



¿Cómo explicar tipos de reacciones químicas en disolución acuosa con materiales de fácil adquisición, en educación secundaria costarricense?

Castillo- Rodríguez Kenneth^a, Villalobos González Wendy^b

^a Coordinador Programa de Capacitación Permanente en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad Estatal a Distancias, kcastillo@uned.ac.cr.

^b Directora de la Cátedra de Ciencias Químicas, Universidad Estatal a Distancias, wvillalobosg@uned.ac.cr

ARTICLE INFO

Received: August 14, 2017

Accepted: September 20, 2017

Available on-line: November 2, 2017

Keywords: cambio químico, reacción química, vocaciones científicas

E-mail addresses:

kcastillo@uned.ac.cr

wvillalobosg@uned.ac.cr

ISSN 2007-9842

© 2017 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

Chemical changes in matter are described using chemical reactions which are classified according to the traditional and modern method. In the following study a workshop was designed on types of chemical reactions in aqueous solution and their classification. The workshop consisted of 3 parts; In a first part a theoretical-practical explanation of the types of reactions and their main characteristics was realized, with the aid of a kit of aqueous solutions demonstrations of each of them were realized. The second part consisted of a laboratory on chemical reactions where materials of daily use and of easy acquisition in different stores were used. In the third stage each working group presented its results with a paperboard. The workshop was applied to a total of 39 MEP Science teaching professors in the San Carlos and Perez Zeledon areas of Costa Rica, and 32 high school students who participated in the 1st Camp of Scientific Sciences in Chemistry (QuimiCamp). Students demonstrated interest and motivation when they were given a more dynamic class. Teachers agreed that applying a laboratory and practical demonstration on the types of chemical reactions in the classroom would promote students' affinity for chemistry and increase scientific vocations in the area.

Los cambios químicos de la materia, se describen utilizando reacciones químicas las cuales se clasifican según el método tradicional y moderno. En el siguiente estudio se diseñó un taller sobre tipos de reacciones químicas en disolución acuosa y su clasificación. El taller constó de 3 partes; en una primera parte se realizó una explicación teórica-práctica de los tipos de reacciones y sus principales características, con ayuda de un kit de disoluciones acuosas se realizaron demostraciones de cada una de ellas. La segunda parte constó de un laboratorio sobre reacciones químicas en donde se utilizaron materiales de uso cotidiano y de fácil adquisición en distintos comercios. En la tercera etapa cada grupo de trabajo exponía sus resultados con un papelógrafo. El taller fue aplicado a un total 39 profesores de enseñanza de las Ciencias del MEP en las zonas de San Carlos y Pérez Zeledón en Costa Rica, y a 32 estudiantes de secundaria que participaron en el I campamento de Vocaciones Científicas en Química (QuimiCamp). Los estudiantes demostraron interés y motivación cuando se les hace una clase más dinámica. Los docentes coincidieron que aplicar un laboratorio y una demostración práctica sobre los tipos de reacciones químicas en el aula, promovería la afinidad de los estudiantes por la química y aumentaría las vocaciones científicas en el área.

I. INTRODUCCIÓN

La química es la ciencia que estudia las propiedades de la materia y sus transformaciones, esta es una definición breve y concreta, sin embargo, esto conlleva una amplitud de temas, ya que es la química una disciplina de la cual se derivan otro tipo de ciencias con diversas aplicaciones industriales y tecnológicas (Petrucci, Herring, Madura, y Bissonnette 2011; Brown, Lemay, Bursten, Murphy y Woodward , 2014).

Parte del estudio de la química como ciencia básica son los cambios químicos, y en especial las reacciones químicas. Un cambio químico se produce cuando una sustancia se transforma en otra diferente modificando sus propiedades con respecto a la sustancia que le dio origen. En los cambios físicos, se modifica únicamente la forma en que están unidas, o se mezclan, las partículas de unas sustancias con las de otras, sin afectar la composición inicial de las mismas, es decir, la materia se deforma, pero no cambia su composición molecular (Petrucci, Herring, Madura, y Bissonnette 2011; Brown, Lemay, Bursten, Murphy y Woodward , 2014). En el cuadro 1 se muestran algunos criterios para distinción entre un cambio físico y químico.

TABLA I. Criterios para distinguir entre un cambio químico y un cambio físico.

