

Laboratorio en casa: experiencias de química con materiales caseros

Aparicio, María Alejandra¹; Zacur, Sofía¹; Aramayo, Ignacio^{1,2}; Vargas, Milton René¹, Güizzo, María Virginia^{1,2} y Moraga, Norma.^{1,2}

(1) *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta.*

maraapa@unsa.edu.ar

(2) *INIQUI-CONICET.*

normoraga@gmail.com

RESUMEN

En el marco de la pandemia del COVID-19 la educación universitaria presencial tradicional sufrió de forma abrupta un replanteo, sobre todo la de las ciencias basadas en el desarrollo y la adquisición de habilidades psicomotrices propias de cada disciplina, como la Química, Medicina, Odontología, por citar algunas. En este contexto y dado que Química es una ciencia experimental, la cátedra de Química General de la Facultad de Ingeniería de la UNSa, reformuló rápidamente las prácticas de laboratorio, con el objetivo principal de que los estudiantes puedan aplicar los conceptos teóricos en situaciones cotidianas (experiencias caseras) que les permitieran experimentar, “visualizar” y volver “tangible” la química. La respuesta de los estudiantes, su participación y las opiniones respecto de esta propuesta nos permiten concluir que esta iniciativa no sólo logró su objetivo sino que es una herramienta estimulante que puede ser complementaria a las tradicionales y digna de ser profundizada.

ABSTRACT

In the framework of the COVID-19 pandemic, traditional face-to-face university education suffered an abrupt rethinking, especially that of sciences based on the development and acquisition of psycho-motor skills specific to each discipline, such as Chemistry, Medicine, Dentistry, to name a few. In this context and given that Chemistry is an experimental science, General Chemistry's Chair of the Faculty of Engineering of the UNSa, quickly reformulated the laboratory practices, with the main objective that students can apply theoretical concepts in everyday situations (home experiences) that allowed them to experience, “visualize” and make chemistry “tangible”. The students' response, their participation and the opinions regarding this proposal allow us to conclude that this initiative not only achieved its objective but it is a stimulating tool that can be complementary to the traditional ones and worthy of being deepened.

Palabras claves: Virtualidad-Experimentación-Química

Keywords: Virtuality-Experimentation-Chemistry

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza como una actividad social está enmarcada dentro de un contexto institucional, tiene propósitos claros, intencionalidad y racionalidad en las prácticas a desarrollar en el aula, para mejorar la calidad de los procesos de transmisión y apropiación de conocimientos. Para dar cumplimiento a estos objetivos, los docentes de Química General de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Salta (UNSA),

centralizamos nuestro esfuerzo en que los estudiantes logren aplicar los conceptos proporcionados en las clases teóricas para la resolución de problemas y relacionarlos con ejemplos reales de la vida cotidiana, sabiendo que esto no suple el desarrollo de destrezas y habilidades en el uso de materiales y equipos de laboratorio, pero que facilita la visualización de conocimientos.

El contexto actual de emergencia sanitaria por el COVID-19, nos desafió y obligó a docentes y estudiantes a repensar los procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos virtuales. Esta nueva realidad compleja, requirió de nuestra capacidad y flexibilidad, ya que en algunos casos debimos aprender o profundizar acerca de estos entornos para enseñar de una manera radicalmente distinta a la que estábamos acostumbrados.

Química General es una asignatura que se dicta en el 2° cuatrimestre de 1° año según el plan de estudios y se redicta en el 1° cuatrimestre, común a las cuatro carreras de Ingeniería que ofrece la Facultad. Al ser una ciencia experimental, es de suma importancia que los estudiantes adquieran a través de la experimentación, habilidades motrices que aporten a las competencias específicas en la formación de los ingenieros. La realización de trabajos prácticos (TP) de laboratorios suele lograr un aprendizaje significativo en los estudiantes, ya que les permite aprender mediante la experiencia y poner en práctica el método científico de ensayo y error.

