

Flor de María Reyes-Cárdenas¹
<https://orcid.org/0000-0002-2722-646X>

Patricia Alejandrina Lechuga-Uribe¹
<https://orcid.org/0000-0003-0331-5545>

Vania Alejandra Sánchez-Roa¹
<https://orcid.org/0009-0008-1287-3067>

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Laboratorio de Investigación Educativa en Ciencias, Ciudad de México, México; fmreyes@quimica.unam.mx, palu@quimica.unam.mx, vaniasanchezroa@gmail.com

Aprendizaje de la química a través de ejemplos farmacéuticos contextualizados: jarabes y tabletas

Chemistry Learning through Contextualized Pharmaceutical Examples: Syrups and Tablets

<https://doi.org/10.54104/papeles.v16n32.1861>

Recibido: 11 de abril de 2024

Aprobado: 31 de julio de 2024

Publicado: 06 de septiembre de 2024

* Autor para correspondencia:
Flor de María Reyes-Cárdenas,
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Laboratorio de Investigación Educativa en Ciencias, Ciudad de México, México; <https://orcid.org/0000-0002-2722-646X>; Circuito Escolar S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX. fmreyes@quimica.unam.mx

Para citar este artículo:
Reyes-Cárdenas, F. de M.^a, Lechuga-Uribe, P. A., y Sánchez-Roa, V. A. (2024). Aprendizaje de la química a través de ejemplos farmacéuticos contextualizados: jarabes y tabletas. *Papeles*, 16(32), e1861. <https://doi.org/10.54104/papeles.v16n32.1861>



Resumen

Introducción: ¿es posible mejorar el aprendizaje de la química en estudiantes universitarios al implementar materiales de integración de conocimientos con ejemplos contextualizados de medicamentos? Una gran parte de los contenidos teóricos que se incluyen en el temario de Química General se pueden abordar mediante ejemplos contextualizados. Esto promueve en los estudiantes un involucramiento e interés de los conceptos químico-farmacéuticos. **Metodología:** se trata de un estudio mixto en el que se diseñaron e implementaron materiales educativos que incorporan los temas de disoluciones y equilibrio químico ácido-base con ejemplos contextualizados de fármacos y medicamentos. Los instrumentos de evaluación consisten en cuestionarios de preguntas abiertas y cerradas con las que se recabaron ideas, conceptos y procedimientos de los estudiantes. **Resultados y discusión:** los resultados de aprendizaje muestran que para diluciones y disoluciones se aumentan del 70 % al 90 % en la comprensión de los conceptos teóricos, pero en ejercicios relacionados los estudiantes presentan una dificultad generalizada. Para los conceptos relacionados con *equilibrio químico ácido-base*, el progreso de la comprensión fue evidente al incrementar en un 15 % donde los estudiantes identifican la especie ionizada. **Conclusiones:** como evidencia de esta investigación, el uso de ejemplos contextualizados permite la adaptación a diversos entornos educativos, ya que queda de manifiesto las necesidades específicas de los estudiantes. Esta sugerencia de enseñanza ilustra cómo el empleo de ejercicios adaptados al contexto, como los relacionados con medicamentos, pueden enriquecer la enseñanza de la química.

Palabras clave:

Educación científica; estrategia de aprendizaje; química; enseñanza en contexto; integración de conocimientos.

Abstract

Introduction: Is it possible to improve chemistry learning in university students by implementing knowledge integration materials with contextualized examples of medications? A large part of the theoretical content included in the General Chemistry syllabus can be addressed through contextualized examples. This promotes student involvement and interest in chemical-pharmaceutical concepts. **Methodology:** This is a mixed study in which educational materials are designed and implemented that incorporate the topics of solutions and acid-base chemical balance with contextualized examples of drugs and medications. The evaluation instruments consisted of questionnaires with open and closed questions with which ideas, concepts and procedures were collected from the students. **Results and discussion:** The learning results show that for *Dilutions and Solutions* there is an increase from 70 to 90% in the understanding of the theoretical concepts, but in related exercises the students

Keywords:

Scientific education; learning strategies; chemistry; teaching in context; knowledge integration.

present generalized difficulty. For the concepts related to Acid-Base Chemical Equilibrium, progress in understanding was evident with a 15% increase in where students identified the ionized species. **Conclusions:** As evidence of this research work, the use of contextualized examples allows adaptation to diverse educational environments since the specific needs of students are evident. This teaching suggestion illustrates how the use of contextually adapted exercises, such as those related to medications, can enrich the teaching of chemistry.

Introducción

Uno de los principales retos en la enseñanza de la química es la falta de la integración de los conocimientos en distintos contextos más allá de la asignatura en la que se imparten. En un plan de estudios robusto, la segmentación de los temas puede generar una compartimentación excesiva donde los estudiantes no vinculen los conocimientos de una asignatura con otra (Rodamilans et al., 2010).

Davidsson et al. (2021) sugieren como una posible respuesta el uso de situaciones contextualizadas que promuevan el interés y la motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje de la química a la par que se atiende al desarrollo de pensamiento y la construcción e integración de conocimientos.

En la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se imparten seis licenciaturas que tienen un tronco común de tres semestres. En el segundo semestre, se imparte la asignatura obligatoria Química General II, en la que se revisan cinco unidades: estequiometría, equilibrio químico, equilibrio ácido-base, solubilidad y óxido-reducción.

Esta investigación plantea un contexto de medicamentos y fármacos que se presenta desde la primera sesión como situación transversal y que se aborda con ejemplos y ejercicios en diferentes partes del programa. Por la afinidad y pertinencia, se eligieron temas específicos de la unidad de estequiometría y de

equilibrio ácido-base (Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, 2024), temas que resultan esenciales para comprender procesos farmacocinéticos entre el organismo y los medicamentos. Lo anterior promueve una vinculación directa con la asignatura de Farmacocinética y de forma parcial con otras asignaturas.

Por lo anterior, esta investigación se parte de la hipótesis de que, si a los estudiantes se les presentan y contextualizan ejemplos en una asignatura inicial como Química General II usando un tema como medicamentos y fármacos, los estudiantes mejorarán en el aprendizaje de los contenidos de disoluciones y equilibrio, que podrán aplicar a ejemplos específicos relacionados con asignaturas subsecuentes y su vida cotidiana.

