grandes dificultades que deben vencer los/as alumnos/as para lograr comprender genuinamente una disciplina como la Fisiología. La enseñanza de la Fisiología debe contribuir a fortalecer en el/la estudiante, la aplicación de metodologías científicas, para que sea capaz de formular hipótesis al observar un fenómeno biológico y comprender cómo se genera el conocimiento científico. La enseñanza de la Fisiología tiene como objetivo general el conocimiento de las funciones del organismo, la adquisición de la metodología necesaria para su estudio y el desarrollo de actitudes frente a la conservación de la salud y el tratamiento de la enfermedad a la que se enfrentará el estudiante en diferentes instancias de su vida. La Química Bioinorgánica se centra, fundamentalmente, en estudiar las funciones de los metales en los seres vivos y este conocimiento conecta directamente con el bienestar y la salud de las personas a través de los biomateriales como así el diagnóstico y el tratamiento de dolencias como el cáncer y las enfermedades neurodegenerativas, pero también a través de aplicaciones bioinspiradas de interés medioambiental. Muchos procesos biológicos fundamentales para el organismo pueden ser descritos claramente en términos moleculares y, por otra parte, la química inorgánica ha desarrollado conceptos, modelos, teorías

y herramientas de trabajo, suficientemente generales, pero también con el grado de sofisticación adecuado como para ser aplicadas con éxito al estudio de sistemas tan complicados como lo son los biológicos. De los elementos de la Tabla Periódica, al menos 27 están presentes en los organismos vivos y cumplen una función biológica. Estos elementos se denominan bioelementos. La Tabla 1 muestra que según su abundancia relativa en los organismos vivos se clasifican en primarios, secundarios y oligoelementos (Tabla 1).

Tabla 1. Los Bioelementos se clasifican según su abundancia expresada en porcentaje del peso en los seres vivos.

Clasificación	Abundancia	Bioelementos
Primarios	95 %	C, H, O, N
Secundarios	4 %	P, S, Ca, Na, K, Cl, I, Mg, Fe
Oligoelementos	0,1 %	Cu, Zn, Mn, Co, Mo, Ni, F, Sn

Los bioelementos son esenciales para el organismo:

- Cuando la reducción de su exposición bajo un cierto límite produce la disminución de una función fisiológica importante.
- Cuando forma parte integral de una estructura orgánica que desarrolla una función vital en el organismo: bioelemento.
- Son indispensables para el organismo, pero deben ser aportados por la dieta ya que no son sintetizados por éste.

En la Tabla 2 se muestra la composición porcentual del cuerpo humano en bioelementos.

Tabla 2. Abundancia de los bioelementos en el cuerpo humano.

Bioelementos primarios	Bioelementos secundarios	Bioelementos traza: Oligoelementos
Oxígeno: O (65.0%)	Calcio: Ca (1.5%)	Zinc: Zn
Carbono: C (18.5%)	Fósforo: P (1.0%)	Cobalto: Co
Hidrógeno: H (9.5%)	Potasio: K (0.4%)	Cobre: Cu
Nitrógeno: N (3.2%)	Azufre: S (0.3%)	Flúor: F
	Sodio: Na (0.2%)	Manganeso: Mn
	Cloro: Cl (0.2%)	Molibdeno: Mo
	Magnesio: Mg (0.1%)	Estaño: Sn
	Iodo: I (0.1%)	Cromo: Cr
	Hierro: Fe (0.1%)	

Las principales funciones de los bioelementos son: estructurales, estabilizadores de estructuras biológicas, componentes de moléculas que participan en reacciones bioquímicas, activadores enzimáticos.

Los bioelementos se pueden clasificar dependiendo de su concentración, actividad redox, según participen o no en procesos de oxidación o reducción en situaciones fisiológicas y/o patológicas. Además, pueden ser esenciales, y según su concentración, beneficiosos o tóxicos, respondiendo al concepto de hormesis.

