

Ventajas y desventajas en la enseñanza remota de las titulaciones en un laboratorio virtual

Advantages and disadvantages in titrations remote teaching in a virtual lab



Fuente: Captura de pantalla de <https://www.beyondlabz.com/>. 17/05/2021.

Jorge Martínez-Guerra, Alberto Rojas-Hernández*, María Teresa Ramírez-Silva.

Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Departamento de Química, Área de Química Analítica, Av. San Rafael Atlixco 186. Colonia Vicentina, C.P. 09340, Ciudad de México, México.

*Correspondencia para autor: Alberto Rojas-Hernández
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa
Correo electrónico: suemi918@xanum.uam.mx

Resumen

Para procurar la continuidad de la formación universitaria la cual se vio interrumpida en su modalidad presencial por la emergencia sanitaria impuesta por la pandemia de la COVID-19, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I) a través del Programa Emergente de Enseñanza Remota (PEER) adquirió varias licencias anuales para que los profesores pudieran usar los laboratorios virtuales de Beyond Labz (BL) en su enseñanza. Este software (a diferencia de otros en el mercado) contempla la integración de una gran variedad de prácticas de laboratorio en diferentes áreas como química orgánica, biología, física y fisicoquímica. El objetivo de este trabajo es mostrar las ventajas y desventajas de BL como complemento en la enseñanza de las titulaciones con monitoreo potenciométrico y visual; tema que forma parte del temario de la asignatura (en la UAM, Unidad de Enseñanza Aprendizaje, UEA) Laboratorio de Química Analítica de la Licenciatura en Química de la UAM-I. Se pone en evidencia el soporte que tiene el software para alcanzar de manera parcial los objetivos del programa de estudios de la UEA relacionada con titulaciones ácido-base, donde el alumno tiene la oportunidad de interactuar mediante el diseño experimental, la manipulación instrumental y su respectiva interpretación de datos en la resolución de un problema analítico. Sin embargo, queda evidenciado la deficiencia para el soporte de las titulaciones redox, complejométricas o de precipitación. Se demuestra que los softwares como BL, por muy eficientes que se vendan en el mercado, son solo un apoyo (no completo) en el proceso de enseñanza-aprendizaje remoto de las prácticas de Laboratorio de Química Analítica a nivel superior; y no pueden reemplazar la actividad experimental ni docente que se lleva a cabo en modalidad presencial.

Palabras clave: COVID-19, PEER, UEA, Beyond Labz, titulaciones.

Abstract

To ensure the continuity of university training which was interrupted in its face-to-face modality by the health emergency imposed by the COVID-19 pandemic, the Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-I) through the Emergent Remote Teaching Program (PEER) acquired several annual licenses so that teachers could use the Beyond Labz (BL) virtual labs in their teaching. This software (unlike others on the market) contemplates the integration of a great variety of laboratory practices in different areas such as organic chemistry, biology, physics and physicochemistry. The goal of this work is to show the advantages and disadvantages of BL as a complement in the teaching of titrations with potentiometric and visual monitoring; topic that is part of the syllabus of the subject (at the UAM, Learning and Teaching Unit, UEA) Laboratory of Analytical Chemistry of the Bachelor of Chemistry at the UAM-I. The support that the software has to partially achieve the objectives of the UEA study program related to acid-base titrations is evidenced, where the student has the opportunity to interact through experimental design, instrumental manipulation and their respective interpretation of data in solving an analytical problem. However, the deficiency to support redox, complexometric or precipitation titrations is evidenced. It is shown that software such as BL, no matter how efficient they are sold in the market, are only a support (not complete) in the remote teaching-learning process of the Laboratory of Analytical Chemistry I practice at a higher level; and they cannot replace the experimental or educational activity that is carried out in face-to-face mode.

Key words: COVID-19, PEER, UEA, Beyond Labz, titrations.