El objetivo de esta investigación es documentar el nivel de desempeño de los estudiantes al resolver ejercicios contextualizados en la farmacocinética que incorporan los conceptos de *disolución, dilución y equilibrio químico ácido-base*.

1.1 Enseñanza contextualizada

La enseñanza contextualizada implica conectar conceptos educativos con la vida real y adaptarlos al contexto y la dinámica de los estudiantes. Este enfoque se centra en presentar ciertos conceptos con aplicaciones concretas en áreas específicas para captar el interés de los estudiantes. Además,

la enseñanza contextualizada consiste en la presentación de un tema en un contexto significativo y relevante, por lo que sugieren que los docentes destinen tiempo para eventos, actividades y materiales para cubrir las posibles necesidades del estudiante en función de su aprendizaje (Garin et al., 2021).

Meroni et al. (2015) mencionan que la enseñanza contextualizada resalta la importancia social del conocimiento, lo cual implica que aprendemos en interacción con otras personas, participando en prácticas sociales y enfrentándonos a situaciones reales y auténticas. Este aprendizaje se realiza mediante actividades en contexto y cultura específicos que dan significado a la experiencia educativa.

De acuerdo con Tshojay y Giri (2021), la enseñanza contextualizada también contribuye a que los estudiantes comprendan cómo las ciencias y, en especial, la química influyen en situaciones cotidianas. En particular, este enfoque se define como una estrategia que conecta el conocimiento químico con la vida diaria de los estudiantes, centrándose estrechamente en la enseñanza y el aprendizaje orientados a ellos.

Como indican Moraga Toledo et al. (2019), la enseñanza basada en contexto consiste en que a partir de este se presente el tema, y así se fomentan la curiosidad, el interés y la motivación de los estudiantes hacia la química. Se ha reportado un aprendizaje más robusto y una mayor capacidad para establecer las conexiones entre la teoría y los fenómenos.

Al respecto, Tshojay et al. (2021) mencionan un estudio realizado en Iowa (Estados Unidos) en una escuela de nivel medio en la materia de Química, el cual reveló que el uso de la enseñanza contextualizada debe estar ligada directamente con una aplicación efectiva de estrategias de instrucción por parte del docente, de modo que este es un elemento clave del enfoque. Dicho estudio destacó el papel de los docentes en contextualizar las

Las UII se diseñan para cada contenido que se desea abordar y deben incluir una secuencia de actividades, una descripción para su implementación y la evaluación correspondiente.

lecciones mediante diversas estrategias de instrucción, incluso, cuando el contenido del plan de estudios no lo estaba.

Davidsson y Granklint-Enochson (2021) comentan que, al introducir la química en un entorno contextualizado, se amplía el panorama para despertar el interés y la motivación intrínseca de los estudiantes hacia el aprendizaje de la ciencia.

Otros estudios se han enfocado en la implementación de diversos métodos y estrategias de enseñanza en el aula de ciencias, seguidos de la evaluación de aspectos como los resultados de aprendizaje de los estudiantes o su compromiso con la materia (Crawford, 2000; Wierdsma et al., 2016). Sin embargo, no todos los docentes y las aulas de ciencias tienen la oportunidad de beneficiarse del trabajo colaborativo entre docentes e investigadores, que se logra a través de la realización de estudios de intervención.

Para llevar a cabo una enseñanza en contexto, es relevante enmarcarlo en una secuencia de actividades. Un ejemplo de cómo contextualizar la enseñanza es el uso de unidades de instrucción integrativas (UII). De acuerdo con Bransford et al. (1999), quienes utilizan el término UII, esta estrategia didáctica constituye un conjunto de actividades de aprendizaje enfocadas en cumplir con los objetivos propuestos al inicio de la unidad, al mismo tiempo que fomenta que los estudiantes

construyan contenidos gradualmente desde ideas informales hasta las formales.

Las UII son componentes estructurados que pueden ser usados para dividir el contenido de los cursos de las licenciaturas en segmentos manejables y coherentes. Las UII se diseñan para cada contenido que se desea abordar y deben incluir una secuencia de actividades, una descripción para su implementación y la evaluación correspondiente.

En esta investigación, se diseñaron e implementaron las siguientes UII para equilibrio químico ácido-base y para disoluciones y diluciones, subtemas de la asignatura de Química General II. Esta asignatura es del tronco común a todas las licenciaturas (Química Farmacéutica Biológica, Ingeniería Química, Química de Alimentos, Química, Química e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química Metalúrgica) de la Facultad de Química de la UNAM.

En estas se promueven habilidades para que los estudiantes contextualicen los saberes inherentes a ellas con los fármacos y medicamentos, de manera que se generen aprendizajes significativos e interrelacionados. Además, se fomentan el desarrollo y la aplicación de habilidades cognitivas, como la resolución de problemas no rutinarios, al permitir examinar una amplia gama de información, reconocer patrones, reducir información y llegar a un diagnóstico y resolución del problema.

Los materiales educativos que constituyen estas UII son ejemplos contextualizados sobre medicamentos. Se consideró que la mayoría de los individuos han hecho uso de estos en algún momento de su vida, por lo que se pueden vincular fácilmente, y así incrementar su interés por aprender los conceptos y los temas de la asignatura (Orlich et al., 2010).

Los temas que se abordan en esta investigación son relevantes para la comprensión de los fenómenos farmacocinéticos desde el

punto de vista de la química. No obstante, Kind (2004) ha reconocido diversas situaciones que aparecen generalmente durante la enseñanza de estos temas y que suelen estar asociadas a dificultades en la enseñanza: a) las concepciones alternativas (Talanquer, 2006) que se presentan para cada uno de los temas; b) el manejo de cálculos, operaciones y del álgebra; c) el manejo de unidades de medida y factores unitarios para la resolución de los distintos ejercicios, y d) el nivel de abstracción e interrelación de los contenidos de química.

