

Enseñanza experimental basada en la indagación para las valoraciones volumétricas: una triada sinérgica

Mercedes Llano Lomas
Facultad de Química, UNAM
llano@unam.mx

Flor Reyes Cárdenas
Facultad de Química, UNAM
fmreyes@unam.mx

Línea temática: Didáctica de las Ciencias Naturales en la Educación Superior

Modalidad: 1. Comunicación oral

Resumen

El laboratorio de química es un espacio único para el aprendizaje del estudiante y es relevante generar en él actividades que incluyan, de forma explícita, una integración de tres ejes: la construcción conceptual, el desarrollo de habilidades de pensamiento y el desarrollo de habilidades experimentales. La volumetría es una técnica analítica que se emplea como herramienta en diversos campos de la química y su aplicación requiere un alto grado de desarrollo de habilidades de pensamiento. Se presentan los resultados del diseño, implementación y evaluación de una propuesta educativa para la enseñanza de los principios de las valoraciones volumétricas, que permite un primer acercamiento de los alumnos a las técnicas de titulación, asumiendo una perspectiva didáctica de aprendizaje basado en indagación.

Palabras clave: Educación Química, Enseñanza Experimental, Análisis Volumétrico, Titulación Química.

Objetivo

Documentar el impacto de la implementación en el Laboratorio de Química General, de una propuesta educativa basada en la indagación, para la enseñanza de los principios de las valoraciones volumétricas, que considera de forma explícita la construcción de conocimientos y el desarrollo de habilidades experimentales y de pensamiento.

Marco Teórico

La indagación científica es un término propuesto originalmente por Dewey en el año 1910. De acuerdo con Reyes-Cárdenas y Padilla (2012) “La enseñanza y el aprendizaje basados en la indagación deben integrar tres componentes: (1) habilidades de indagación (lo que deben hacer los estudiantes); (2) el conocimiento acerca de la indagación (lo que se debe comprender de la naturaleza de la indagación) y; (3) una aproximación pedagógica para la enseñanza de los

contenidos científicos (lo que deben hacer los docentes)”. Por su parte Schwab (1969) se especializa en la enseñanza experimental y menciona que, para establecer una visión de la educación científica mediante la indagación, se deben incluir las siguientes actividades: uso del laboratorio; elaboración, lectura y uso de reportes de investigación; obtención, clasificación, discusión e interpretación de datos; y llegar a conclusiones que puedan ser contrastadas con nueva información científica.

La reacción química y la estequiometría son temas requeridos para iniciar a los estudiantes en las técnicas volumétricas, que se abordan a partir de la reacción cuantitativa que se lleva a cabo entre una disolución de concentración conocida y una sustancia problema cuya cantidad de sustancia se desconoce y se desea conocer; esto implica un difícil e importante ejercicio de estequiometría. Al procedimiento utilizado para llevar a cabo estas técnicas se le conoce como valoración o titulación; la especie cuya concentración se requiere conocer se denomina analito mientras que la sustancia empleada para tal fin recibe el nombre de titulante (Harris, 2007).

Hofstein (2005) sustenta que para una adecuada evaluación del alumno en el laboratorio se deben considerar tres tipos de insumos: evidencia escrita (reportes de laboratorio y/o exámenes), exámenes prácticos y evaluación continua por parte del docente. Su conjunto brinda resultados sobre el desempeño del estudiante; además, en nuestro caso particular, se considera que toda evaluación del laboratorio debe involucrar el desarrollo por parte del estudiante de alguno de estos tres ejes: conocimientos, habilidades experimentales o habilidades de pensamiento.

Con el eje de *Conocimientos* se busca que los alumnos incorporen y analicen la relevancia de los conceptos involucrados en una titulación volumétrica; particularmente para el contexto de la estequiometría se espera que, a través del uso de la técnica, puedan apreciar proporciones, relaciones y cantidades equivalentes de sustancia. El eje de las *Habilidades Experimentales* tiene por objetivo la adquisición y/o mejora de experiencia práctica experimental, que se puede enfocar en aspectos procedimentales (elaborar una disolución de concentración determinada) e instrumentales (uso adecuado de la bureta). El eje de *Habilidades de pensamiento* se enfoca en promover de forma explícita el desarrollo de habilidades relacionadas con el pensamiento crítico. Halim (2015) dice que el conocimiento científico es desarrollado y construido por los científicos mediante la indagación, incluyendo el uso de habilidades de pensamiento crítico.