El dictado tradicional contempla la realización de varios TP experimentales de Química General, pero a causa del aislamiento social y a la imposibilidad de realizarlos en el laboratorio propiamente dicho, debimos reformularlos. Se hicieron adaptaciones para que éstos puedan desarrollarse en los hogares de los estudiantes, como experiencias caseras y usando insumos y elementos de fácil acceso en tiempos de restricción (aislamiento). Estas adaptaciones tuvieron cierto nivel de exigencia, para luego ser validadas académicamente a través de la homologación correspondiente por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería.

En ambas modalidades de cursado (presencial y virtual), es requisito para la aprobación de la asignatura mediante promoción, tener realizados y aprobados todos los laboratorios previstos. Esto implica aprobar los cuestionarios referidos a cada trabajo práctico de laboratorio, además de presentar los informes escritos correspondientes a cada uno de ellos. De ahí la importancia de modificar los TP, para cumplir con este requisito del plan de estudios y del reglamento vigente.

En la Facultad de Ingeniería de la UNSa, el sistema de aprobación de las materias es por promoción sin examen final. Incluye además de los trabajos de laboratorios, rendir las evaluaciones de cada tema del programa y aprobar los parciales. Todas estas instancias se

consideran en la fórmula polinómica como requisito para la promoción y las mismas ponderan un 15 %, 25 % y 60 % respectivamente en la nota total de promoción.

1.1 *Objetivos y rediseño de las experiencias*

Los TP de laboratorio para desarrollar en Química General se plantean teniendo en cuenta los niveles de la enseñanza de Johnstone (1991): reconociendo por medio de los sentidos las características físicas de los sistemas propuestos (nivel macroscópico), la variación de alguna propiedad de los componentes del mismo (nivel submicroscópico) y representando mediante fórmulas y ecuaciones químicas (nivel simbólico) lo observado.

Las experiencias a realizar en forma casera se diseñaron para lograr:

- que el estudiante evidencie, relacione y logre la apropiación de conceptos abordados en la asignatura en los tres niveles que plantea Johnstone (1991),

- que las experiencias fueran seguras, tanto para los estudiantes como para el resto de los integrantes del grupo familiar, así como para las instalaciones edilicias,

- que los materiales necesarios estuvieran disponibles en cada casa o fueran fáciles de adquirir y económicos, sin tener que desplazarse mucho para poder conseguirlos,

- incentivar el trabajo en equipo a través de los distintos medios audiovisuales disponibles, fomentando la discusión y el intercambio de opiniones en grupos, para el desarrollo de una capacidad crítica en el alumno.

1.2 *Modalidad de trabajo en general*

Se plantearon seis TP caseros, correspondientes a seis de los ocho temas del programa: Estructura atómica, Estados de la Materia, Soluciones, Termoquímica, Equilibrio iónico y Electroquímica. Para cada uno se confeccionó una guía de procedimiento experimental con objetivos, materiales y métodos (con varias posibilidades), pautas, modalidad y fecha de presentación, cuidados a tener y bibliografía.

La misma fue subida a la plataforma *Moodle* y en algunos casos también se acompañó la misma con videos, audios, presentaciones y páginas académicamente confiables como soporte para consultas.

En general los alumnos contaron con una semana para el desarrollo de cada actividad (tabla 1), sin embargo a pedido de los estudiantes, para los últimos dos laboratorios tuvieron más tiempo.

La modalidad de trabajo se planteó en grupos de entre 6 a 8 alumnos, de todas las actividades se presentaron informes y en algunos casos videos de las experiencias realizadas (siempre en formato digital).

Tabla 1. Modalidad de trabajo para laboratorios caseros

Se desarrolló un flujo de consultas donde las auxiliares fueron la primera línea para la evacuación de dudas de los estudiantes, y cuando

