

Una evaluación alternativa del tema titulación ácido base a través de una simulación

Andrés Raviolo y Andrea S. Farré

Universidad Nacional de Río Negro, Sede Andina.

Introducción

A principios de esta década Lemke (2002) nos incitaba a “Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones”. Es decir a comunicar la ciencia de una forma multimediática y a formar a los alumnos en la lectura de distintos lenguajes y sistemas de representación externa. Una forma de hacerlo es utilizando imágenes, ya sea estáticas (como fotos y diagramas) o dinámicas (animaciones y simulaciones). En el caso de la química, las imágenes empleadas en su enseñanza combinan varios de esos lenguajes, y además muestran simultáneamente elementos que forman parte de distintos niveles de representación.

Las simulaciones, específicamente, son programas que permiten poner en funcionamiento un modelo de un proceso o fenómeno, admitiendo distintos grados de intervención (Raviolo y Alvarez, 2012). Al emplearlas los estudiantes pueden describir, explicar y/o predecir algunos aspectos del fenómeno que se modeliza. Además, este tipo de programas, en general están acompañados por animaciones, permitiendo por ejemplo, la visualización en tres dimensiones.

Su uso es fuente de motivación, sin embargo, la importancia mayor de su inclusión en clase radica en superar el uso anecdótico y generando actividades que fomenten aprendizajes conceptuales. En este sentido, las simulaciones pueden ayudar en la integración de los aspectos teóricos y prácticos en un curso de química, especialmente en el nivel universitario, en donde los distintos momentos de enseñanza pueden estar a cargo de diferentes docentes.

Como con otros recursos educativos, las actividades con TIC, y precisamente las simulaciones pueden servir para evaluar tanto el proceso como el producto del aprendizaje. Pueden emplearse para plantear situaciones conceptuales que favorezcan el aprendizaje y la integración de los conceptos de manera que la evaluación resulte formativa. Gras Martí y otros (2003) instan a prestar atención en las actividades de evaluación: al tipo de aprendizaje que fomentan, a la influencia sobre las actitudes y la auto-regulación del aprendizaje por parte de

los alumnos, a la forma de valoración, para que sea indicadora de lo que se ha avanzado y de lo que falta por hacer, y, sobre todo, para que oriente hacia el logro de un producto satisfactorio.

Las evaluaciones tradicionales de química suelen hacer hincapié en la resolución de ejercicios/problemas. La investigación educativa ha comprobado que la resolución algorítmica de un problema no implica la comprensión de los conceptos implicados y, en particular, la comprensión a una escala submicroscópica. Muchos estudios han comprobado que alumnos que resuelven bien problemas empleando algoritmos o ecuaciones, no siempre visualizan ni comprenden los conceptos químicos que están detrás. Uno de los trabajos clásicos en esta línea es el de Nurrenbern y Pickering (1987). Estos autores administraron a estudiantes universitarios de un curso de Química General, para los temas gases y estequiometría, dos tipos de problemas: (a) problemas tradicionales, del tipo matemático - algorítmico y (b) problemas conceptuales, con la utilización de representaciones de partículas. Los resultados de este estudio mostraron que los estudiantes tenían notablemente más éxito en el primer tipo de problemas que en el segundo. En este sentido, Robinson y Nurrenbern (1990) definen a las cuestiones conceptuales como a las que requieren del estudiante la creación de una respuesta que va más allá del simple recuerdo o la activación de un algoritmo. Las cuestiones conceptuales poseen mayor demanda cognitiva dado que el estudiante tiene que sintetizar respuestas o evaluar un problema para seleccionar las herramientas matemáticas necesarias para arribar a una solución. En química la comprensión conceptual está ligada a habilidades de modelización: predecir lo que va a ocurrir, explicar cómo y por qué algo ocurre, poder justificar una elección, extraer datos útiles de un exceso de información (Halakova y Proksa, 2007).