Metodología

La muestra estuvo compuesta por un grupo de 20 estudiantes del Laboratorio de Química General II (LQGII) agrupados en 5 equipos, bajo la guía de un profesor titular que contó con el apoyo de 6 asesores. El protocolo fue diseñado para alumnos sin experiencia alguna respecto a las técnicas de titulación. Los alumnos participantes, aunque irregulares con respecto a su avance curricular, cursaron por primera vez el LQGII. Se aplicó el protocolo teniendo en mente el objetivo de identificar el desarrollo de los aprendizajes esperados y se pidió a los alumnos la entrega de tres documentos que dieran cuenta de su avance a lo largo del desarrollo de la práctica: D1, D2 y D3 (reporte final) cada uno asociado a cada una de las secciones del protocolo experimental.

La propuesta de enseñanza esta implícita en el protocolo diseñado, que consta de tres secciones. La primera está enfocada al planteamiento principal, la realización de la técnica y la potenciación e incorporación de los saberes que permitan al estudiante alcanzar un conocimiento introductorio del tema. En la segunda sección se propone el seguimiento visual de un proceso de titulación: la valoración volumétrica de un ácido monoprótico fuerte (HCl) con una base fuerte

(NaOH), haciendo uso de un indicador visual para la detección del punto final. Cada equipo tuvo que justificar la elección del indicador y de la concentración del titulante, actividad que provee a los estudiantes de un escenario en el que se involucra el desarrollo de habilidades de pensamiento a partir de los conocimientos requeridos. Como aportación relevante y con el fin de evitar concepciones previas, en la tercera sección se pide al alumno que indague en la literatura, documente y compare, las características de las representaciones gráficas de diversas titulaciones: a) de un ácido monoprótico fuerte con una base fuerte, b) de un ácido monoprótico débil con una base fuerte y c) de un ácido poliprótico con una base fuerte.

En la Tabla 1 se presentan los aprendizajes esperados (AE) en relación con los conceptos y habilidades experimentales y de pensamiento.

Aprendizajes esperados	C	HE	HP
AE1. Una titulación química es el procedimiento experimental que se utiliza para conocer la concentración de una disolución a partir de la medición del volumen requerido de otra disolución de concentración conocida para alcanzar el punto final de una titulación. Este procedimiento se lleva a cabo mediante una reacción química entre el titulante y el analito. (AE1)	Sí		
AE2. De acuerdo con la estequiometría de la reacción de titulación, existe una proporción estequiométricamente equivalente entre el volumen de titulante añadido y la cantidad de sustancia del analito que debe reaccionar. (AE2)	Sí	Sí	Sí
AE3. El reactivo titulante es una sustancia que puede presentarse en disolución en concentración conocida y se emplea para conocer la concentración desconocida de otra sustancia. El analito es la sustancia cuya concentración se desconoce. (AE3)	Sí		Sí
AE4. El volumen de reactivo necesario para alcanzar el punto de equivalencia en una titulación química se calcula de forma teórica considerando que reaccionan cantidades estequiométricamente equivalentes de titulante y analito. Experimentalmente lo que se identifica es el punto final, para lo que se pueden emplear auxiliares visuales como los indicadores químicos, que presentan un vire de color en un intervalo de pH dentro del cual se encuentra el punto de equivalencia. (AE4)	Sí	Sí	Sí
AE5. Cuando se titulan ácidos fuertes con bases fuertes el punto final de la titulación corresponde a un valor de pH muy cercano a 7 dependiendo de la exactitud de las concentraciones del analito y del titulante. Cuando se titulan ácidos o bases débiles, con bases o ácidos fuertes, el punto final debe encontrarse en el intervalo de pH 7 ± 1.5 (Harris, 2007). Los ácidos polipróticos presentan más de un punto de equivalencia. (AE5)	Sí		Sí

Tabla 1. Relación de aprendizajes esperados (AE) con los ejes de conocimiento (C), de habilidades experimentales (HE) y de habilidades de pensamiento (HP).

Resultados y análisis

La identificación de resultados y el análisis correspondiente se detalla en los siguientes párrafos. Los estudiantes presentaron diversos argumentos (escritos en cursivas en este documento) en los tres documentos solicitados (D1, D2 y D3). La cita de cada argumento se acompaña de las siglas “Eq” (equipo) seguidas de un número del 1 al 5 (que corresponde al equipo que la generó). Los “aprendizajes esperados” se identificaron mediante palabras clave. A manera de ejemplo se presenta el extracto de la respuesta de un equipo con su código correspondiente, “Eq3D1” (Equipo 3, Documento 1): *“La titulación es un procedimiento cuantitativo analítico con el cual se puede determinar la concentración desconocida en un líquido...”*

Posteriormente se hizo una clasificación de cada texto considerando diferentes niveles de calidad (N): Nivel 0 (N0), no responde; N1, responde incorrectamente; N2, responde correctamente, pero está incompleta; N3: responde en forma correcta y adecuada. Siguiendo el ejemplo anterior, este texto corresponde a un nivel N2 con respecto al aprendizaje esperado AE2.