Criterio	Cambio químico	Cambio físico
Energético	Produce o requiere grandes cantidades de calor	Produce o requiere pequeñas cantidades de calor
Reversibilidad	Difícilmente, pero si es posible.	Fácilmente (no en todos los casos es reversible)
Apariencia	Incluye un cambio de color o aspecto físico (incluye la mayoría de cambios que se ven involucrados en reacciones químicas)	No hay cambio de color o puede cambiar de aspecto físico (cambio de estado de agregación)
Enlace	Implica ruptura y formación de enlaces	No hay rupturas ni formación de enlaces

Al efectuarse un cambio químico, generalmente se relaciona a una reacción química, que es uno de los procesos de transformación de la materia más comunes en la química; dicha reacción se representa por medio de una ecuación química. Las ecuaciones químicas, son una representación gráfica mediante símbolos y letras que permiten describir el proceso que ocurre en una reacción química, estas deben cumplir con la ley de conservación de la masa propuesta por Lavoisier que explica que: “En las reacciones químicas, la masa total de las sustancias que reaccionan (reactivos) es igual a la masa total de las sustancias que se obtienen (productos de la reacción)” (Pérez, 2013; Chang y Goldsby, 2017).

El concepto de cambio químico, reacciones químicas y conservación de la masa, son temas que están presentes en los primeros temas de la mayoría de cursos de Química de nivel de enseñanza secundaria e universitaria. En Costa Rica este tema se involucra en el objetivo 3 del programa de estudio del Ministerio de Educación Pública (MEP) para educación diversificada: “Analizar los procesos químicos que ocurren en la naturaleza y la importancia de un manejo racional de estos, para favorecer las condiciones de sostenibilidad ambiental” (MEP, 2016).

Actualmente en el país la mayoría de instituciones públicas de educación secundaria, no tienen acceso a un laboratorio de ciencias y/o aulas con equipo de video, por lo que la enseñanza tradicional del concepto de reacción química se lleva a cabo a modo de clase magistral, lo cual, deja grandes vacíos en el tema, ya que la comprensión de un proceso mediante una descripción verbal, se torna muy difícil sin en el acompañamiento de una metodología vivencial por parte del estudiante (Rodríguez, 2009). Además, según Ahtee (2003), a los alumnos de los primeros niveles educativos les resulta confuso hacer la distinción entre cambios físicos y químicos, dificultándose después el buen entendimiento del tema de reacciones químicas y sus tipos, esto debido a la falta de esa experiencia vivencial anteriormente mencionada.

En otro estudio realizado por Borsese (2003), sobre la enseñanza del tema de reacciones químicas, para los estudiantes en un primer nivel de comprensión conceptual son aquellos que observan los cambios macroscópicos, pero no comprenden por qué ocurre un cambio, una reacción química es para ellos un hecho con manifestaciones inusuales e inesperadas, tales como efervescencia, explosión o cambio de color. No captan la idea de transformación como un proceso interactivo, que llevan de un estado inicial a uno final.

Los estudiantes en el segundo nivel de comprensión (intermedio) identifican un fenómeno químico como la formación de un nuevo producto. Sin embargo, presentan dos formas de razonamiento: a) Si existen dos reactivos, ocurre un cambio químico, lo cual no es correcto afirmar, ya que podemos tener disoluciones o un solo reactivo b) Cuando aparece “algo más” hay reacción, no distinguen si se han formado nuevos productos o si es que los reactivos se han conservado durante la transformación. Según ese mismo estudio, se ha observado que muchos alumnos de este nivel intermedio piensan que los productos son una mezcla de reactivos. Y en el tercer y último nivel de comprensión conceptual los estudiantes logran relacionar entre la observación macroscópica y la estructura de la materia (Borsese, 2003).

El diseño de esta investigación apunta a resaltar la interacción didáctica entre el estudiante, los conceptos, las actividades y el uso de disoluciones acuosas, proporcionando la necesaria direccionalidad en los procesos de diferenciación progresiva y de integración del concepto reacción química y su red conceptual; para efecto de la consolidación del aprendizaje.

Por otra parte, esta estrategia también replantea el uso de un kit de disoluciones acuosas como medio demostrativo de algunos tipos de reacciones químicas como un escenario apto para ampliar la participación, ya que a través de una actividad práctica estructurada didácticamente, se conduce a los estudiantes a obtener aprendizajes y evaluaciones auténticas.

II. METODOLOGIA

En el presente trabajo se realizó un taller teórico-práctico sobre reacciones químicas en disolución acuosa y su clasificación, enfocado a dos tipos de poblaciones: estudiantes de secundaria y cuerpo docente activo del MEP.