La relevancia del equilibrio químico ácido-base radica en su aplicación a lo largo de toda la formación de un profesional de la química y en que muchas de las reacciones que se llevan a cabo en el organismo son reversibles. El equilibrio ácido-base se establece cuando las reacciones de formación de un ácido débil y una base débil avanzan a velocidades iguales.

De acuerdo con Maskill y Cachapuz (1989), esto sucede porque nunca se ionizan por completo en el agua, por ejemplo, en el caso de una disolución de un ácido débil, coexisten el ácido no ionizado, los iones H^+ y la base conjugada. Para este tema, es necesario abordar el concepto de *acción de los amortiguadores*, que es una disolución que contiene un ácido débil o una base débil y su especie conjugada. Se resalta la importancia de estas en el organismo, por su papel como encargadas de evitar variaciones del valor del pH en los medios biológicos, que permite realizar de forma óptima las funciones bioquímicas y fisiológicas de células, tejidos, órganos, aparatos y sistemas del organismo (Túnez Fiñana et al., 2001).

Para hablar de equilibrio, es indispensable abordar las disoluciones que, de acuerdo con Raviolo y Martínez Aznar (2005), es una mezcla de sustancias que tienen composición uniforme, es decir, es mezcla homogénea. Dos conceptos clave relacionados son *concentración*, al que Chang y Goldsby (2017) definen como “la cantidad de soluto presente

en una cantidad dada de disolvente, o en una cantidad dada de disolución” (p. 129); y *dilución*, que se define como “un proceso de preparar una disolución menos concentrada a partir de una más concentrada, añadiendo disolvente” (Brown et al., 2014, p. 137).

Los temas disoluciones, diluciones y equilibrio químico ácido-base se abordaron acompañados de ejemplos contextualizados de medicamentos, principalmente sobre las concentraciones y los equilibrios que existen en los distintos procesos farmacocinéticos en el organismo, con algunas pruebas industriales que se realizan a los medicamentos y ejemplos sobre su dosificación.

2. Metodología

Para esta investigación, se diseñaron dos UII que abordan los temas disolución, dilución y equilibrio ácido-base en ejemplos contextualizados de jarabes y tabletas.

Para ello, se compararon los programas de las asignaturas de Farmacocinética y Química General II de la Licenciatura de Química Farmacéutico Biológica de la Facultad de Química de la UNAM. De los subtemas coincidentes, se eligieron aquellos que presentan un enfoque farmacocinético para ser abordados con una estrategia didáctica contextualizada. Además, se consideraron subtemas relacionados con disoluciones y diluciones para aumentar el grado de contextualización; al ser Química General II una materia de tronco común, se requería un tema de interés general.

El equipo docente (el docente frente a grupo especialista en teoría, un docente especialista en el laboratorio y un estudiante en formación) elaboró una UII para cada subtema seleccionado, que consiste en material didáctico y sus correspondientes instrumentos de evaluación en conjunto con directrices didácticas. El material se conformó de secciones de teoría, ejercicios, ejemplos y aplicaciones,

que se presentaron a los estudiantes por medio de presentaciones en PowerPoint en el pizarrón y en hojas de trabajo para plenaria y en pequeños grupos.

Este material didáctico incluyó instrumentos de evaluación diagnóstica, formativa y sumativa. La dinámica de las sesiones fue interactiva entre estudiantes y docente de la siguiente manera:

- Recapitulación de los saberes abordados en la sesión anterior para verificar su comprensión. Asimismo, se atendía a inquietudes o comentarios para lograr la mayor comprensión posible.
- Se abordaban los contenidos correspondientes a la actual sesión mediante el material didáctico elaborado con anterioridad.
- Resolución de ejercicios o problemas planteados de manera contextual.

En esta investigación, se documentan los resultados, la experiencia educativa y el aprendizaje de contenidos al implementar materiales educativos (UII) que promueven la capacidad de resolución e integración de los temas disoluciones y equilibrio ácido-base con fármacos y medicamentos, que simultáneamente fomentan el desarrollo y la aplicación de habilidades cognitivas, como la resolución de problemas no rutinarios, al permitir examinar una amplia gama de información, reconocer patrones, reducir información y llegar a un diagnóstico y resolución del problema. De acuerdo con Levy y Murnane (2004), la importancia de lo anterior radica en el florecimiento de la creatividad y capacidad para integrar información aparentemente no relacionada y generar soluciones innovadoras.

Esta investigación es un estudio de corte mixto. De acuerdo con Hamui-Sutton (2013), “los estudios mixtos son adecuados para abordar problemas de investigación complejos en educación, pues permiten ampliar las preguntas y las teorías para dar cuenta

“los estudios mixtos son adecuados para abordar problemas de investigación complejos en educación, pues permiten ampliar las preguntas y las teorías para dar cuenta de la realidad e incidir en los procesos de enseñanza y aprendizaje”

de la realidad e incidir en los procesos de enseñanza y aprendizaje” (p. 211). Los resultados de estos estudios presentan respuestas significativas y aportan a la comprensión de los fenómenos educativos que a su vez hacen surgir nuevas preguntas.

2.1 Participantes en la investigación

Los participantes fueron estudiantes de la asignatura de Química General II en 2022. El grupo estaba constituido por 70 estudiantes, integrados por 19 hombres y 51 mujeres. Los estudiantes de las distintas licenciaturas de la Facultad de Química presentaban la siguiente distribución: 28 en Química Farmacéutico Biológica, 19 en Ingeniería Química, 14 en Química de Alimentos, 6 en Química y 3 en Ingeniería Química Metalúrgica. La UNAM es una universidad pública a la que acceden estudiantes de todos los niveles socioeconómicos, procedentes generalmente de zonas urbanas. Estos estudiantes cursan por primera vez la asignatura Química General II en el semestre indicado por el plan de estudios y tienen entre 18 y 19 años.

La asignatura se programó para llevar a cabo las actividades de forma presencial en una sesión de dos horas por semana; sin embargo, las primeras cuatro semanas se realizaron en línea por el confinamiento debido al covid-19. Se implementaron las UII, diseñadas para abordar los temas disoluciones (primordialmente en trabajo en línea) y equilibrio químico ácido-base (en forma presencial).