En este trabajo empleamos una simulación como evaluación formativa y sumativa del tema de titulaciones ácido base. La misma permite la evaluación de la comprensión de lenguajes y modos de representación y mediación empleados en la química, así como la comprensión conceptual del tema. Al ser implementada con posterioridad a la primera evaluación parcial también se compara ambas formas de evaluar.

Metodología

Participaron de este estudio 54 estudiantes universitarios de San Carlos de Bariloche: 15 de Introducción a la Química, materia de primer año de los profesorados de Química y de Física (UNRN), y 39 de Química General I, materia de primer año de la Licenciatura en Biología (CRUB, UNCo). Ambos cursos poseen el mismo equipo de cátedra y siguen la secuenciación de temas del libro de texto Química de Raymond Chang. Además ambos cursos tuvieron clases teóricas, ejercicios numéricos y una práctica de laboratorio (titulaciones $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}$ y NaOH/HCl) que no incluyó el uso de peachímetro.

El examen parcial fue el mismo y abarcó los temas: masa atómica, mol, estequiometría, reactivo limitante y en exceso, concentraciones de disoluciones, preparación de disoluciones y titulaciones.

La evaluación empleando la simulación se administró en los primeros días del mes de mayo, en la octava semana de asistencia a la universidad. Se utilizó una simulación perteneciente al material suplementario del libro Química de Chang, 11^o edición, “Titulación ácido base”, disponible en: [http://glencoe.mheducation.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=swf::640::480::/site/s/dl/free/0076656101/931055/Acid_Base_Titration.swf::Acid-Base Titrations](http://glencoe.mheducation.com/olcweb/cgi/pluginpop.cgi?it=swf::640::480::/site/s/dl/free/0076656101/931055/Acid_Base_Titration.swf::Acid-Base_Titrations).

A partir de su visualización, los estudiantes debían responder un cuestionario de tres hojas. En las dos primeras hojas se presentaba la misma captura de pantalla a la cual se había agregado la ecuación química y cuadros en donde responder las consignas: “Etiquetar con los nombres de los distintos materiales o entidades” (primer hoja, Figura 1) y “Etiquetar con los distintos niveles de representación: macro, simbólico, submicro y gráfico” (segunda hoja). La tercera consistía en una actividad y dos preguntas: “En un texto no menor a 15 renglones desarrolle lo que muestra la simulación”, “¿Qué es una titulación?” y “¿A qué resultado final se arribaría en esta titulación? Explique”.

La simulación se proyectó con el cañón previo pedido de atención, aclarando que iban a tener que escribir sobre lo que veían. Se pasó varias veces, sin sonido y sin explicaciones, antes de repartir el cuestionario. Después, se les pidió que contesten las actividades del cuestionario en el orden en que están las páginas. Mientras contestaban las dos primeras hojas se proyectó la imagen correspondiente a la captura de pantalla entregada en el cuestionario (hojas 1 y 2). Luego, al contestar la página 3, se pasó la simulación tantas

veces como fuera solicitado por los alumnos. La respuesta fue individual y sin formular preguntas.