Tema	2	3	4	5	7	8
Laboratorio	Bolillas	Gases	Soluciones	Termo	Indicadores	Pilas
Soporte	Guía y video del docente.	Guía.	Guía y páginas webs (blogs).	Guía interactiva en formato ppt.	Guía y audios del docente.	Guía y videos (youtube).
Presentación	Informe.	Informe y video.	Informe y video.	Informe.	Informe.	Informe.
Fecha Inicial	22/04/2020	04/05/2020	22/05/2020	05/06/2020	26/06/2020	11/07/2020
Fecha de Entrega	26/04/2020	11/05/2020	29/05/2020	12/06/2020	08/07/2020	31/07/2020

ellas tuvieron inconvenientes en responder, se solicitó el apoyo de los docentes a cargo. Los principales medios de comunicación utilizados fueron: *Whatsapp*, y foros de consulta o chat a través de la plataforma *Moodle*. En todos los TP cada grupo informó al ayudante alumno la constitución del mismo y la experiencia elegida en función de los materiales disponibles. Todos los grupos debían realizar un video breve y además, presentar un informe escrito con objetivos, fundamentación teórica, procedimiento, fotos del resultado del experimento, cálculos, conclusiones y toda observación que creyeran conveniente aclarar.

Los TP fueron evaluados por medio de cuestionarios virtuales realizados por la plataforma *Moodle*, en los cuales los alumnos disponían de 15 minutos para completar de 3 a 5 preguntas de distinta modalidad (verdadero/falso, opción múltiple, respuesta numérica, entre otras). El contenido de las mismas se basó en los conceptos teórico/prácticos de los temas de laboratorio, de las guías de los trabajos a desarrollar de forma casera, así como también de los aspectos de higiene y seguridad inherentes.

1.3 Laboratorios propuestos

1.3.1 Tema 2: Laboratorio con bolillas

Estructura atómica es el tema más abstracto para ser abordado en Química General. Resulta

entonces de suma importancia, desde el punto de vista didáctico, encontrar un modo para que el alumno visualice conceptos básicos del tema como composición isotópica y masa atómica relativa. Sobre esta premisa se basó el objetivo específico de este laboratorio.

La experiencia se abordó mediante un video grabado por la docente, a partir del cual los estudiantes podrían recopilar los datos necesarios para responder las preguntas sugeridas. Se sugirió el uso de materiales disponibles en el hogar que pudieran representar átomos de un mismo elemento, en este caso bolillas (canicas) de colores y una balanza hogareña (Fig. 1).



Figura 1: Materiales utilizados en el Laboratorio de las bolillas.

Un conjunto de bolillas estaba constituido cual si fuera una muestra de una dada sustancia elemental que se denominó “caniquero”, en donde bolillas de un mismo color representaron átomos individuales de un mismo tipo isotópico. La muestra se conformó por canicas de colores diferentes (isótopos distintos) en una proporción definida (abundancia isotópica). El objetivo específico de la experiencia fue determinar la composición de una muestra incógnita constituida por 10 “átomos de caniquero”.

En una primera parte, se trabajó con dos “isótopos” diferentes. Se pesaron individualmente 10 bolillas de cada color utilizando una balanza hogareña con una precisión hasta la décima de gramo. A partir de estos datos podía calcularse la masa “isotópica” promedio ($m_{isotopo}$). Luego, se presentó una muestra incógnita constituida por 10 bolillas, que fue pesada con la misma balanza ($m_{muestra}$) (tarando previamente el recipiente contenedor vacío).

Despejando de la Ecuación 1 la cantidad de bolillas (isótopos) de cada tipo (X e Y) que constituyen la muestra incógnita y sabiendo que

la suma de X más Y es igual a 10, podían conocer la “composición isotópica” de la muestra:

$$m_{muestra} = X \cdot m_{isotopo1} + Y \cdot m_{isotopo2} \quad (1)$$

En una segunda parte de la experiencia, se planteó hipotéticamente el descubrimiento de un “nuevo isótopo” (canica de color distinto) cuya masa promedio relativa se brindó como dato, así como los nuevos porcentajes de abundancia para cada isótopo (considerando este nuevo tipo de canica). Utilizando las masas “isotópicas” promedio de los otros dos isótopos determinadas anteriormente, se pidió que calculen la masa “atómica” promedio de este elemento.

Finalmente se pesó una segunda muestra incógnita con los tres isótopos. Sabiendo la masa atómica promedio del “elemento” calculada en el paso anterior, el estudiante podía indicar cuántas bolillas había en total en la muestra, y, con los datos de abundancia porcentual suministrados podía determinar cuántas canicas de cada color había presentes.