2.2 Unidades de instrucción integrativas

De acuerdo con Tshojay y Giri (2021), la enseñanza contextualizada contribuye a que los estudiantes aprendan y conecten la química con otros contenidos y con situaciones cotidianas. Esta investigación plantea un contexto de medicamentos y fármacos transversal que se presenta desde la primera sesión. Para el desarrollo de la asignatura en todo el semestre, el eje principal es el avance del programa de estudios de Química General II cuya dinámica es de corte constructivista.

Los materiales didácticos con eje en la farmacocinética se diseñaron específicamente para esta investigación y se implementaron con una primera explicación y modelaje guiado por el docente y, posteriormente, la aplicación de los instrumentos de evaluación constituidos por cuestionarios en Google Forms y evaluaciones formales realizadas de manera presencial.

Después de implementar los materiales educativos diseñados con su correspondiente evaluación, las respuestas de los estudiantes se clasificaron según a) el grado de profundidad y comprensión de conocimiento (contenido académico), b) la relación entre conceptos y c) los tipos de resolución de ejercicios. Esto permitió documentar el nivel de desempeño, identificar ideas en común de los estudiantes y diferentes tipos de procedimientos para valorar si la estrategia didáctica presentó un efecto positivo en el rendimiento académico del estudiantado.

Los instrumentos de evaluación están estructurados por preguntas abiertas referentes a los contenidos y ejercicios contextualizados. Estos cuestionarios son:

- IE1-IE5 para la UII disoluciones y diluciones
- IE6-IE7 para la UII equilibrio químico

El estudio es de tipo mixto, con carácter retrospectivo, analizando el comportamiento de estudiantes de 2022. A continuación, se presentan cada uno de los instrumentos.

IE1: ¿Qué es una disolución y dilución?

El primer instrumento se implementó posterior a la primera sesión del semestre donde se presentó el tema transversal fármacos y medicamentos como eje contextualizador y se revisaron los conceptos básicos de disoluciones. Este instrumento de evaluación se trata de un cuestionario inicial con las siguientes preguntas: ¿qué es un soluto?, ¿qué es un disolvente?, ¿qué es una disolución?, ¿cuál es la diferencia entre un fármaco y un medicamento? Y se pide al estudiante que con sus propias palabras defina *farmacocinética*.

IE2: Disoluciones en la industria farmacéutica

El segundo instrumento se presentó en la segunda sesión y se conforma de dos ejercicios:

- Una tableta contiene 500 mg de paracetamol, el volumen de medio a utilizar para la prueba de disolución es de 800 mL. ¿Cuál es la concentración de paracetamol expresada en mg/mL?
- Si la densidad de la disolución es de 1,8 g/mL, ¿cómo expresarías la concentración en porcentaje de masa?

Sección de opinión sobre IE1 y IE2

Una vez completados los dos primeros instrumentos, se preguntó a los alumnos su valoración sobre estas actividades, siendo el número 4 “muy útil” y el número 1 el más bajo: “¿Te resulta útil la relación de contenidos de

Química General II con ejemplos contextualizados para comprender mejor el tema?”.

IE3: Disoluciones y fármacos en la vida cotidiana

El tercer instrumento de evaluación se aplicó al finalizar la tercera sesión y en este se solicitó a los estudiantes resolver un problema de dilución. A continuación, se presenta el párrafo:

- El doctor le recetó a Ángel tomar 10 mL de un jarabe cuya concentración es 0,20 g/mL, pero en la farmacia solo venden jarabe con concentración de 0,70 g/mL. ¿Cuál será el volumen que deberá tomar del jarabe de concentración 0,70 g/mL en caso de que no encuentre el producto recetado?

IE4: Disoluciones y diluciones de fármacos

En la quinta sesión, se aplicó la cuarta evaluación que se enfoca en la disolución y en el factor de dilución. Las preguntas de este instrumento fueron:

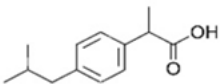
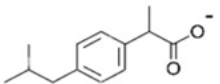
- María tiene una enfermedad renal, por lo que su doctor le recetó disolver un sobre de 10 g de un medicamento que contiene 3150 mg de alfa-cetoanálogos de aminoácidos. Si cada sobre de 10 g se disuelve en agua hasta completar 200 mL de disolución, ¿cuál será la concentración del fármaco en el vaso de agua?

IE5: Examen de disoluciones y diluciones en un contexto profesional

En la semana posterior, se realizó una evaluación sumativa (IE5), diseñada para que, a partir de un contexto previo, se resaltaran las aplicaciones industriales de la química, en concreto de los temas referidos. El contenido de esta sección se presenta a continuación.

- Contexto: Los centros de mezclas son establecimientos autorizados para la preparación y dispensación de mezclas estériles. El médico pide al centro de mezclas preparar 250 mL de disolución

Tabla 1. Ejercicio para absorción y distribución de fármacos

Ibuprofeno	
Estructura	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div> </div>
Ionizada / No ionizada	
Se absorbe / No se absorbe	
% en el estomago	

de fenitoína (fármaco anticonvulsivo) en solución salina al 0,25 % m/v para administrar intravenosa. Si fuera el responsable del centro de mezclas, realice los cálculos correspondientes para:

- Preparar la disolución a partir de fenitoína 0,1 mol/L y determinar el factor de dilución.
- Saber cuántos miligramos de fármaco se requieren para preparar la disolución a partir de fenitoína sólida y solución salina.

IE6: Absorción y distribución de fármacos en el organismo

La aplicación de la ecuación de Henderson-Hasselbalch fue el concepto eje de este quinto instrumento. Los estudiantes respondieron dos preguntas calculando el porcentaje de especie ionizada y la absorción del ácido acetilsalicílico. A continuación, se presentan las dos preguntas:

- Retomando el ejercicio revisado en la clase. El naproxeno es un ácido débil con $pK_a = 5,0$. Si ahora este pasa a la sangre ($pH = 7,4$) para ser distribuido, ¿cuál será el porcentaje de especie ionizada y cuál el porcentaje de no ionizada?
- De acuerdo con los valores de pH , diga en qué parte del tracto digestivo se absorberá más el ácido acetilsalicílico (pK_a de 3,5) si el pH del estómago es de 1,5 y en el intestino de 6,0.