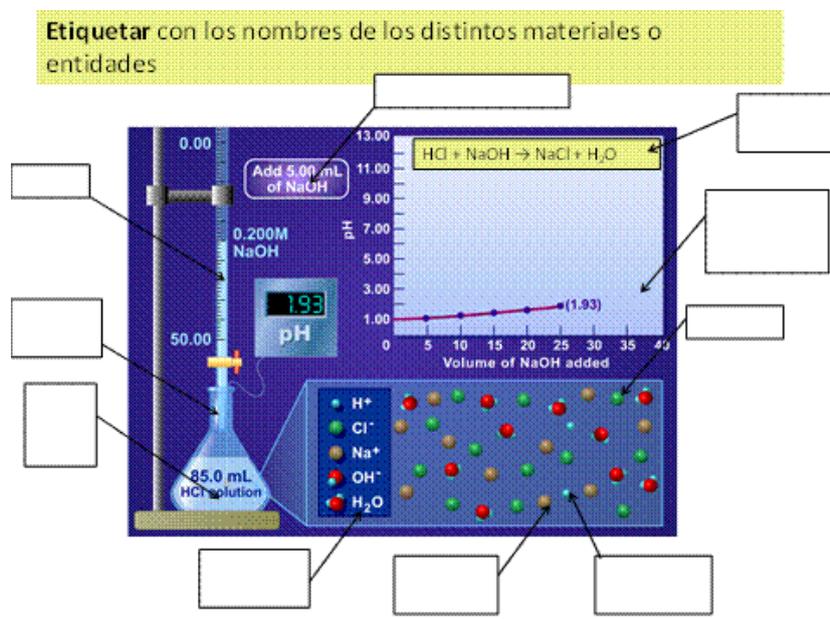


Figura 1. Hoja 1 del instrumento

Las respuestas de la hoja 3 fueron evaluadas considerando los siguientes criterios (Tabla 1):

Nº	Item analizado	puntaje
1	Comprende objetivo final de la simulación: determinar la concentración de la disolución de ácido clorhídrico	1
2	Menciona explícitamente que se trata de una reacción ácido base o titulación ácido base	1
3	Hace referencia a alguno de los términos: neutralización, neutro o punto de equivalencia	1
4	Realiza la descripción micro: los iones H ⁺ se combinan con los iones OH ⁻ para formar moléculas de H ₂ O	1
5	Comprende relación de la escala de pH con la acidez: Un aumento de pH indica una disolución menos ácida o más básica	1
6	Escribe la ecuación química ajustada	1
7	Brinda una definición aceptable de titulación	1
8	Arriba al resultado final : 0,10 M	1
9	Menciona que el volumen final o de neutralización es 30 mL, o lo emplea en el cálculo	1
10	Expresa la relación estequiométrica: 1 mol de HCl reacciona con 1 mol de NaOH	1
	Puntaje total:	10

Tabla 1. Criterios de evaluación de la tercera hoja.

Resultados y discusión

En la tabla 2 se presentan los resultados de los valores promedios y desviación estándar de las notas obtenidas: (1) en el primer parcial de la asignatura química, (2) en el ítem que evaluaba el tema titulación en dicho parcial, (3) en el primer parcial de la asignatura matemática y (4) en la primera hoja del instrumento de evaluación de la simulación (etiqueteo de entidades) teniendo en cuenta si categoriza correctamente las entidades o (5) no (por ejemplo si al etiquetar al anión cloruro lo hace solamente como cloro sin indicar que es un anión), (6) en la segunda hoja (etiqueteo según niveles de representación) y (7) el puntaje otorgado a la hoja 3. Todas las variables con un rango de 0 a 10.

	Primer parcial Química	Ejercicio titulación del parcial	Primer parcial Matemática	Evaluación con simulación			
				Etiqueteo Hoja 1	Etiqueteo Hoja 1 con categoría	Etiqueteo Hoja 2	Puntaje Hoja 3
Promedio	5,5	5,1	5,3	8,9	6,2	7,9	5,1
Desv. est.	3,3	3,8	2,6	1,7	2,1	2,5	2,7

Tabla 2. Notas promedio y desviaciones estándar

Como puede evidenciarse, existió una coincidencia en los rendimientos de los parciales de ambas materias, así como en el ejercicio de titulación y el puntaje de la hoja 3. De hecho, existió una correlación positiva ($R^2= 0,67$), para la totalidad de los estudiantes, entre el resultado obtenido en el primer parcial de química (que evalúa todos los contenidos que son necesarios para responder la hoja 3) y el cuestionario final de la simulación.