1.3.2 Tema 3: Laboratorio de gases

El objetivo de este TP fue demostrar cualitativamente las leyes de los gases ideales abordadas en las clases teóricas.

Se plantearon pautas mínimas para la realización de cinco experiencias, para demostrar las leyes de Boyle-Mariotte, Charles-Gay Lussac y Lavoisier (estequiometría de gases). Cada grupo debía elegir solo una de las experiencias mencionadas en función de sus posibilidades y realizar un video breve, además del informe.

Fueron utilizados para todas estas experiencias: botellas plásticas descartables, globos, termómetro, balanza, jeringas, cinta métrica, cocina para calentar recipientes con agua, heladera o frízer para enfriar a distintas temperaturas, bicarbonato de sodio y vinagre.

1.3.3 Tema 4: Laboratorio de soluciones

Los objetivos específicos de este TP fueron: preparar soluciones acuosas de distintos solutos líquidos y sólidos; relacionar la disminución de concentración de soluto con la merma de color al realizar diluciones; calcular concentraciones en distintas unidades; corroborar el cambio en la temperatura de ebullición de soluciones de electrolitos y no electrolitos.

Se plantearon pautas mínimas para la realización de cinco experiencias para preparar soluciones de: hipoclorito de sodio (lavandina), alcohol etílico, jugo artificial (de sobre), café instantáneo, cloruro de sodio (sal de mesa), sacarosa (azúcar). En cuanto a las soluciones de lavandina y alcohol consideraron las concentraciones recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para combatir el COVID-19, de modo que notaran la importancia del tema en el contexto actual y pudieran utilizarlas como desinfectante. Además de preparar las soluciones, los estudiantes debían expresar las concentraciones de las mismas en distintas unidades. Las soluciones de cloruro de sodio y sacarosa preparadas se usaron además para determinar el efecto de solutos iónicos y no iónicos en las propiedades coligativas, puntualmente el ascenso ebulloscópico por ser la más sencilla de medir.

Fueron utilizados para estas experiencias: recipientes de distinto volumen, termómetro, cucharas para agitar, jugo en sobre, café, lavandina, alcohol etílico, cloruro de sodio, sacarosa y cocina para calentar.

1.3.4 Tema 5: Laboratorio de termoquímica

Para facilitar la asociación y correlación de conceptos de calorimetría se propuso la elaboración de un termo casero (termo de Dewar). El objetivo de este TP fue despertar el interés y la motivación realizando un dispositivo de uso masivo para mantener la temperatura de líquidos. Para esta experiencia se requirieron los siguientes materiales: 2 botellas de plástico grandes, 1 botella de agua pequeña, pegamento, papel de aluminio, hilo sisal, piolín o un lazo y por último material aislante (telgopor, corcho, estopa, bolsas con ampollas de aire, goma espuma, etc.).

El procedimiento de elaboración consistió primero en cortar una de las botellas grandes por la parte superior y el material aislante en trozos pequeños. Se rellenó la base de la botella con material aislante y luego se introdujo la botella de agua pequeña (tratando que quede lo más centrada posible) previamente forrada con papel aluminio, este último paso cumple la función de evitar la pérdida de calor por radiación. Posteriormente, con el material aislante sobrante se rellenó de forma homogénea, la botella grande, esto es, para la “eliminación” de la propagación del calor por conducción y convección. (Fig. 2).



Figura 2: Elaboración de termo casero.

Por último, se cortó la segunda botella, de manera de poder obtener una tapa para el termo a la cual se debió a rellenar con el mismo material aislante.

1.3.5 Tema 7: Laboratorio de indicadores

El equilibrio iónico en soluciones acuosas no es un tema que atañe únicamente a la mesada del laboratorio.