Otra clasificación de los oligoelementos es según tengan o no actividad redox, dado que muchos de ellos ceden o aceptan electrones en reacciones de oxidación y reducción. Por otra parte, es de señalar que tanto la deficiencia como el exceso de estos bioelementos originan repercusiones importantes sobre la salud humana. En la tabla 3 se enumeran algunas de estas patologías y síntomas asociados a la deficiencia y toxicidad de bioelementos.

En función del objetivo general, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Integrar los conocimientos previos de los contenidos de la asignatura Química General e Inorgánica vistos en clases anteriores con el tema central de la clase, la química de los bioelementos, y en relación con el tema generador de bioinorgánica, a partir del cual se integraron los contenidos en una secuencia didáctica.
2. Diseñar actividades de motivación para los/as estudiantes hacia el aprendizaje de los conceptos de la clase.
3. Proponer una estrategia de secuencia didáctica para la clase basada en los conocimientos previos, datos de bibliografía y resultados de investigación de los/as docentes.
4. Articular las propiedades de los bioelementos con los procesos fisiológicos más importantes en los que participan estos bioelementos.
5. Integrar los contenidos teóricos con la práctica en el aula y el laboratorio en una secuencia didáctica en el marco de un modelo de investigación acción mediante la planificación de actividades de enseñanza.

La hipótesis de trabajo considera que la integración de los contenidos de bioinorgánica con la participación de éstos en los procesos fisiológicos despierta el interés de los/las estudiantes, motiva al aprendizaje genuino y significativo, y acerca al/a la estudiante a la práctica profesional a partir de un enfoque basado en las competencias disciplinares de la carrera elegida.

Con el propósito de responder a los interrogantes acerca de ¿cómo despertar el interés de los/las estudiantes?, ¿cómo acercar los contenidos de una asignatura básica, del ciclo común de la carrera con contenidos que se acercan más al futuro desempeño profesional? es que planteamos una propuesta innovadora de enseñanza que contempla la incorporación de procesos fisiológicos para la enseñanza de la química de los bioelementos.

Tabla 3. Patologías y síntomas asociados a la deficiencia y toxicidad de los biometales.

Bioelemento	Deficiencia	Exceso: Toxicidad
Fe	Anemia ferropénica	Hemocromatosis Anemia sideroblástica
Cu	Anemia: tambaleo Enfermedad de Menkes	Envenenamiento crónico, enfermedad de Wilson, Cirrosis hepática, alteraciones metabólicas y neurológicas
Ca	Hipocalcemia Raquitismo	Deformación ósea Cálculos renales
P	Hipofosfatemia	Hiperkalemia, erosiones gastrointestinales
Mg	Disfunción de gónadas, convulsiones, deformaciones del esqueleto, hipertensión arterial, hormigueo y temblores, debilidad muscular, dolor de cabeza, calambres, fatiga, cansancio, cambios en el estado de ánimo, ansiedad, estreñimiento y problemas del sueño	Ataxia
Mn	Intolerancia a la glucosa, desórdenes óseos, coágulos en sangre	Envenenamiento: afecta el sistema respiratorio y el cerebro (alucinaciones y Parkinson)
Co	Anemia, enfermedad del hígado blanco	Fallas cardíacas, estrés oxidativo
Cr	Trastornos en el metabolismo de la glucosa, trastornos de la piel	Nefritis
Se	Necrosis hepática, distrofia muscular	Enfermedad alcalina
Zn	Enanismo, hipogonadismo, acrodermatitis	Fiebre metálica, diarreas

Teniendo en cuenta la hipótesis planteada, el objetivo general de este trabajo es mostrar el diseño de una modalidad de clase que se orienta hacia una comprensión genuina y significativa en los/as alumnos/as que estudian Química Bioinorgánica relacionando el comportamiento químico de los bioelementos con los procesos fisiológicos y/o fisiopatológicos desde el concepto de hormesis de los cuales participan.

Esta propuesta constituye una experiencia áulica llevada a cabo por docentes en su contexto natural, representa una innovación en el aspecto pedagógico-didáctico y plantea un modelo de planificación basado en secuencias didácticas integrando contenidos de la química bioinorgánica con los procesos fisiológicos en los que intervienen, con el propósito de enseñar estos contenidos mediante este modelo.