Para profundizar el análisis, se dividió la muestra ($N = 54$) en dos grupos de acuerdo a la nota obtenida en el primer parcial de química (Tabla 3): Grupo parcial aprobado (6 o superior) y Grupo parcial desaprobado (menor a 6).

El 81% de los estudiantes con el parcial aprobado obtuvieron también un puntaje mayor o igual a 6 en la Hoja 3. De los alumnos con parcial desaprobado sólo dos alumnos obtuvieron puntaje igual o superior a 6. A la inversa, de los alumnos que aprobaron el parcial, solamente 4 de ellos no alcanzaron una nota de 6 en la hoja 3 de la evaluación mediante la simulación.

Grupo		Primer parcial Química	Ejercicio titulación del parcial	Primer parcial Matemática	Etiqueteo Hoja 1	Etiqueteo Hoja 1 con categoría	Etiqueteo Hoja 2	Puntaje Hoja 3
Parcial de Química aprobado (N: 26)	Promedio	8,3	8,1	6,7	9,5	7,2	9,1	7,3
	Desv. est.	1,4	2,4	2,3	0,6	1,6	1,4	1,5
Parcial de Química desaprobado (N: 28)	Promedio	2,6	1,9	3,3	8,4	5,3	6,7	3,0
	Desv. est.	1,7	2,0	1,6	2,1	2,2	2,7	1,5

Tabla 3. Resultados obtenidos por grupo

A pesar de esta coincidencia en rendimiento un análisis más exhaustivo nos permitió discutir sobre los siguientes aspectos:

- Resolución algorítmica vs. conceptual:

El 65 % de los 26 alumnos con parcial aprobado comprendieron el objetivo del procedimiento de titulación, establecieron relaciones adecuadas entre lo mostrado en las distintas representaciones y lenguajes de la simulación. Pero no arribaron al resultado final de la concentración, solamente 9 estudiantes, que tuvieron puntajes altos tanto en el cuestionario de la simulación como en el parcial de química, calcularon algorítmicamente la concentración del ácido clorhídrico arribando al resultado. Además, el 52% del total de los estudiantes respondió la pregunta final de la hoja número sin realizar cálculos y solamente el 18 % de los alumnos hizo explícita la relación 1 mol de NaOH a 1 mol de HCl esencial para plantear los cálculos.

Una causa posible de estos resultados sería la presentación del problema de un modo diferente mediante la simulación. Muchos de los alumnos (81% del total) no lograron determinar el volumen final y un 15% de ellos utilizó erróneamente como volumen de neutralización el de 35 mL de NaOH, que es el volumen agregado hasta el cual se mostró la simulación. A pesar de reconocer la neutralidad de la solución y/o la inexistencia de H^+ u OH^- en este punto, no pudieron relacionar estos aspectos con el hecho de que la reacción finaliza y entender que el agregado posterior del NaOH es un paso que no es necesario para calcular la concentración del HCl.

Tanto en la experiencia directa de laboratorio, al titular empleando indicadores ácido-base, como en los problemas clásicos el volumen gastado o surge de un cambio perceptible o viene expresado en el enunciado. Seguramente si se hubiera solicitado el resultado final de la titulación, mostrada con la simulación, mediante un enunciado clásico, muchos más estudiantes hubieran arribado al resultado final, ya que de esta manera se estaría favoreciendo la resolución algorítmica por el reconocimiento del tipo de ejercicios.

Otro punto que puede haber influenciado, también, en estos resultados es el hecho de que en la consigna presentada preguntara por el resultado final de la titulación y además se les pedía que explique. Esto último pudiera haber favorecido, en forma inversa, la resolución conceptual y no numérica.