Según Castañeda-Ovando (2009), la cianidina es un indicador natural clasificado como flavonoide que se encuentra en frutas y hortalizas, como repollo colorado, las zarzamoras, frambuesas, uvas, arándanos y entre otros. El objetivo de este TP fue afianzar conceptos de acidez, basicidad, pH, indicadores ácido-base y visualizar la diversidad de mezclas cotidianas que presentan equilibrios ácido-base. Esta experiencia consistió en la obtención de un indicador ácido-base natural a partir del caldo de cocción concentrado y filtrado del repollo colorado y a partir de éste armar una escala de pH para determinar el carácter ácido o básico de diversas disoluciones de uso cotidiano.

Dada la región, la estación del año y el costo, se sugirió el uso de repollo colorado. Además de este insumo, se precisó jugo de limón, vinagre de mesa, bicarbonato de sodio y agua lavandina para realizar la escala de pH.

Los materiales utilizados consistieron en vasos medidores (como los de remedios), balanzas de cocina y recipientes de vidrio transparentes iguales (como vasos o computeras).

La preparación de estas disoluciones implica la aplicación de conceptos abordados en temas anteriores. Para afianzar los conocimientos en este tema se solicitó el cálculo del pH de cada solución medida (tomando en cuenta las concentraciones trabajadas o las indicadas en el envase y debiendo averiguar en tablas las constantes de equilibrio necesarias para tal fin).

Finalmente, se sugirió determinar el carácter ácido-base de otras sustancias cotidianas agregando 10 mL de indicador a 50 mL de éstas:

soda comercial, gaseosa sabor lima-limón (sin colorantes agregados) o de una solución acuosa de jabón en polvo al 1% y comparar el color desarrollado con la escala de pH.

1.3.6 Tema 8: Laboratorio de pilas

Electroquímica es uno de los temas de Química General que presenta mayor versatilidad para ser plateada experimentalmente tanto en el laboratorio como a través de sencillas experiencias que se pueden realizar en el ámbito hogareño (Uno Para Todos, 2015; Química Ciencia, 2016; Ruiz, 2017), permitiendo que los estudiantes de todas las ingenierías potencien sus habilidades prácticas y desarrollen su pensamiento crítico al enfrentarse a problemas simples que deberán resolver aplicando los conocimientos adquiridos.

En este laboratorio se planteó como objetivo la aplicación de los conceptos teórico/prácticos del funcionamiento de celda voltaica y para conseguirlo se propusieron tres experiencias:

- La construcción de una pila con papas y limones.
- La confección de una batería usando latas de aluminio y cables de cobre.
- El desarmado de una pila “AA” de carbón-Zn (ésta última de carácter opcional).

Fueron utilizados para estas experiencias: papas, limones, latas de aluminio, chapitas de cinc y cobre, agua, sal, cables, servilletas de papel, foco de linterna y/o voltímetro (opcionales).

1.4 Encuestas

Finalizado el dictado virtual y a continuación del examen integrador se realizó una encuesta para conocer la opinión de los estudiantes sobre diferentes aspectos de la materia que dio lugar a un análisis interno de nuestras fortalezas y debilidades en la implementación de esta metodología.

2 RESULTADOS

2.1 Laboratorios

2.3.1 Tema 2: Bolillas

La primera parte del laboratorio, en la que se plantearon los cálculos a realizar, sirvió como

práctica de los conocimientos adquiridos. La segunda en cambio, carente de ecuaciones y los métodos de análisis, sirvió como desafío ya que para responder las cuestiones planteadas se debían reorganizar los datos disponibles. Esto fue una forma de afianzar los conocimientos mediante el análisis a conciencia del significado de cada término estudiado.

Las preguntas y consultas de los alumnos durante la realización de este laboratorio reflejaron un análisis más profundo de los temas abordados respecto a la mera resolución de ejercicios prácticos alcanzando satisfactoriamente los objetivos del mismo.

Este mismo laboratorio pudo plantearse con galletas, monedas, caramelos u otros objetos pequeños similares.

2.3.2 Tema 3: Gases

Se evaluó la demostración y representación de alguna de las leyes de los gases de una manera casera (Fig. 3 y 4), el lenguaje utilizado (escrito u oral), la claridad de la explicación y la creatividad en la producción.



Figura 3: Ley de Lavoisier, reacción entre bicarbonato de sodio y vinagre con formación de dióxido de carbono.