IE7: Absorción y distribución de fármacos

En la última semana del semestre, se presentó un problema de aplicación de la ecuación de Henderson-Hasselbalch. Esta pregunta se acompañó de la tabla 1 para que completaran en los recuadros vacíos.

El ibuprofeno es un ácido débil con un $pK_a = 4,4$. ¿Qué porcentaje se absorberá (especie no ionizada) y qué porcentaje no se absorbe en el estómago si este tiene un pH de 1,2?

Al ser un estudio de corte mixto, las respuestas brindadas a las preguntas abiertas se analizaron a través de seis pasos:

1. Realizar lecturas en profundidad de las respuestas proporcionadas por los estudiantes.
2. Proponer categorías desde el marco teórico de referencia.
3. Identificar y agrupar las ideas centrales que sean similares entre sus respuestas.
4. Determinar, ejemplificar y cuantificar las categorías generadas a la luz del marco teórico de referencia.
5. Analizar categorías e implicaciones de enseñanza.

Por otro lado, para los problemas y ejercicios se revisaron los resultados, además, se consideraron los procedimientos empleados por los estudiantes siguiendo este proceso:

1. Identificar los procedimientos de los estudiantes.
2. Identificar procedimientos similares.
3. Identificar errores recurrentes y generar tipos de aproximación a los problemas.
4. Determinar, ejemplificar y cuantificar las categorías generadas a la luz del marco teórico de referencia.
5. Analizar categorías e implicaciones de enseñanza.

A partir de estos procedimientos, se analizó el grado de comprensión de los conocimientos de Química General II sobre los temas de disolución, dilución y equilibrio químico ácido-base y sobre la capacidad del estudiante para explicar y dar solución a las situaciones contextualizadas.

3. Resultados y discusión

En este apartado, se presentan los resultados y el análisis de cada instrumento con base en el desempeño de los estudiantes.

Cada una de las respuestas de los estudiantes se agrupó en categorías. Por ejemplo, en la pregunta 1 “¿Qué es un soluto?”, se identificaron cuatro categorías, para este caso todas correctas: a) componente en menor proporción (p. ej., “Componentes de una disolución

que se encuentran en menor proporción”; b) componente que se disuelve en un disolvente (p. ej., “Es la sustancia o especie química que va a disolverse o mezclarse con otra”; c) componente en menor proporción que se disuelve en un disolvente (p. ej., “Es la sustancia que se encuentra en menor proporción en una disolución y está disuelto en el disolvente”), y d) componente en menor proporción y de interés químico (p. ej., “Sustancia en menor cantidad de una disolución, la cual le da importancia química a la disolución”). A continuación, se presentan los resultados y el análisis para cada instrumento.

3.1 Unidad de instrucción integrativa I: disoluciones y diluciones

IE1: ¿Qué es una disolución y dilución?

Con respecto a lo que entienden los estudiantes por ¿qué es un soluto?, ¿qué es un disolvente? y ¿qué es una disolución?, las respuestas son congruentes con los conceptos científicos, aunque algunas solo de forma parcial. En la tabla 2, se presentan las ideas centrales que engloban las respuestas de los estudiantes para los temas de disolución.

Resalta en la tabla 2 que el 74,3 % de los estudiantes responden que el soluto es el

Tabla 2. Categorías de respuesta y frecuencias para los temas de disolución y dilución

¿Qué es un soluto?	¿Qué es un disolvente?	¿Qué es una disolución?
74,3 % Componente en menor proporción	62,9 % Componente en mayor proporción	1,4 % Mezcla de solutos y disolventes
4,3 % Se disuelve en un disolvente	7,1 % Donde se disuelve el soluto	91,4 % Mezcla homogénea de dos o más sustancias (solutos y disolventes)
18,6 % Componente en menor proporción que se disuelve en un disolvente	20,0 % Componente en mayor proporción donde se disuelve el soluto	7,2 % Mezcla homogénea de dos o más sustancias (solutos y disolventes) que no reaccionan entre sí
2,8 % Componente en menor proporción que se disuelve en un disolvente y de interés químico	10,0 % Componente en mayor proporción donde se disuelve el soluto que define el estado de agregación	

Tabla 3. Categorías de respuesta y frecuencias para conceptos de farmacocinética

¿Cuál es la diferencia entre un fármaco y un medicamento?	Con sus propias palabras define farmacocinética
54,3 % El fármaco es el principio activo, un medicamento es la mezcla de uno o más fármacos con aditivos (excipientes, colorantes, etc.)	74,3 % Estudio/ciencia que revisa las etapas/procesos que le hace el cuerpo al fármaco, así como los cambios de concentración con respecto al tiempo
40,0 % El fármaco es el principio activo, un medicamento la mezcla de fármacos	20,0 % Acción del fármaco en el cuerpo
5,7 % Fármaco es mezcla de medicamentos y el medicamento es para curar	5,7 % Elaboración/estudio/comportamiento/ de la composición de los fármacos

componente de menor proporción y el 62,9 % que el disolvente es el de mayor proporción, por lo que existe una congruencia alta en ambos conceptos. Finalmente, en el rubro de disolución, el 91,4 % de los estudiantes respondieron que una disolución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias (solutos y disolventes).

Con respecto a farmacocinética, los resultados encontrados son los siguientes (tabla 3):

En la tabla 3, el 74,3 % de los estudiantes pueden explicar adecuadamente el término *farmacocinética*. Por otra parte, el 54,3 % reconocen la diferencia entre un fármaco y un medicamento, y un 40,0 % presentan respuestas correctas pero muy generales.

IE2: Disoluciones en la industria farmacéutica

Para el primer ejercicio, en el que se debe calcular la concentración de una disolución a partir de una masa de paracetamol y un volumen, la respuesta correcta es 0,625 mg de fármaco/mL de disolución. La tabla 4 muestra las diferentes respuestas.

Los estudiantes llegan a un resultado correcto en un 85 %, aunque solo el 12,8 % especifican que los miligramos de soluto corresponden a miligramos de fármaco, y el resto indica únicamente mg/mL. Un 5,7 % no incluye ninguna unidad para acompañar su respuesta numérica (aunque el número es correcto) y el 14,3 % llegaron a otro valor numérico.