Introducción

A finales de 2019, en Wuhan China se presenta la emergencia sanitaria ocasionada por el SARS-Cov-2 la cual, el 11 de marzo de 2020 es declarada, por parte del director general de la Organización Mundial de la Salud, OMS, el doctor Tedros Adhanom Ghebreyesus como una pandemia (OMS, 2020). Un día antes, el 10 de marzo de 2020, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (UNESCO, por sus siglas en inglés), convoca una sesión de emergencia con los ministros de educación para compartir respuestas y estrategias para mantener la continuidad del aprendizaje y garantizar la inclusión y equidad (UNESCO, 2020). En México, el 16 de marzo de 2020 se publica en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el que se suspenden las clases en todos los niveles educativos dependientes de la Secretaría de Educación Pública. Bajo este contexto, la Universidad Autónoma Metropolitana, UAM, en su sesión 474 (urgente) del Colegio Académico aprobó de manera virtual el 17 de abril de 2020 el Proyecto Emergente de Enseñanza Remota, PEER (Comunicación Social UAM, 2020). Con el PEER la UAM presenta a la comunidad universitaria soluciones creativas e innovadoras frente al complejo contexto de la pandemia de la COVID-19. Toma lo mejor del modelo presencial que da sustento a su prestigio y lo enriquece con la mediación tecnológica con el fin de cumplir con las disposiciones de la Secretaría de Salud y la aplicación puntual de la Jornada Nacional de Sana Distancia (UAM, 2020). El PEER se sustenta en cuatro bloques: 1) Contingente (continuidad en las funciones de docencia en el contexto de la crisis sanitaria); 2) Multi-tecnología (diversidad de herramientas tecnológicas para la enseñanza remota); 3) Flexible (libertad en la co-construcción de espacios de enseñanza, evaluación y seguimiento en la enseñanza remota con apoyo permanente) e 4) Incluyente (apoyo para la conectividad y acceso a la enseñanza remota en sus dos modalidades: sincrónica y asincrónica) (UAM, 2020). Dentro de las herramientas tecnológicas que la UAM adquiere para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje, priorizando su calidad, se encuentran los laboratorios virtuales de la plataforma de JoVE y los laboratorios virtuales de la marca Beyond Labz, entre otros.

El laboratorio virtual BL es un programa computacional desarrollado por Brian F. Woodfield en el cual se puede encontrar un amplio catálogo de prácticas de laboratorio para disciplinas como Biología, Química Orgánica, Química General, Física y Físicoquímica. Dentro del área de Química General se ubica el tema en particular: Titulaciones. En éste, se encuentran una serie de protocolos de laboratorio para el apoyo en la enseñanza de equilibrios ácido-base (titulación de ácido fuerte con base fuerte, titulación ácido débil con base fuerte, titulación de ácido poliprótico, estandarización de hidróxido de sodio, etcétera) y equilibrios óxido-reducción (permanganometría).

Por otra parte, el contenido temático de la asignatura de Laboratorio Química Analítica (con clave 2141103) comprende titulaciones con base en equilibrios ácido-base, de óxido-reducción y complejométricos. También es común usar las titulaciones como ejemplo en cursos de Química General, como pueden ser los cursos de Química (clave 2141163) o Laboratorio de Química I (clave 2141087).

El objetivo de este trabajo es analizar las ventajas y desventajas del laboratorio virtual de titulaciones de BL para la enseñanza de esas titulaciones en asignaturas como Química, Laboratorio de Química I y Laboratorio de Química Analítica, por ejemplo, de la Licenciatura en Química de la UAM–Iztapalapa, Para ello, en el presente trabajo se analizarán algunos casos particulares:

- 1) La verificación experimental de la ley de las proporciones definidas para la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido nítrico, usando anaranjado de metilo como indicador del punto final.
- 2) La estandarización de una solución acuosa de ácido clorhídrico con un estándar primario de carbonato de sodio, usando anaranjado de metilo como indicador del punto final.
- 3) La determinación del porcentaje de pureza de FeCl_2 en una muestra problema a través de una permanganometría usando la detección potenciométrica del punto final.

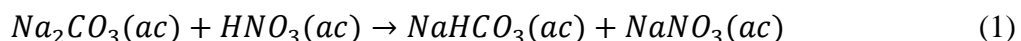
Materiales y Métodos

1 equipo de computadora con soporte para Windows.
1 licencia del software Beyond Labz.

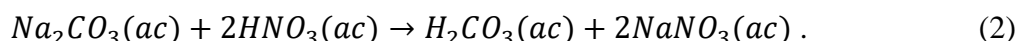
El laboratorio de titulaciones de BL aporta procedimientos establecidos, que permiten que los profesores se familiaricen con la aplicación del laboratorio virtual de titulaciones para sus procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo, los procedimientos que se discutirán en este trabajo fueron propuestos por sus autores.

Verificación experimental de la ley de las proporciones definidas para la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido nítrico, usando anaranjado de metilo como indicador del punto final.

Se pesan diferentes cantidades de un estándar primario de carbonato de sodio, en el intervalo de 0.1 a 1.5 g. Cada muestra se disuelve en 50 mL de agua a la que se le agregan de 3 a 5 gotas de una solución de anaranjado de metilo y luego se titula con solución acuosa de ácido nítrico 0.2099 M. Se determinan entonces las cantidades de sustancia del carbonato de sodio y del ácido nítrico que reaccionaron estequiométricamente y se hace la gráfica de cantidad de sustancia de ácido nítrico como función de la cantidad de sustancia del carbonato de sodio para determinar la pendiente de la recta y señalar si la reacción que describe la estequiometría del proceso es:



o bien



Estandarización de una disolución de HCl con Na_2CO_3 .