El taller fue aplicado en mayo 2016 en el Centro de Investigación, Transferencia Tecnológica y Educación para el Desarrollo de la Universidad Estatal a Distancia (CITTED), a 15 profesores de la Regional de San Carlos y en marzo 2017 en la Regional de Pérez Zeledón a 24 profesores. Tuvo una duración de 6 horas y la escogencia de los participantes fue aleatoria, ya que en él se inscribieron los profesores que tenían interés en llevarlo. En la figura 1 se muestra una distribución de frecuencia de las edades de los profesores participantes en San Carlos y Pérez Zeledón.

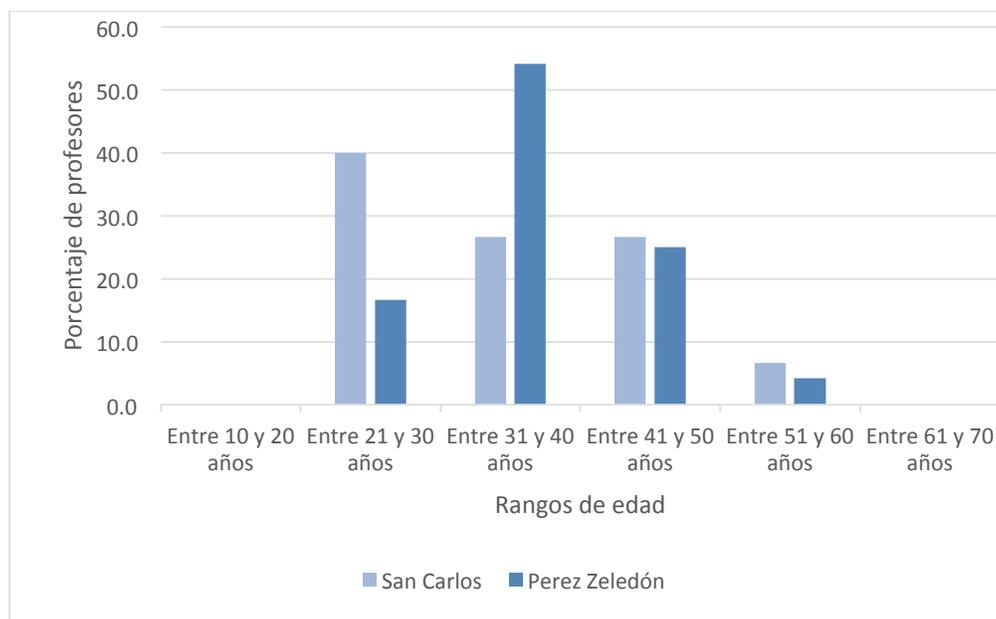


FIGURA 1. Distribución de frecuencia de las edades de los docentes participantes en el taller de Reacciones Químicas, CITTED mayo 2016 y Pérez Zeledón marzo 2017.

En noviembre 2016 en la Estación Biológica Marina de la Universidad Nacional (ECMAR) ubicada en Puntarenas, se llevó cabo el taller en el marco del I Campamento de Vocaciones Científicas en Química (QuimiCamp), el cual fue aplicado a 32 estudiantes de secundaria que formaron parte de las Olimpiadas Costarricenses de Química. En esta ocasión la selección de los participantes fue escogida por el comité Organizador de la Olimpiada y el criterio utilizado fue haber ganado medalla durante el año 2016. En la figura 2, se muestra la distribución de las edades de los estudiantes participantes, donde la moda fueron los 15 años.