METODOLOGÍA

Se diseñó una clase que se basó en el empleo de una estrategia didáctica que permite enseñar la química de los bioelementos mediante actividades organizadas de aprendizaje con y para los/as estudiantes con la finalidad de crear situaciones que permitan desarrollar un aprendizaje significativo (Díaz Barriga, 2013). Se propone un proceso de enseñanza integrando los contenidos de la Química con los de Fisiología en el cual es imprescindible que el equipo docente tenga en cuenta las relaciones internas entre estas tareas y los componentes didácticos de los procesos de enseñanza y aprendizaje, como así también los sujetos que intervienen en el proceso y sus relaciones (docente-estudiante, estudiante-docente, estudiante-estudiante, docente-grupo, estudiante-grupo), por ser quienes lo llevan a la práctica. El enfoque de este trabajo se enmarca en la propuesta de planificación de una secuencia didáctica integradora, con un enfoque activo y a partir del desarrollo de un problema o actividad integradora, que relaciona el objetivo de la enseñanza, qué es lo que se quiere enseñar con los contenidos seleccionados (saberes y saber hacer), y se piensa la secuencia didáctica y la evaluación formativa y continua de los aprendizajes. La secuencia didáctica se organizó combinando el modelo lineal de secuencia didáctica, pero a partir del desarrollo de un problema o actividad integradora, que en este trabajo fue el tema central "Bioinorgánica" y tema generador "bioelementos en la fisiología humana". La metodología que se utilizó para caracterizar la dimensión didáctica fue la de la observación directa de la clase correspondiente al teórico de Bioinorgánica y de datos provenientes de diferentes fuentes secundarias disponibles (bibliografía, reportes de otros docentes, entre otras). En la clase, la enseñanza de la Bioinorgánica se abordó haciendo foco sobre los oligoelementos esenciales que participan en los procesos fisiológicos, así como también los efectos tóxicos asociados a patologías en las que participan estos elementos. Los datos de la bibliografía y resultados propios de la investigación de los/as docentes que se consideró evaluar fueron: reacciones bioquímicas, biomarcadores de estrés y daño oxidativo, reacciones redox, formación, efecto de las especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno sobre órganos, tejidos y organelas subcelulares,

respiración celular, procesos inflamatorios y efecto sobre la presión arterial, sistema cardio respiratorio y renal. Esta propuesta fue diseñada para responder a los interrogantes acerca de cómo despertar el interés de los/as estudiantes, cómo acercar los contenidos de una asignatura básica, del ciclo común de la carrera con contenidos que se acercan más al futuro desempeño profesional. La propuesta de la secuencia didáctica para la enseñanza de este tema comprendió el diseño de actividades integradoras para cada una de las tres etapas de la secuencia didáctica, en un modelo de investigación-acción, de diseño cualitativo. La selección de actividades respondía a las preguntas de investigación y a los objetivos específicos planteados:

1. Etapa de inicio. En esta etapa se planteó "qué enseñar" en Bioinorgánica. Para ello es necesario posicionarse en el contexto de la asignatura y de los estudiantes, plantearse los objetivos, incentivar la motivación, definir los procesos cognitivos a desarrollar en los/las estudiantes: entender, analizar, deducir, interpretar, relacionar, comparar, integrar, resolver, aplicar y aprender, y diagnosticar lo que los/las estudiantes saben y cómo lo pueden aplicar, se trabajan las competencias de saber y de saber hacer.

2. Etapa de desarrollo. En esta etapa de la secuencia didáctica se trabajó con la aplicación del saber. Se mostraron ejemplos sobre efectos beneficiosos o tóxicos de los bioelementos, metabolismo y fisiología, y se desarrollaron actividades de práctica (análisis de resultados de investigación), preguntas de orden cognitivo superior para la comprensión de contenidos y preguntas de metacognición, para tomar conocimiento del aprendizaje, apropiarse de ese conocimiento, en clase y en el campus.