En la Figura 1, se presenta un gráfico en el que se muestran la frecuencia y el nivel alcanzado para cada uno de los aprendizajes esperados, al analizar el contenido de los diversos documentos (D1, D2 y D3). Se puede apreciar que la mayoría de los equipos alcanzan un buen nivel de comprensión con respecto al AE1 en al menos uno de los entregables. En sus textos se evidencia que saben qué es una titulación química, algunos con mejor calidad de respuesta que otros (N2 y N3), por ejemplo: la *“titulación es el proceso por el cual se determina la cantidad de un analito en disolución con base en la cantidad de reactivo estándar que consume... para determinar el punto final de la reacción química ... se puede emplear una disolución indicadora o medidor de pH”* (N3 Eq5D1). Esta respuesta además de ser correcta es la más completa de los cinco equipos ya que involucra al menos dos de los tres ejes que se analizan en el artículo: contenido (existencia de una reacción química) y habilidad experimental – instrumental (empleo de sustancia indicadora).

Un primer comportamiento es el que se observa para los AE1 y AE3 en el que los estudiantes concretan enunciados en su mayoría correctos desde los documentos D1 y D2. Un segundo comportamiento es el caso de los AE2 y el AE4 en donde se revisa la relación que guarda una titulación química con la estequiometría de una reacción se refleja en los documentos como un procedimiento matemático en donde calculan las cantidades de sustancia necesarias y por lo tanto relevante para el planteamiento de su diagrama de flujo y procedimiento experimental. La mayoría de los alumnos refieren nada de los AE2 ni AE4 en el D1, pero sí lo logran en D2 o D3: *“El punto de equivalencia se produce cuando la cantidad de sustancia valorante agregada es estequiométricamente equivalente a la cantidad presente del analito. El punto final se refiere al punto en el que el indicador cambia de color en una valoración de colorimetría. La diferencia entre ambos se llama error de valoración y debe ser lo más pequeña posible”* (Eq1D2).