Figura 4: Ley de Charles-Gay Lussac, relación entre V y T a P constante.

2.3.3 Tema 4: Soluciones

Se evaluó la preparación de soluciones a partir de solutos sólidos y líquidos y la realización de diluciones a partir de ellas (Fig. 5 y 6), así como la producción realizada, el lenguaje utilizado (escrito u oral) y la claridad de la explicación.



Figura 5: Solución de jugo artificial de naranja y dilución.



Figura 6: Preparación de lavandina como desinfectante para Covid-19.

2.3.4 Tema 5: Termo

Este laboratorio dió lugar a la imaginación, creatividad y desafío cognitivo de los estudiantes ya que disponían de una gran cantidad de materiales aislantes para utilizar, como así también la libertad de proponer otro tipo de material justificando su elección. Les permitió profundizar el conocimiento de un fenómeno determinado, estudiarlo teórica y experimentalmente, ya que se vieron en la tarea de investigar el calor específico del material aislante usado y del aluminio y cómo influyen en la conservación del calor. Los informes, fotografías y vídeos reflejaron el ingenio y empeño que pusieron los alumnos al realizar el laboratorio (Fig. 7).



Figura 7: Algunos de los termos caseros realizados por los estudiantes.

2.3.5 Tema 7: Indicadores

Para armar una escala desde pH ácido a pH básico, 10 mL de solución indicadora se agregaron a 50 mL de diversas soluciones contenidas en diferentes recipientes transparentes en el siguiente orden: jugo de limón; una dilución 1:10 de vinagre de mesa; agua corriente; bicarbonato de sodio 5% m/v y agua lavandina concentrada. Los colores se observaron y fotografiaron inmediatamente (Fig. 8).



Figura 8: Escala de pH ácido-básico. Soluciones (con indicador) de izquierda a derecha: jugo de limón; vinagre de mesa (1:10); agua corriente; bicarbonato de sodio (5% m/v) y lavandina concentrada (55 g/L).

En líneas generales esta colorida práctica de laboratorio entusiasmó al alumnado tal como demuestran las fotografías (Fig. 9) enviadas por ellos acercándoles el equilibrio químico y la determinación de pH de sustancias de uso cotidiano a sus hogares. De hecho esta experiencia despertó en los estudiantes el interés por probar el pH de otras sustancias distintas a las propuestas en la guía, lo que dio lugar a consultas y un aprendizaje más enriquecedor.



Figura 9: Escalas de pH obtenidas por los estudiantes.

2.3.6 Tema 8: Pilas

Esta actividad fue realmente desafiante para los estudiantes, ya que se enfrentaron con varios problemas prácticos de medición, conexión, búsqueda de materiales, así como también se presentaron dificultades conceptuales para poder entender y explicar el funcionamiento de los dispositivos desde un punto de vista teórico. Por lo que la actividad, resultó muy enriquecedora para poner en funcionamiento todo el ingenio de los estudiantes (Fig. 10).

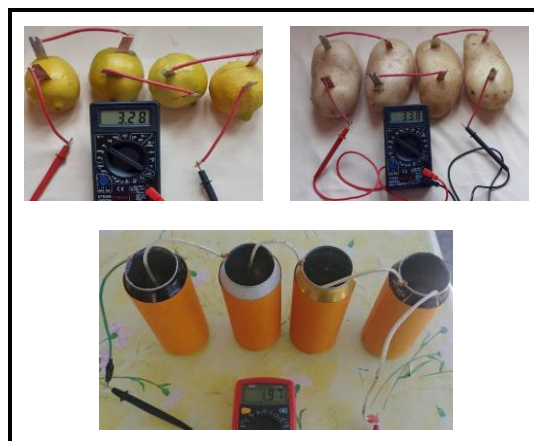


Figura 10: Celdas voltaicas fabricadas por los estudiantes, hechas con papas, limones y latas de aluminio.

2.2 Participación y Encuestas

En general todos los prácticos propuestos tuvieron un alto nivel de participación por parte de los estudiantes de todas las comisiones (Fig. 11).