3. Etapa de integración y cierre. Se realizaron actividades para que el/la estudiante demuestre lo que sabe mediante propuestas de evaluación formativa: construcción de un diagrama o mapa conceptual relacionando los contenidos vistos en Bioinorgánica desde el abordaje químico con los procesos fisiológicos en los que participan, y elaboración de una conclusión. Se analizaron las respuestas obtenidas en las actividades del campus, consultas en los foros y preguntas en clase en comparación con las clases anteriores en las que no se utilizó esta modalidad.

Los resultados se midieron a través de la evaluación del grado de interacción alumnos-docentes, alumno-alumno, consultas efectuadas por los estudiantes, así como también anécdotas compartidas en la clase. Se analizaron los aprendizajes y el grado de comprensión de los contenidos enseñados, como también la motivación y compromiso de los estudiantes en su propio aprendizaje mediante las respuestas de estos en las actividades del campus, las consultas en los foros y las preguntas durante la clase, en comparación con las clases anteriores en las que no se utilizó esta modalidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estrategia didáctica de integrar los contenidos de Química con los de Fisiología en la clase de Bioinorgánica indujo un mayor interés y en consecuencia una mayor participación de los/as alumnos/as durante la clase. El tipo de preguntas y reflexiones de los mismos mostraron una comprensión

genuina de los contenidos de la química, pero en este caso integrada a la comprensión de los procesos fisiológicos. Se pudo observar no sólo un incremento en el número de interacciones alumnos-docentes (mayor cantidad de consultas efectuadas a los/las docentes) sino también en la interacción entre pares lo cual se reflejó en un mayor número de anécdotas compartidas que involucran a los bioelementos. Además, los/as estudiantes manifestaron un mayor interés en la actividad científica que se realiza en la cátedra, y en la posibilidad de integrarse y participar en proyectos de investigación, así como también de inscribirse en la escuela de ayudantes para incorporarse al plantel docente de la cátedra.

El aprendizaje no es una mera cuestión de memorizar, sino que consiste en la habilidad de utilizar recursos para encontrar, evaluar y aplicar la información (Ausubel, 2002). Actualmente, los/as estudiantes tienen poco tiempo para una mejor comprensión de los conceptos o para desarrollar competencias como el pensamiento crítico. El estudio integrado de la Química Bioinorgánica y de la Fisiología constituye una asignatura troncal dentro de las titulaciones de ciencias de la salud, y se imparte con denominaciones diferentes (estructura y función del cuerpo humano; morfología, estructura y función del cuerpo humano, etc.). El estudio y comprensión de la Bioinorgánica es compleja, puesto que implica integrar conocimientos sobre las propiedades químicas de los elementos y los sistemas fisiológicos, y precisa de una adecuada base formativa (histología, bioquímica y biología). Por otro lado, el perfil profesional de un titulado de ciencias de la salud comprende la adquisición de competencias como razonamiento, capacidad de relacionar e integrar conocimientos, así como trabajar en equipo y la comunicación con pares. Sin embargo, muchos de los programas curriculares actuales no contemplan estos aspectos.

En este trabajo, la modalidad didáctica de encarar la enseñanza de la Química Bioinorgánica asociando el comportamiento químico de los elementos con los procesos fisiopatológicos en los cuales participan logró que el/la alumno/a tenga mayor interés y curiosidad acerca de la función y estructura de los diferentes elementos. Es decir, la motivación por comprender procesos fisiológicos y en consecuencia patológicos, permitió lograr una mejor comprensión de la química del elemento sobre todo lo relacionado a la carga, tamaño y reacciones químicas en las que participa. Es en este sentido que la formación profesional, sobre todo relacionada al área de las Ciencias de la Salud, debe considerar que la motivación de los estudiantes juega un papel fundamental en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Jaquinet Aldanás y col., 2016). El término motivación deriva del verbo latino moveré, cuyo significado es mover, por lo tanto, motivación es la necesidad de activar la conducta dirigiéndose hacia la meta propuesta, que en este caso es la adquisición de conocimientos significativos de Bioinorgánica.