- El aspecto formativo de la simulación

El 26% de los estudiantes tuvieron un mejor rendimiento en el cuestionario sobre la simulación con respecto al examen parcial, considerando tanto la recta de regresión como la nota obtenida. Además 2 de ellos alcanzaron una nota de aprobación al ser evaluados mediante la simulación y no sucedió lo mismo en el caso del parcial tradicional. Estos alumnos en su mayoría fueron capaces de definir más o menos correctamente el proceso de titulación (86%). Además, reconocieron el momento en que se llega a la neutralidad de la solución (86%), así como, el cambio de pH ocurrido durante el proceso (79%) y también que se estaba en presencia de una titulación ácido-base (79%). Aspectos que surgen de la recuperación de la memoria de largo plazo de algunos conceptos y de la lectura mediante un procesamiento implícito de los niveles de representación macroscópico y gráfico de la simulación (Postigo y Pozo, 2004). En tanto el nivel submicroscópico, resultó ser de más difícil lectura, ya que los alumnos de menor rendimiento lo hicieron a veces solamente procesando explícitamente la representación (“Con el pH de 2,00 se muestran 12 moléculas de H₂O y con el pH 12,02 se muestran 14 moléculas de H₂O”), sin comprender el aspecto modélico de la misma. Sin embargo fue la única que suscitó reflexiones metacognitivas (“Algo que me llama la atención es que según la ecuación luego de terminar de introducir el NaOH, las moléculas de sodio debería reaccionar con el Cloro para formar NaCl, sin embargo en la demostración no se representa”) y también procesamiento mayor aunque no fueran demasiado correctas desde el punto de vista químico (“A nivel molecular, ocurren una serie

de enlaces que cambian el potencial Hidrogenión de la solución, desde el Hidrogeno Libre (cationes) se unen con los grupos oxhidrilos (aniones OH) y forman de esa manera moléculas de agua más estables”). Con lo cual el mayor poder formativo surge de este tipo de representaciones.

- Desarrollo de lenguajes y presentaciones multimedia

La mayoría de los estudiantes pudieron etiquetar bien los materiales y entidades que muestra la simulación (promedio 8,9 de 10), sin embargo, muchos de ellos no categorizaron bien (promedio 6,2) esas entidades, es decir no expresaron que eran iones, cationes, aniones, o disoluciones. Esto puede deberse a no asignarle importancia a este hecho o a desconocimiento. Al respecto surgieron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos de estudiantes (con parcial aprobado y parcial desaprobado) y entre los alumnos con puntajes elevados en la hoja 3 del cuestionario, que estarían indicando que un mayor conocimiento de las entidades, de los sujetos de las acciones, y de las categorías a las cuales pertenecen, sería un requisito necesario para establecer relaciones adecuadas entre las partes y entidades que se visualizan en la simulación.

En concordancia con el principio de preentrenamiento del aprendizaje multimedia (Mayer y Moreno, 2003), existe una mejor comprensión cuando los estudiantes conocen los nombres, las características y el comportamiento de los componentes del sistema. La primera actividad de etiqueteo tuvo la finalidad de indagar el conocimiento de los estudiantes sobre las entidades y materiales involucrados en la simulación. La segunda actividad de este tipo, que asigna a qué nivel de representación pertenecen las entidades que se muestran en la simulación, tuvo el objetivo de ayudar a los estudiantes a segmentar el procesamiento de la información que muestra la pantalla, focalizando en cada uno de los niveles que se muestran simultáneamente. A pesar de esto, se verificó que reconocer las entidades no implica relacionarlas adecuadamente. Muchos estudiantes no lograron desarrollar un modelo mental explicativo adecuado del proceso y arribar a un resultado. No lograron establecer relaciones adecuadas entre los niveles de representación, entre el nivel gráfico, el nivel macro, el nivel micro y el nivel simbólico.

El hecho de que los estudiantes de puntaje bajo en el cuestionario, también tengan puntajes bajos en los parciales de las materias (química y matemática)

nos indica que hay un dominio de lenguajes (y razonamientos con estos lenguajes), que no han alcanzado y que esta dificultad hay que abordarla. Además, estos alumnos tienen también una mayor dificultad para la desagentivación en la descripción de la titulación, con lo cual también se estaría evidenciando problemas con el dominio de la escritura académica.