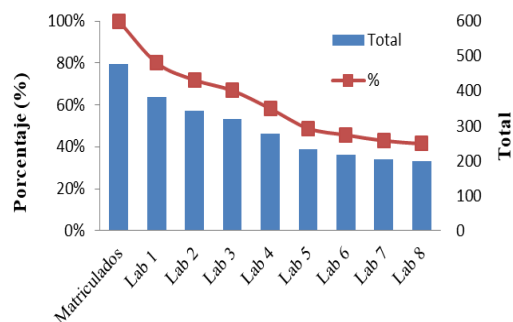


Figura 11: Participación de los estudiantes en

todas las instancias de los laboratorios (coloquios, informes y realización de experimentos).

De las opiniones de los estudiantes vertidas en la encuesta, no sólo realizamos un análisis de las fortalezas y debilidades de esta metodología (Fig. 12), sino también recogimos muchas sugerencias que implementaremos en el próximo dictado.

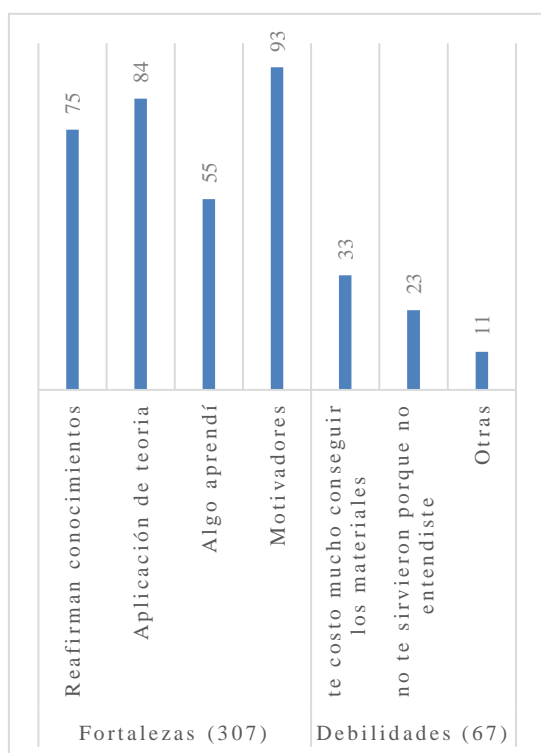


Figura 12: Fortalezas y debilidades detectadas en la implementación de las experiencias caseras.

3 CONCLUSIONES

Tantos los resultados de las experiencias propuestas para realizar en forma casera, como las opiniones sobre las mismas obtenidas en las encuestas nos permiten concluir que logramos que los estudiantes evidencien, relacionen y logren la apropiación de conceptos en los tres niveles de la asignatura.

Al ser experiencias sencillas de desarrollar, logramos motivar a los estudiantes, lo que implicó una alta y activa participación, algo que nos preocupaba dado el contexto y el tipo de materia.

Aun cuando la educación virtual no permite el desarrollo de competencias psicomotrices específicas de la disciplina, como sí ocurre en las prácticas tradicionales, lo realizado resultó estimulante y complementario.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de las autoridades de la Facultad de Ingeniería (gestión 2019-2022) por escuchar, acompañar, fomentar, reconocer y respaldar el trabajo realizado por docentes y estudiantes.

A las tres auxiliares alumnas María Inés López, Fernanda Tamara Hnilitza y Antonella Alexia Ceballos, que estuvieron a disposición de estudiantes y docentes.

5 REFERENCIAS

- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández M.L., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A., Chemical studies of anthocyanins: A review, *Food Chemistry*, 113, 859–871, 2009
- Johnstone, A. “Why Is science difficult to learn? Things are seldom what they seem”, *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 7, pp.701-703, 1991.
- Ruiz F. M. Experimentadores 20.- Cómo hacer una pila casera con limones. Septiembre 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=4eMK1JSqP3s>
- Uno Para Todos. Como hacer una batería o pila usando latas. Marzo 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=-MI7NHujC1c>
- Química Ciencia. Conseguir Dióxido de manganeso, zinc, y carbón (Electrodos). Julio 2016. https://www.youtube.com/watch?v=F_n-BLLvAdo