Tabla 4. Categorías de respuesta y frecuencias para farmacocinéticas

Porcentaje	Respuesta
67,2	0,625 mg/mL
12,8	0,625 mg fármaco/mL de disolución
5,7	0,625
14,3	Otros 0,42 mg/mL, 500/800 mg, 0,004...

En el cálculo de la concentración (porcentaje en masa) a partir de una densidad, solo un 49 % obtiene la respuesta correcta de la masa y un volumen. A continuación, se muestran los resultados en la tabla 5.

Tabla 5. Categorías de respuesta sobre concentración (% en masa)

Porcentaje	Respuesta
49	Correcto 0,0347 %
18,0	Otros
23,0	No respondió

La tabla 5 muestra que el 18 % de los estudiantes responden de forma errónea y el 23 % no contestaron a la pregunta, aludiendo que no sabían cómo abordar esta conversión. Esto pone en evidencia que, si bien el grado de comprensión de los conceptos teóricos sobre

disoluciones es adecuado (instrumentos de evaluación 1), su aplicación en la resolución de problemas referentes a ejemplos de farmacocinética refleja un manejo insuficiente de la parte matemática y la capacidad de resolución e integración.

Sección de opinión sobre IE1 y IE2

El 90 % de los estudiantes consideran “muy útiles” o “útiles” estos ejercicios para su formación y hacen referencia a la motivación, el beneficio y la perspectiva que les brindan. En contraparte, un 10 % de los estudiantes opinan que estos problemas les parecen “inútiles” o “muy inútiles”, la principal razón es el desinterés en el área de la farmacología, pero mostrando un deseo por la inclusión de problemas relacionados con otras licenciaturas.

IE3: Disoluciones y fármacos en la vida cotidiana

Los resultados mostrados en la tabla 6 de los estudiantes en el tercer instrumento de evaluación sobre el concepto de *dilución* mostraron que el 97 % emitieron una respuesta correcta y en ningún caso se omitieron las unidades.

Comparando con los resultados de los materiales anteriores (IE1 y IE2), específicamente en el uso de unidades y en el porcentaje que no respondió o respondió incorrectamente, se observa una mejora. Si bien los materiales son distintos, el tipo de preguntas y conocimiento es muy parecido.

Tabla 6. Categorías de respuesta de acuerdo con el uso de unidades

Porcentaje	Respuesta
86,6	Correcto 2,85 mL
10,4	2,85 mL de jarabe
0,0	2,85
2,853	Otros (0,29 mL de jarabe y 3,24 mL de jarabe)

Una diferencia relevante es que en este problema se planteó un contexto cotidiano con un jarabe para la tos, lo cual podría ser una de las causas de la mejora, ya que, al ser un contexto de interés general, se hace notorio que los aspectos más valorados por los estudiantes sobre la química fuera del aula tienen que ver con el impacto en su vida, como los medicamentos, productos de limpieza, alimentos, etc. (Molina, 2018).

IE4: Disoluciones y diluciones de fármacos

En la quinta sesión, se aplicó la cuarta evaluación que se enfoca en la disolución y en el factor de dilución. Este problema cumple con dos funciones a evaluar: el tema de disolución y de expresiones de concentración, y que los estudiantes puedan distinguir entre un fármaco y un medicamento, lo cual ya se plasmó de forma teórica previamente (tabla 7).

Tabla 7. Categorías de respuesta de acuerdo con el tema de disolución y expresiones de concentración

Porcentaje	Respuesta
68,2	Correcto 15,75 mg de alfa-cetoanálogos de aminoácidos / mL de disolución
18,2	Identifica el fármaco, pero presenta una respuesta errónea por el uso indebido de los decimales (0,1575 g de alfa-cetoanálogos / mL de disolución)
4,5	Existe diferencia entre fármaco y medicamento, pero el cálculo de concentración de medicamento es adecuado (50 mg de fármaco / mL de disolución)
9,1	Otros (5 g de fármaco / mL de disolución)

Con respecto a la resolución del ejercicio, la tabla 7 muestra que un 68,2 % de los estudiantes brindaron respuestas correctas y un 18,2 % presentan un uso indebido de los decimales. En este ejercicio, se aprecia que el 4,5 % de los estudiantes no diferencian el fármaco del medicamento, pero el cálculo de concentración de medicamento es adecuado, y otro 9,1 % que no identifican el fármaco y tienen un cálculo incorrecto.

IE5: Examen de disoluciones y diluciones en un contexto profesional

El ejercicio para evaluar los temas de disoluciones y diluciones aplicados a la farmacocinética incluye dos incisos. El primero alude al tema dilución y factor de dilución; y el segundo, a disoluciones y expresiones de la concentración.

Tabla 8. Porcentajes sobre disoluciones y diluciones en un contexto profesional

Dilución y factor de dilución	Disoluciones y expresiones de la concentración
97 % correcto	53 % correcto
3 % incorrecto	47 % incorrecto

En los resultados que se muestran en la tabla 8, el 97 % de los estudiantes pudieron llegar al resultado esperado para el primer inciso: "Preparar la disolución a partir de fenitoína 0,1 mol/L y determinar el factor de dilución", mientras el 53 % respondieron de forma correcta lo relacionado con el factor de dilución. Se identificaron como principales problemas:

- Conversión incorrecta de gramos a miligramos (poner 100 mg/g en lugar de 1000 mg/g y, en algunos casos, 1 mg/1000 g en lugar de 1000 mg/g)
- Uso incorrecto del factor de conversión (de forma inversa)

- Falta de capacidad de discernir qué datos se deben utilizar y cuáles no para resolver cada inciso
- Confusión con el porcentaje en masa/volumen (m/v) de la solución salina

Estas situaciones son congruentes con lo reportado por Kind (2004) con respecto al manejo de cálculos, operaciones, álgebra y de factores unitarios. Al utilizar los materiales contextualizados, se pudo observar la incorrecta conversión de gramos a miligramos, el uso inverso del factor de conversión y la confusión de unidades de concentración. Además, se resalta la dificultad para discernir los datos que deben usar.