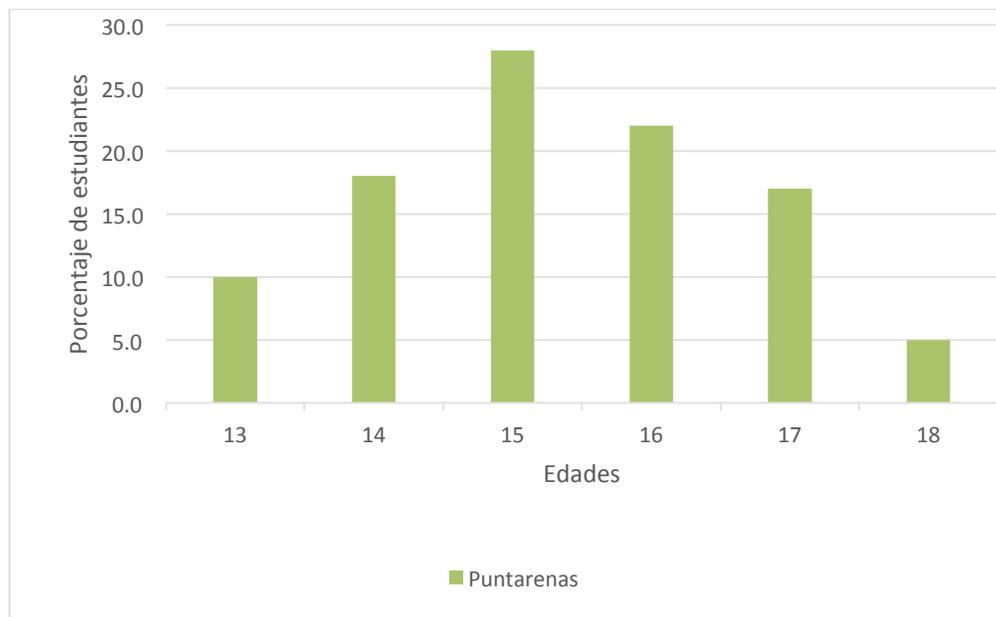


FIGURA 2. Distribución de frecuencia de las edades de los estudiantes participantes en el taller de Reacciones Químicas, QuimiCamp-ECMAR noviembre 2016.

El taller consta de tres partes: la primera parte fue una explicación teórica-demostrativa de los tipos de reacciones químicas, su clasificación y características principales, aquí se utilizó un kit de disoluciones acuosas para realizar la demostración de los diferentes tipos de reacciones químicas con ayuda de los participantes. Como segunda parte, los participantes del taller conformaron 5 grupos y se les proporcionó una práctica de laboratorio sobre diferentes reacciones químicas, estas prácticas fueron nombradas: a) Redox efectivos, b) Precipitación de taninos, c) Acido-Base y su variación del pH, d) Descomposición del KI por electricidad y e) Formación de compuestos de coordinación. Tercera parte, al final del experimento los participantes debían elaborar una exposición sobre la práctica realizada, donde incluían las reacciones involucradas, manifestación macroscópica y las conclusiones del grupo a nivel microscópico sobre las reacciones experimentadas.

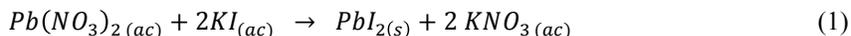
I Parte teórica-demostrativa

Para la exposición de la parte teórica-demostrativa, se desarrolló una presentación en Power Point® donde se abarcaron conceptos de cambio químico, reacción química, ecuación química, ley de conservación de la masa y balanceo de ecuaciones químicas; luego se desarrolló el tema de reacciones químicas; basado en el método de clasificación tradicional y moderno.

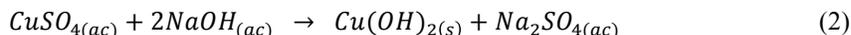
En el método tradicional se detallaron los tipos de reacciones de combinación, descomposición, desplazamiento simple, doble desplazamiento y combustión. Sin embargo, la explicación se enfocó de forma general, ya que estos tipos de reaccionan también forman parte del método de clasificación moderno.

En el método de clasificación moderno se describieron las reacciones de precipitación (doble desplazamiento), neutralización (doble desplazamiento), redox (simple desplazamiento) y formación de compuestos de coordinación (combinación).

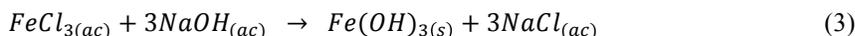
En las reacciones de precipitación 1, 2,3 y 4 se explicó que estas reacciones también son de doble desplazamiento, en donde ocurre una combinación de elementos extremos con medios, se llevan a cabo en disolución acuosa y como es necesario el uso de las reglas de solubilidad de los compuestos, para determinar la especie insoluble. Por medio de ejemplos se explica cómo determinar la ecuación iónica neta resultante de una reacción de precipitación. Una vez concluida la explicación y aclaradas las dudas sobre el tema, se procedió a realizar una serie de demostraciones donde se observaban los reactivos en disolución acuosa y el estudiante debía de reconocer los compuestos químicos y escribir la ecuación química para determinar los productos de la reacción química debidamente balanceada. Una vez listos los productos ayudados con las reglas de solubilidad determinaban el compuesto insoluble y realizaban la ecuación iónica neta. Dentro de las reacciones utilizadas como ejemplos demostrativos con el kit se encuentran:



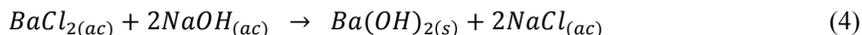
Sólido amarillo



Sólido azul



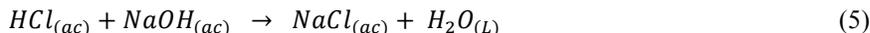
Sólido naranja



Sólido blanco

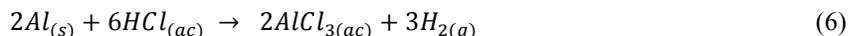
El kit de disoluciones constaba de frascos en color ámbar provistos con goteros, que contenían disoluciones en bajas concentraciones de los reactivos utilizados en estas reacciones de precipitación. Por lo que una vez abordada la parte teórica y con ayuda de alguno de los participantes se procedió a realizar una demostración cualitativa en tubos de ensayo de las reacciones antes descritas. Los participantes en el taller podían observar la coloración del precipitado formado.