Los/las docentes, parte primordial de este proceso, deben conocer y facilitar el nivel de motivación de sus estudiantes, cualquiera que sea la disciplina en que se desempeñan. La estrategia didáctica utilizada para esta clase de Química Bioinorgánica solo será efectiva si está asociada al interés de los/as alumnos/as, lo cual se produce cuando estos toman conciencia del motivo y de la necesidad de aprender. En este contexto, la comprensión genuina de

los contenidos se logra cuando se estimulan a los estudiantes permitiendo que los mismos relacionen e integren los contenidos de las asignaturas de Química General e Inorgánica y Fisiología Humana desde el punto de vista funcional y orientado hacia las profesiones de Farmacia y Bioquímica.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La didáctica motivacional tiene una vital importancia práctica y va a influir sobre la eficiencia en la asimilación de los conocimientos, en la formación de habilidades y capacidades, en la formación del carácter, la moral y la orientación de los estudiantes, además de constituir un instrumento de retención de contenidos.

Además, la fortaleza de esta propuesta didáctica reside en que se propuso integrar los procesos de enseñanza y aprendizaje con un tipo de evaluación diseñada directamente para contribuir y fortalecer estos procesos a través de una sistemática retroalimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento*. Una perspectiva cognitiva. Buenos Aires: Paidós.
- Blanco, A., España, E., Rodríguez, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 9-18.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 83-91.
- Casas, J. S., Moreno, V., Sánchez, A., Sánchez, J. L., Sordó, J. (2002). *Química Bioinorgánica*. Madrid: Síntesis.
- Chacón Corzo, M. A., Chacón C. T., Alcedo S., Yesser, A. (2012). Los proyectos de aprendizaje interdisciplinarios en la formación docente. *Revista Mexicana de Investigación educativa*, 17(54), 877-902.
- Dávila, S. (2000). El aprendizaje significativo. Esa extraña expresión (utilizada por todos y comprendida por pocos). *Contexto Educativo*, 9. ISSN-e 1515-7458.
- Díaz-Barriga, Á. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica. *UNAM*, 10(04), 1-15.
- Franco-Mariscal, A. J., Oliva-Martínez, J. M. (2012). Dificultades de comprensión de nociones relativas a la clasificación periódica de los elementos químicos: La opinión de profesores e investigadores en educación química. *Revista Científica*, 16(2), 53-71.
- Franco-Mariscal A. J., Oliva-Martínez J. M., Blanco-López, A., España-Ramos, E. (2016). A Game-Based Approach to Learning the Idea of Chemical

- Elements and Their Periodic Classification. *Journal of Chemical Education*, 93, 1173–1190.
- Godoy, K. M. (2020). Estrategias didácticas para la enseñanza y aprendizaje de los elementos químicos y su información en la tabla periódica. *Revista Educación las Américas*, 10(1), 84-105. <https://doi.org/10.35811/rea.v10i0.96>
- Jaquinet Aldanás, M., Rivero, Llop M. L., Garnache, Piña A. (2016). La motivación en el rendimiento académico de los estudiantes de medicina. *Revista Médica Electrónica*, 38(6), 910-915. <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/2042/3254>
- Larson, K. G., Long, G. R., Briggs, M. W. (2012). Periodic Properties and Inquiry: Student Mental Models Observed during a Periodic Table Puzzle Activity. *Journal of Chemical Education*, 89, 1491–1498.
- Olivares, S. (2014). ¿Formulación química? Nomenclatura química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11, 416-425.
- Repetto, M. (2012). Enfoque didáctico para la enseñanza de la química de los metales de transición: Bioinorgánica, homeostasis redox y toxicidad de los metales de transición en sistemas biológicos, *Educación en la Química*, 18, 3-15.
- Rodríguez Palmero, M.L. (2004). Aprendizaje significativo e interacción personal. *Aprendizaje significativo: Interacción personal, Progresividad y Lenguaje. Universidad de Burgos. Servicio de publicaciones*, 15-46. www.in.uib.cat/pags/volumenes/vol3_num_1/rodriguez/index.html
- Rodríguez Revelo, E., Alarcón Salvatierra, P. A. (2020). Estrategias didácticas para efectivizar procesos de enseñanza en la educación superior. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 12. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v35i1.2233>
- Sanmartí, N., Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Revista de Educación Científica*, 1, 3-16. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>