En contraparte, es importante señalar que el enunciado incluye la fenitoína (un fármaco) y un buen porcentaje respondió alguna de las preguntas, lo cual es congruente con el objetivo de que los estudiantes puedan aplicar lo visto en clase a cualquier situación. Estos resultados son presentados a continuación.

3.2 Unidad de instrucción integrativa II: equilibrio químico ácido-base

Estos materiales se enfocan en equilibrio químico ácido-base y amortiguadores.

IE6: Absorción y distribución de fármacos en el organismo

Se presentó el IE6 con una aplicación de la ecuación de Henderson-Hasselbalch que permite calcular el porcentaje de fármaco que se absorbe en el organismo.

Los resultados mostraron que un 64 % de los estudiantes lograron responder de forma correcta al porcentaje de la especie ionizada y un 58 % determinaron acertadamente la parte en la que se absorberá la especie.

Debido al bajo porcentaje de estudiantes que logra responder de manera correcta en comparación con lo obtenido en los

materiales para disoluciones y diluciones, estos ejercicios se retomaron en la clase y los estudiantes externaron sus dudas, entre ellas destaca la confusión causada por los distintos términos empleados para Química General II y Farmacocinética (*disociación* e *ionización*, respectivamente). Por esta razón, se explicó que, para el caso de los fármacos con carácter ácido-base, se emplea el término *disociación* porque la molécula se separa ocurriendo una ionización.



Esta situación se asocia a lo presentado por Quílez y Quílez-Díaz (2016) sobre la polisemia como la característica principal del lenguaje de la química que lo vuelve difícil, es decir, que para la química no existen significados técnicos y cotidianos para un mismo término, que, además, evolucionan con el tiempo. Asimismo, mencionan que el lenguaje químico es desconocido para los estudiantes en sus primeros años de estudio de la química, y así se convierte en un reto para su aprendizaje.

IE7: Absorción y distribución de fármacos

Este ejercicio se acompañó de la tabla 9, en la se ha completado con texto en color azul en los lugares donde los estudiantes pusieron sus respuestas para:

- La identificación de la estructura ionizada y de la no ionizada
- La relación que existe entre el carácter ácido o básico y su pKa del fármaco con el valor del pH del órgano donde se encuentre
- El cálculo de los porcentajes de cada especie

En esta evaluación, la identificación de la estructura ionizada y de la no ionizada es correcta en un 79 %, el segundo ejercicio es correcto en un 55 % y el cálculo de los porcentajes de cada especie es correcto en un 31 %. En comparación con el IE6, el porcentaje de acierto para la identificación de la especie ionizada aumentó de un 64 % a un 79 %, lo cual indica que los estudiantes mejoraron su desempeño. Se encontró que, una vez que se responde mal al primer ejercicio, el resto de las respuestas también son incorrectas, lo que resalta la importancia de identificar a la especie ionizada y, como apunta Quílez y Quílez-Díaz (2016), al correcto uso del lenguaje químico.

Para esta pregunta, se relacionaron los resultados con la aplicación y el uso de modelos matemáticos en el cálculo de los porcentajes de cada especie volviendo este un ejercicio integral, que permite identificar situaciones problemáticas de tipo matemático, teórico y de vinculación (tabla 10).

Tabla 9. Respuestas para el ejercicio de absorción y distribución de fármacos

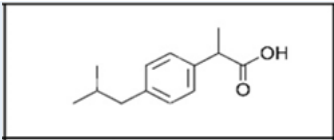
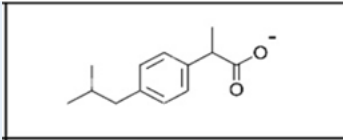
Ibuprofeno		
Estructura		
Ionizada / No ionizada	No ionizada	Ionizada
Se absorbe / No se absorbe	Se absorbe	No se absorbe
% en el estomago	99,94%	0,06%

Tabla 10. Clasificación y cuantificación de los problemas identificados

Estudiantes	Situación	Clasificación del problema
39	No determinan el porcentaje existente de cada especie	Aplicación y modelos matemáticos
26	No entienden la relación del grado de ionización y el porcentaje de absorción	Teórico-conceptual del tema de absorción de fármacos Vinculación
21	No logran identificar la estructura ionizada y la no ionizada	Teórico-conceptual de química y vinculación

4. Conclusiones

Esta investigación mostró que la educación en contexto apoya el proceso de construcción de conocimientos significativos sobre disolución, dilución y equilibrio químico ácido-base en Química General II, así como potencia estos contenidos al aplicarlos en ejemplos específicos relacionados con algunos medicamentos, aumentando el interés y la motivación del estudiante por la química general y su importancia.

Las UII en conjunto con la metodología aplicada en esta investigación permitieron a los estudiantes consolidar los conocimientos de la asignatura de Química General II y también aplicarlos en situaciones contextualizadas, y así abordar de forma inicial conceptos más avanzados y fomentar una comprensión química contextualizada.

Para los temas relacionados con equilibrio ácido-base, los estudiantes mejoraron su desempeño conforme avanzaron en los materiales educativos. Los resultados son mucho mejores en los materiales de disoluciones y diluciones. Lo que sugiere la necesidad de reforzar la comprensión de estos conceptos específicos de equilibrio y, como apunta Quílez y Quílez-Díaz (2016), atender al correcto uso del lenguaje químico.

En ejercicios matemáticos, los estudiantes tienen un buen desempeño. Los estudiantes que presentan problemas de resolución se asocian a tres ejes: aplicación y modelos

matemáticos, teórico-conceptual del tema de absorción de fármacos y teórico-conceptual de química y vinculación.

Una aportación adicional de esta propuesta contextualizada radica en las múltiples personas que se benefician de su implementación. Al docente le presenta opciones para abordar los contenidos y para generar temas transversales que apoyen la construcción de varios conceptos en el curso, y al mismo tiempo iniciar la presentación de posibles aplicaciones en asignaturas posteriores e, incluso, en la industria. Estos materiales educativos y su aproximación didáctica beneficiarán a los docentes de las asignaturas posteriores, ya que abordarán sus temas con mayor facilidad porque desde los primeros semestres se han llevado acciones para desarrollar la resolución de problemas e integración de los conocimientos de los estudiantes.