En las reacciones de neutralización 5, se inició con el concepto de ácido-base, pH, ácidos mono protónicos, di protónicos y tri protónicos, proceso de neutralización y productos de una reacción de neutralización (sal y agua). Seguidamente se realizó una demostración con el kit, utilizando ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y fenolftaleína, según la siguiente reacción:

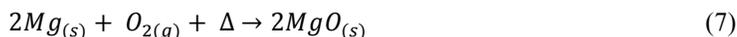


Cambio incoloro a rosa

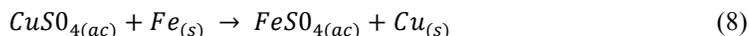
Seguidamente, se explicaron las reacciones redox 6,7 y 8 (oxidación-reducción), la serie de actividad de los metales y números de oxidación. Luego se procede a realizar una serie de ejemplos con el kit. A continuación, se describe los ejemplos utilizados:



Burbujeo



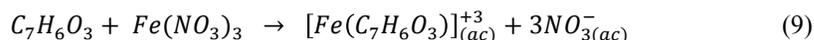
Sólido blanco



Partículas de cobre sobre el clavo de hierro

Por último, se mencionaron las reacciones de formación de compuestos de coordinación 9 (combinación), algunas reglas básicas para su nomenclatura y el cambio de coloración que se efectúa cuando se da la reacción de coordinación. La reacción química ejemplo de este proceso es la del ácido salicílico con el nitrato de hierro III ambas sustancias incoloras, y luego del acomplejamiento del hierro III cambia a azul oscuro. Así como lo menciona Vargas et al. (2015), los compuestos de coordinación

se caracterizan por presentar una amplia gama de colores intensos. Cuando se varía el número de ligandos o su naturaleza, a menudo hay un cambio significativo en el color y en las propiedades magnéticas del compuesto.



Incoloro

Complejo azul oscuro

II Parte Realización de laboratorio.

Se acomodó a los participantes en 5 grupos, y se les brindó materiales conseguidos en lugares de uso cotidiano como farmacias, supermercados o ferreterías. Por ejemplo en la práctica de redox efectivos se utilizó: fósforos, vinagre, alambre de cobre, alambriña y NaOH 1M, en la de precipitación de taninos se utilizaron: bolsitas de té negro, botella, jugo de naranja comercial, jugo de uvas comercial, jugo de arándanos comercial y un medicamento que contenga hierro (ejemplo Ferrinsol 15 mL)

Con respecto al laboratorio de Acido-Base y su variación del pH, se utilizó: hojas de repollo morado, papel indicador universal, vinagre blanco, limpiador tipo Ajax, jabón de manos líquido neutro, Antiácido por ejemplo sal Andrews, Aspirinas, detergente en polvo, limón ácido, champú pH neutro, leche magnesia, bicarbonato de sodio y muestra de tierra.

Para los dos últimas prácticas de laboratorio se utilizaron disoluciones preparadas con anterioridad, tal es el caso de la descomposición del KI por electricidad, en esta se utilizó: un tubo en forma de U, o manguera transparente, solución de yoduro de potasio (KI) al 0,1M, solución de almidón 1%, fenolftaleína, Batería 9V y 2 alambres Cu. Para la formación de compuestos de coordinación se empleó ácido salicílico 0.002M y nitrato de hierro (III) 0.002M o cloruro de hierro (III) 0.002M.

III Parte exposición de reacciones químicas

Finalizado los experimentos los participantes debían elaborar una exposición sobre la práctica mediante con la técnica del papelógrafo, en la cual a cada grupo de le dio 2 hojas de papel periódico con pilot de diversos colores (Seas, 2015). Cada grupo debía realizar una explicación donde se incluían las reacciones involucradas, manifestación macroscópica y las conclusiones del grupo a nivel microscópico. Una vez terminado todas las actividades, se procedió a realizar una evaluación del taller por parte de los participantes por medio de una encuesta (Piedra, Vargas y Castillo- Rodriguez, 2016). En esta se evaluó al especialista que brindo la parte teórico-demostrativa, la organización, la estructura, contenido y aplicabilidad del taller sobre reacciones químicas en disolución acuosa.

III DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El taller buscaba dar a conocer una explicación teórica-práctica sobre reacciones químicas basada en su clasificación tradicional y moderno, apoyada de una serie de demostraciones haciendo uso del kit de disoluciones y de materiales de fácil adquisición, con el fin de que el estudiante entendiera y cuestionará las transformaciones químicas de la materia; previendo fenómenos o situaciones que se manifiesten en su cotidianidad.

El personal docente al planificar los procesos educativos, debe de considerar en los recursos didácticos alternativas para la información visual y auditiva (Seas, 2015; Programa de Estudio de Química, Educación Diversificada, 2017). En la parte práctica del taller tipo laboratorio sobre: redox efectivos, descomposición de KI por electricidad, determinación de pH utilizando indicador de repollo morado, precipitación de taninos obtenidos a partir de té negro y compuestos de coordinación, buscaba darle insumos a los docentes de Enseñanza de las Ciencias y Química para aplicar en sus clases.

La reacción de formación del compuesto de coordinación y la descomposición del KI por electricidad fueron las prácticas que provocaron más dudas y consultas por parte de los participantes tanto de docentes y estudiantes. Es necesario indicar que dentro del programa de estudios del MEP en el área de la química no hay ningún contenido que se relacione con compuestos de coordinación y descomposición de compuestos por electricidad (Programas de Estudio de Química, Educación Diversificada, 2017). Por lo que estas prácticas se volvieron interesantes para su discusión en el taller efectuado.

Una vez finalizado el taller se le entrego a los participantes un instrumento de evaluación, en la figura 3 se muestra un gráfico donde representa el porcentaje de docentes y estudiantes (docentes San Carlos n= 15, docentes Pérez Zeledón n=24 y estudiantes QuimiCamp n = 32). que calificó cada actividad evaluada como totalmente de acuerdo.

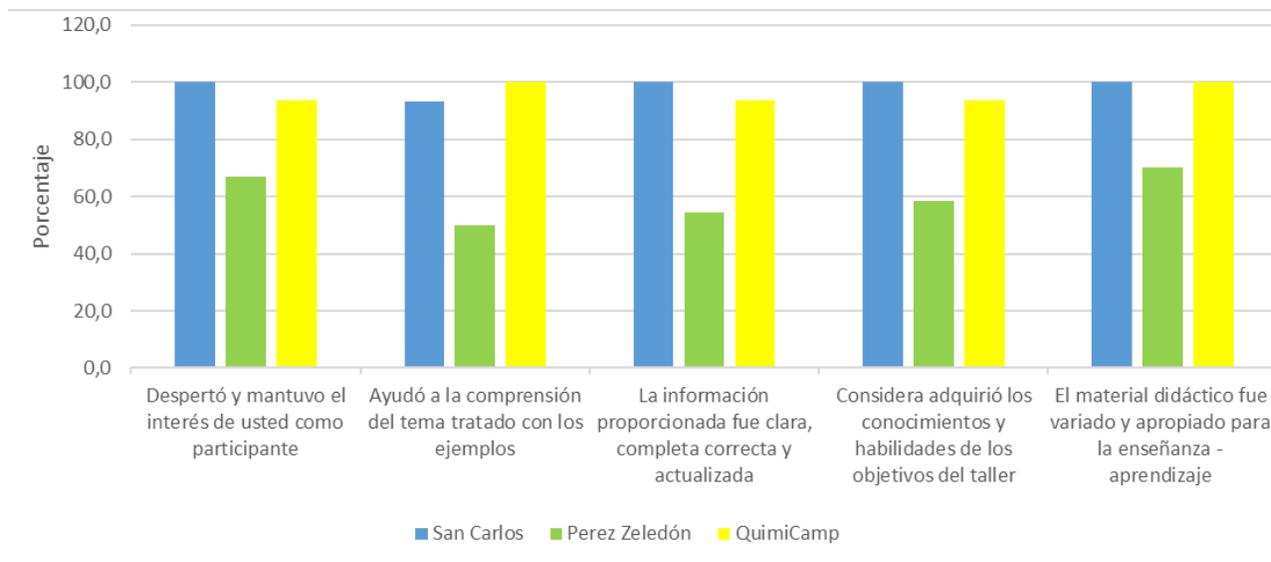


FIGURA 3. Evaluación del taller por parte de los participantes, que califico cada actividad como totalmente de acuerdo.