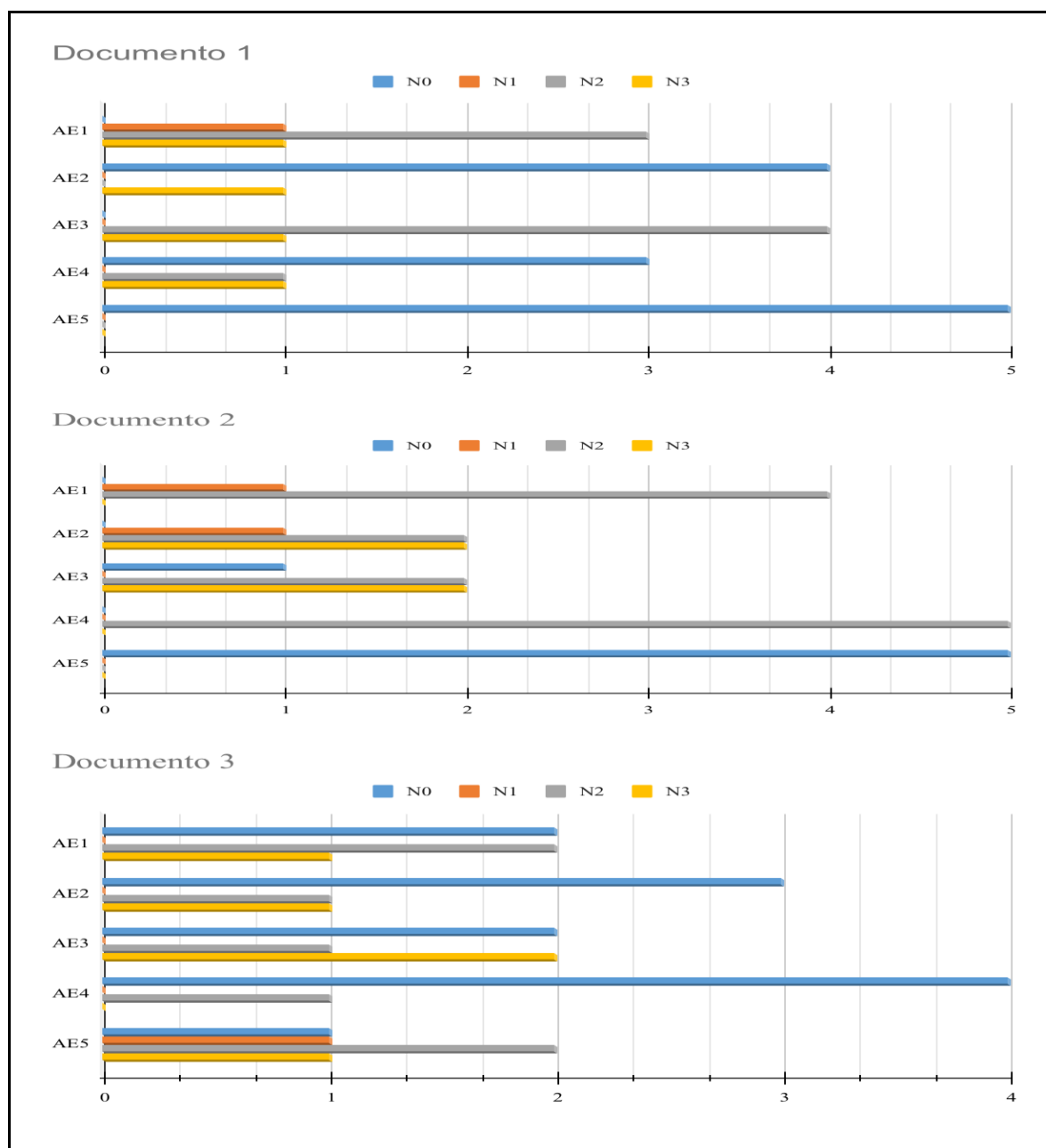


Figura 1. Frecuencia de Ideas Principales para cada aprendizaje esperado en cada entregable.

Por su parte, para el AE5, tres equipos presentan ideas correctas y lo hacen hasta el último entregable: “Los ácidos y bases fuertes titulan en un pH muy cercano a 7. Los ácidos polipróticos titulan en diferentes valores de pH. Los ácidos y bases débiles cuando se titulan con ácidos y bases fuertes titulan en valores cercanos a pH 7 ± 1.5 .” Llama la atención de la perseverancia de la idea de que el valor de pH= 7 es el fin de la titulación: “Añade la disolución de NaOH desde la bureta al matraz Erlenmeyer hasta que alcanza un pH 7” (Eq3D2).

Los aprendizajes esperados AE1, AE3 y AE4 tienen un carácter principalmente teórico y pueden ser revisados previa la experimentación; por su parte AE2 y AE5 hacen énfasis principalmente en el desarrollo de las habilidades experimentales.

Por último también es relevante resaltar que los aprendizajes esperados AE2 y AE4 incluyen los tres ejes (conocimientos, habilidades experimentales y habilidades de pensamiento) lo que refleja su complejidad y profundidad.

Este trabajo muestra que hay un mejor nivel de calidad en las respuestas contienen el eje de conocimiento, lo que se puede atribuir a que es más común que se aborde este eje en un modelo de educación tradicional de enseñanza. Se sugiere que en la labor docente esto se integre con el eje de habilidades de pensamiento y experimentales.

Conclusiones

La propuesta educativa para abordar en el laboratorio la técnica de la volumetría y los conceptos teóricos asociados a ella es efectiva. Los alumnos trabajan simultáneamente los tres ejes (desarrollan habilidades de pensamiento, aprenden conceptos y logran una ejecución adecuada de la técnica); alcanzan un buen desarrollo de habilidades experimentales (procedimentales e instrumentales); logran un buen manejo y conocimiento del material de laboratorio específico para una titulación química; son capaces de interpretar resultados y resolver problemas relacionadas con la técnica; se fomenta el desarrollo del pensamiento químico lo que se muestra mediante la capacidad adquirida para hacer predicciones sobre los resultados a obtener mediante el análisis de la naturaleza de los reactivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la DGAPA por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto PE211921 de la Facultad de Química.

Referencias de consulta

- Halim, L., Mokhta, L. (2015). Critical thinking process in science learning. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*.
- Harris, D. (2007). Quantitative Chemical Analysis. Seventh edition. United States of America: W. H. Freeman and Company. 121-122.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: thirty years of experience with developments, implementation and research. *CERP*, 5(3), 247-264.
- Reyes-Cárdenas, F., y Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación química*, 23(4), 415-421
- Schwab, J. (1962). The teaching of science as enquiry. En Schwab, J. y Brandwein, P. (Eds), *The teaching of science*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 103.