Esta propuesta ejemplifica el uso de ejercicios contextualizados, en este caso, relacionados con los medicamentos y su aporte a la enseñanza de la química. Contextualizar en distintos escenarios de la enseñanza puede dar respuesta a las necesidades educativas actuales. Esto enfatiza la importancia de seleccionar cuidadosamente las actividades en el proceso educativo, en consideración a tanto los objetivos directos como a los objetivos indirectos del aprendizaje. No obstante, también es necesario valorar aspectos de la actividad antes mencionados que estén alineados con el objetivo seleccionado para

la actividad a fin de optimizar el tiempo y el esfuerzo tanto de los docentes como de los estudiantes, y no invertir una cantidad de tiempo excesiva en actividades que no contribuyen al aprendizaje de los estudiantes. Por tanto, se resalta la complejidad inherente a la planificación y ejecución de estas actividades que revelan implicaciones pedagógicas en el proceso educativo y la necesidad de investigación futura en la relación de actividades de aprendizaje directo e indirecto.

Financiación

Esta investigación no tiene financiación externa.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Implicaciones éticas

Todos los sujetos han sido informados de su participación en el estudio y se cuenta con su consentimiento.

Contribución de los autores

Todos los autores han participado en el diseño de la investigación, el análisis de datos, la planeación metodológica y la revisión. Asimismo, han leído y aprobado la versión enviada a la revista.

Declaración de las tecnologías generativas asistidas por inteligencia artificial (IA) en el proceso de escritura

Durante la preparación de este trabajo, no se han utilizado herramientas de IA.

Referencias

- Bransford, J. D., Brown, A. L. y Cocking, R. R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academy Press.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E. y Burdge, J. R. (2014). *Química: La ciencia central*. Pearson.
- Chang, R. y Goldsby, K. (2017). *Química* (12.ª ed.). McGraw-Hill.
- Crawford, B. A. (2000). Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200011\)37:9%3C916::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200011)37:9%3C916::AID-TEA4%3E3.0.CO;2-2)
- Davidsson, E. y Granklint-Enochson, P. (2021). Teachers' way of contextualizing the science content in lesson introductions. *Science Education International*, 32(1), 46-54. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i1.5>
- Garin, R., Reyes, R., Domantay, G. y Rosals, J. (2021). Contextualized and localized teaching as a technique in teaching basic statistics. *Asia Pacific Journal of Education, Arts and Sciences*, 4(1), 62-67.
- Hamui-Sutton, A. (2013). Un acercamiento a los métodos mixtos de investigación en educación médica. *Investigación en Educación Médica*, 2(8), 211-216. <https://www.elsevier.es/es-revista-investigacion-educacion-medica-343-pdf-S2007505713727145>
- Kind, V. (2004). *Más allá de las apariencias: Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química*. Santillana. http://www.joseantoniochamizo.com/proyectos/mm/pdf/archivo/001_Alla_apariencias.pdf
- Levy, F. y Murnane, R. J. (2004). *The new division of labor: How computers are creating the next job market*. Princeton University Press.
- Maskill, R. y Cachapuz, A. F. (1989). Learning about the chemistry topic of equilibrium: The

- use of word association tests to detect developing conceptualizations. *International Journal of Science Education*, 11(1), 57-69. <https://doi.org/10.1080/0950069890110106>
- Meroni, G., Copello, M. I. y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto: Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación Química*, 26(4), 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.002>
- Molina, M. F. (2018). Uso de kits experimentales para mejorar las actitudes y bajar la repitencia en química general. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 89-95.
- Moraga Toledo, S., Espinet Blanch, M. y Merino Rubilar, C. (2019). El contexto en la enseñanza de la química: Análisis de secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias de secundaria en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1604. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1604
- Orlich, D. C., Harder, R. J., Callahan, R. C., Trevisan, M. S. y Brown, A. H. (2010). *Teaching strategies: A guide to effective instruction*. Cengage Learning.
- Quílez, J. y Quílez-Díaz, A. (2016). Clasificación y análisis de los problemas terminológicos asociados con el aprendizaje de la química: Obstáculos a superar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 20-35. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.03
- Raviolo, A. y Martínez Aznar, M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. *Educación Química*, 16(4e), 159-166. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.4e.66080>
- Rodamilans, M., Cambras, T., Gómez-Catalan, J., Mitjans, M., Llobet, J., Moreno, J., Teixidó, E., Vinardell, M., Barenys, M. y Diez, A. (2010). La coordinación entre profesores de fisiología y toxicología: Un caso práctico en la Facultad de Farmacia de la Universidad de Barcelona. *ARS Pharmaceutica*, 51(2), 45-52. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/27366/Ars%20Pharm%202010%3b51%28Suppl2%2945-52.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez Mendiola, M. y Martínez González, A. (eds.) (2020). *Evaluación del y para el aprendizaje: Instrumentos y estrategias*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Talanquer, V. (2006). Commonsense chemistry: A model for understanding students' alternative conceptions. *Journal of Chemical Education*, 83(5), 811-816. <https://doi.org/10.1021/ed083p811>
- Tshojay, P. y Giri, N. (2021). Contextualized approach in teaching chemistry: The perspectives and practices of teachers and students. *International Journal of Applied Chemical and Biological Sciences*, 2(4), 78-91. <https://visnav.in/ijacbs/wp-content/uploads/sites/3/2021/08/Contextualized-approach-in-teaching-Chemistry-The-perspectives-and-practices-of-teachers-and-students.pdf>
- Túnez Fiñana, I., Galván Cejudo, A. y Fernández Reyes, E. (2001). pH y amortiguadores: Tampones fisiológicos. *Amortiguadoras*, 3, 1-11.
- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. (2024). *Licenciatura Química Farmacéutico Biológica*. <https://quimica.unam.mx/ensenanza/licenciaturas/quimica-farmacaceutico-biologica/>
- Wierdsma, M., Boersma, K. T., Knippels, M. C. y Van Oers, B. (2016). Developing the ability to recontextualise cellular respiration: An explorative study in recontextualising biological concepts. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2388-2413. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2016.1246779>