Según la evaluación de la actividad que hicieron los participantes, se puede observar que, en términos generales, para la mayoría de los participantes la información proporcionada fue clara, completa, correcta y actualizada, lo que sugiere que el instructivo entregado, a pesar de la complejidad conceptual del tema, facilitó la adquisición de los conocimientos tanto para docentes como para los estudiantes.

Cabe resaltar que los docentes solo conocían el sistema de clasificación tradicional el que se basa en reacciones de: combinación, descomposición, desplazamiento y doble desplazamiento. Cuando se mencionó el sistema moderno de clasificación muchos de los docentes solo conocían las reacciones de neutralización y de precipitación ($n = 6$); no así las reacciones redox en medio básico y en medio ácido (solo $n = 2$ docentes sabían de este tipo de reacciones) y las reacciones de formación de complejos de coordinación que involucran cambios de color ningún docente las conocía y mucho menos los estudiantes.

Los estudiantes de la Olimpiada de Química si reconocían el sistema tradicional de clasificación ($n = 32$), pero cuando se habló del sistema moderno ninguno lo reconocía de esta forma. Por lo que deja en evidencia la poca actualización de los planes de estudio del Ministerio de Educación en el área de la Química, y la poca actualización de los docentes del MEP para enseñar temáticas más actualizadas con respecto a reacciones químicas y sus tipos.

Por ultimo a los profesores de San Carlos y Perez Zeledón se les entregó una encuesta con 4 preguntas adicionales donde se evaluaría la posibilidad de aplicar el taller de reacciones químicas en el aula. En la figura 4, se muestra el porcentaje de respuestas positivas otorgadas por los docentes.

Los docentes en general, calificaron el taller como muy útil para su práctica docente, sin embargo, cuando se consultó sobre la posibilidad de ser desarrollado en sus clases, el nivel de respuesta positiva bajo. Algunas de las razones expuestas es la falta materiales y reactivos químicos en las instituciones educativas para realizar las demostraciones de los tipos de reacciones, otros dicen no tener tiempo suficiente para abarcar este tema en clase y otros mencionan contar con grupos muy grandes lo que le dificultaría la puesta en práctica del taller, ya que controlar 35 estudiantes en el aula y todos a la vez experimentando se les vuelve caótico el tema.

A pesar de estos inconvenientes, casi el 100% de los docentes encuestados creen que aplicar el taller en sus clases despertaría el interés de los estudiantes por la asignatura de Química y las vocaciones científicas en esta área, que por largos años no ha sido la materia favorita de los estudiantes para la realización del examen de bachillerato en la educación media costarricense. Según el Departamento de Evaluación Académica y Certificación del MEP, en el 2010 solo el 9% de los estudiantes a nivel nacional realizaron la escogencia de Química para el examen de bachillerato (Alfaro y Villegas, 2010).