Un aspecto a destacar en cuanto a los lenguajes es que pareciera, en función de los resultados que a estos alumnos les resultó más fácil la lectura de los gráficos, que la de las representaciones a nivel submicroscópico. Ya que en todos los casos, aunque sea con un procesamiento a nivel explícito o implícito pudieron interpretar los primeros, siendo esto mucho más dificultoso en el caso de las imágenes que representan el nivel submicroscópico.

Reflexiones finales e implicancias

La actividad con la simulación cumplió la función de aplicación e integración. Los resultados obtenidos indican que los alumnos que establecieron una mejor relación entre las partes y/o entidades mostradas en la simulación, los que mostraron una mejor comprensión del fenómeno de titulación, son los que cuentan con los exámenes parciales aprobados. Por los resultados logrados en las distintas instancias y las respuestas cualitativas expresadas se desprende que estos alumnos tienen un mejor dominio de los lenguajes y razonamientos de la química, así como de la matemática y también de la escritura académica. Los expertos percibimos a esta simulación como muy sencilla, transparente, que muestra en forma clara y unívoca las relaciones importantes. Se daba por sentado que los estudiantes con buenas notas no tendrían ningún problema en contestar todos los ítems del cuestionario, sin embargo más de la mitad no pudo arribar al resultado final al tener que inferir los datos del problema en la simulación. Los datos del problema algorítmico, como el volumen gastado, lo tenían que inferir de información micro, gráfica o provista por un instrumento. Este es un aspecto distinto al señalado por la investigación sobre la resolución algorítmica versus la resolución conceptual, y podría ser un aspecto novedoso para orientar la investigación en esta línea.

Para apoyar este enfoque proponemos dos planteamientos alternativos de problemas de titulación: (a) estimación mental del resultado, que implica razonar con las variables expuestas en una situación experimental

esquemática y (b) verificación de los resultados a que se arriban en la simulación, lo que implica identificar y aplicar las fórmulas o algoritmos que subyacen en la misma.

Asimismo, otro tipo de evaluación pudiera haberse planteado utilizando el recurso de manera interactiva, en donde los alumnos solos, o en grupos de a 2 exploren y contesten preguntas o resuelvan situaciones a su ritmo. De esta manera, seguramente se favorecerá el valor formativo de la evaluación.

También, queda por indagar los niveles de dificultad de las tareas planteadas para evaluar empleando la simulación y profundizar en cuanto al procesamiento cognitivo de los distintos sistemas externos de representación.

Bibliografía

Gras Martí, A. y otros. (2003). La evaluación, como ejemplo de integración de las TIC en la enseñanza. *Comunicación y Pedagogía*, 190, 46-49.

Halakova, Z. y Proksa, M. (2007). Two kinds of conceptual problems in chemistry teaching, *Journal of Chemical Education*, 84(1), 172-174.

Lemke, J. (2002). Enseñar todos los lenguajes de la ciencia: palabras, símbolos, imágenes y acciones. Cap. 6 del libro: *La Educación en Ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Ed. Paidós

Mayer, R. y Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.

Nurrenbern, S. y Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508-510.

Postigo, Y. y Pozo, J. I. (2004). On the Road to Graphicacy: The learning of graphical representation systems. *Educational Psychology: An International Journal of Experimental Educational Psychology*, 24 (5), 623-644.

Raviolo, A. y Alvarez, M. (2012). Uso y creación de simulaciones en la formación del profesorado: unidad didáctica sobre el movimiento oscilatorio armónico. *Latin-American Journal of Physics Education*, 6(4), 628-638.

Robinson, W. y Nurrenbern. S. (1990). Conceptual questions. Consultado 23/9/13.

<http://www.jce.divched.org/JCEDLib/QBank/collection/CQandChP/CQs/TypesOfCQs.html>