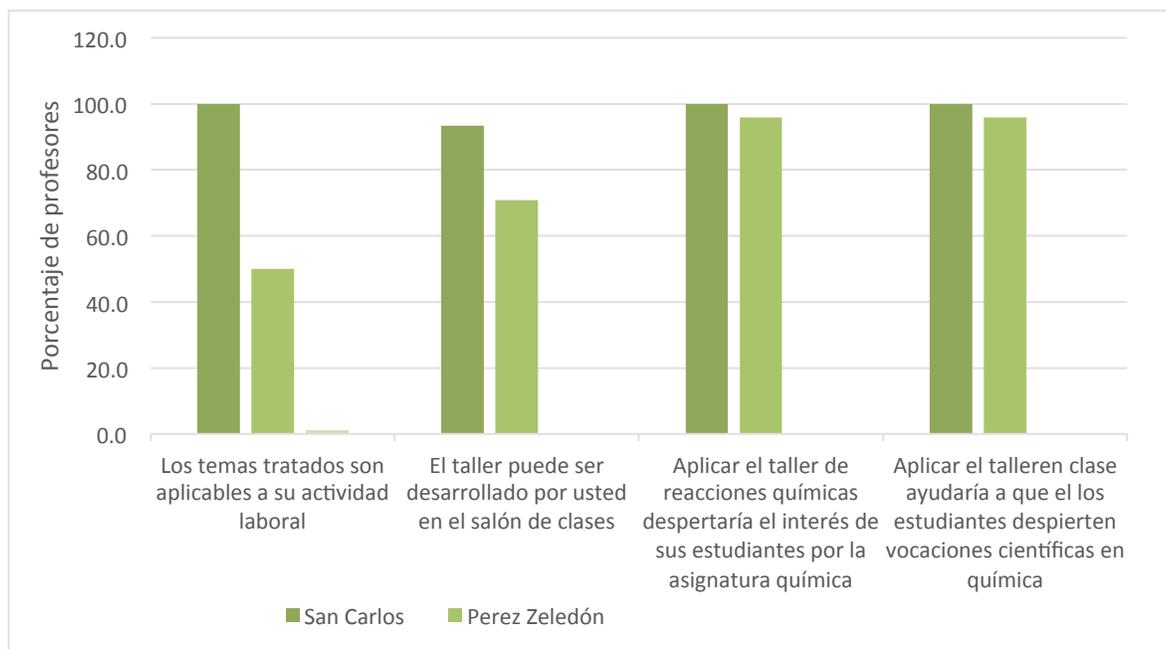


FIGURA 4. Evaluación de los docentes de la posibilidad de aplicar el taller en sus clases.

IV. CONCLUSIONES

La parte de laboratorio del taller, se diseñó de forma tal que utilizarán materiales prácticos y de fácil adquisición en establecimientos como ferreterías, supermercados o farmacias, con la finalidad de experimentar reacciones químicas en disolución acuosa y observar sus manifestaciones asociados a los cambios químicos de la materia. Los experimentos realizados en el laboratorio permitieron a los docentes en el área de enseñanza de la química, “despertar” ese interés por demostrar en forma práctica y didáctica, los diferentes tipos de reacciones químicas que forman parte del temario del MEP.

La demostración de los tipos de reacciones químicas, permitieron tanto a los docentes como a los estudiantes aumentar los conocimientos teóricos y visualizar el cambio de color formación de un precipitado y desprendimiento de gas, asociados a los cambios químicos.

Para la mayoría de los participantes la información proporcionada en el taller fue clara, completa, correcta y actualizada, lo que sugiere que, a pesar de la complejidad conceptual del tema, facilitó la adquisición conocimientos. Los docentes coinciden que aplicar el taller con estudiantes de secundaria en las aulas ayudaría a despertar el interés de los estudiantes por la química y promovería vocaciones científicas en esta área. Además los estudiantes se ven atraídos en la clase debido a las manifestaciones que tienen las reacciones químicas, los mismos mencionan que prestarían más atención en clases de química si el profesor realizará experimentos demostrativos o laboratorios.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a las Direcciones Regionales del MEP Huetar Norte y San Isidro del General por el apoyo otorgado con la convocatoria a docentes. Además se agradece la colaboración de OLCOQUIM por ayudarnos con la convocatoria a estudiantes dentro del campamento de vocaciones científicas.

REFERENCIAS

- Ahthee, M. V. (2003). Students Understanding of Chemical Reaction. *International Journal of Science Education*, 20 (3), 305-316.
- Alfaro, G. & Villegas, L. (2010). *Tercer Informe del Estado de la Educación. La Educación Científica en Costa Rica*. San José: CONARE.
- Borsese, A. E. (2003). Estudio de los cambios químicos a través de fenómenos cotidianos. *Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politecnica de Madrid*.
- Brown, T., Lemay, H., Bursten, B., Murphy, C. y Woodward P. (2014). *Química, la ciencia central*. Distrito Federal, México: Pearson Educación.
- Chang, R. y Goldsby, K. (2017). *Química*. Distrito Federal, Mexico: McGraw-Hill Educación.
- Ministerio de Educación Pública (MEP). (2016). *Programas de Estudio de Química*. Obtenido de http://www.mep.go.cr/programa-estudio?keys=quimica&term_node_tid_depth=All.
- Pérez, J. (2013). *Reacciones Químicas*. Obtenido de http://blocs.xtec.cat/debianita/files/2014/03/REACCIONES-QU%C3%8DMICAS-rev_2013-copia.pdf.
- Petrucci, R, Herring, F, Madura, J y Bissonnette, C. (2011). *Química General*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Piedra Marín, G., Vargas González, X. y Castillo-Rodríguez, K. (2016). Utilización de Microsoft Excel en un taller de orbitales atómicos con docentes de ciencias exactas y naturales. *Rev. Innovaciones Educativas* 24, 5-18.
- Programas de Estudio de Química, Educación Diversificada. (2017). *MEP*. San José, Costa Rica.
- Rodríguez, J. (2009). Cambios Metodológicos Relacionados con el Aprendizaje de las Ciencias. *Revista Educación*, 33 (1) 61-73.
- Seas, J. (2015). *Didáctica General I*. San José: EUNED.
- Vargas, X., Benavides, C., Piedra, G., Syedd, R., Solís, L. y Rodríguez, J. 2015. *Química Experimental: Un enfoque hacia la Química Verde*. 1era edición. Editorial Pearson. Madrid, España.