El procedimiento que se sugiere usar con el laboratorio virtual de titulaciones consiste en pesar aproximadamente 0.10 g de carbonato de sodio y transferirlos de manera cuantitativa a un vaso de precipitados de 250 mL. Se adicionan 50 mL de agua destilada disolviendo perfectamente el

reactivo. A esta solución se le agregan de 3 a 5 gotas de anaranjado de metilo. Llenar la bureta con el HCl a estandarizar. Titular la disolución hasta el vire de color del indicador (de amarillo a anaranjado). Realizar por triplicado este procedimiento. Determinar la concentración real de la disolución del HCl.

Hacer la titulación de otro ensayo, pero utilizando las mediciones potenciométricas y conductimétricas, para obtener las curvas de titulación correspondientes, y obtener la concentración analítica del ácido clorhídrico.

Determinación del contenido de FeCl_2 en una muestra problema con KMnO_4 0.0981 M. En un vaso de precipitados de 50 mL colocar aproximadamente 1.25 g de la muestra problema. Adicionar 50 mL de agua destilada e introducir el electrodo conectado al potenciómetro. Con agitación constante titular con la disolución previamente estandarizada de KMnO_4 0.0981 M y registrar en la bitácora la lectura de potencial después de cada adición. Realizar por triplicado este procedimiento y determinar el contenido de FeCl_2 en la muestra problema expresado como porcentaje de pureza másico (Ppur).

Resultados y Discusión

Verificación experimental de la ley de las proporciones definidas para la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido nítrico, usando anaranjado de metilo como indicador del punto final.

Este experimento se comenzó a hacer en el curso de Química –de la Licenciatura en Química de la UAM-Iztapalapa– que tiene una parte experimental. En ese curso se realizan actividades experimentales de química que puedan asociarse a una representación gráfica, generalmente lineal, y que permita considerar las incertidumbres en las mediciones realizadas, tanto directa como indirectamente.

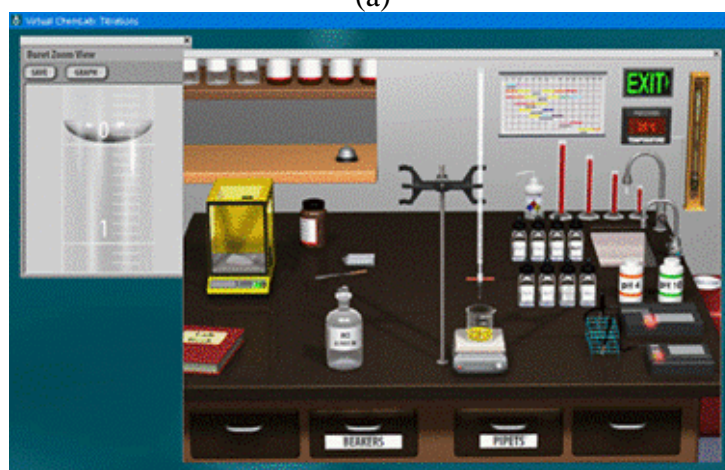
El problema por resolver en el caso de la reacción planteada entre el carbonato de sodio y el ácido nítrico es si la condición estequiométrica de la reacción se puede describir mediante la Ecuación (1) o la Ecuación (2). Para ello se pesan diferentes masas de carbonato de sodio con una balanza analítica que se disuelven en agua y se titulan con ácido nítrico o ácido clorhídrico después de haber agregado unas gotas del ácido fuerte.

Uno de los aspectos más llamativos del programa BL, al menos en su módulo de titulaciones, es lo realista que resulta la simulación. El entorno físico de un laboratorio, la balanza analítica de cuatro dígitos, la bureta de 50 mL, las probetas, las tarjetas, los vasos de precipitados, las pipetas volumétricas, los indicadores coloreados, incluso las mediciones potenciométricas de pH y las conductimétricas son muy similares a los que se tienen en un verdadero laboratorio en donde se realizan esos experimentos. Esto se puede constatar en la **Figura 1**.

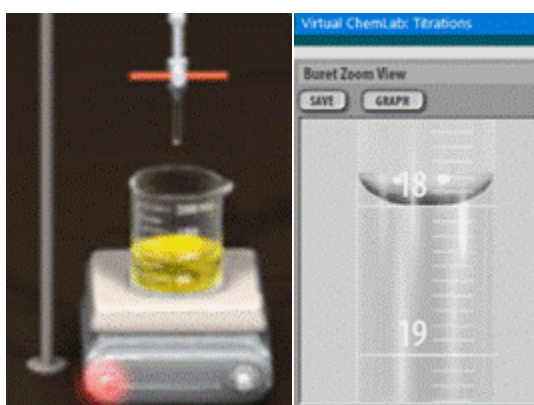
Con el laboratorio virtual de titulaciones de BL se pudo generar la información experimental que se muestra en la **Tabla 1**, y la gráfica de la cantidad de sustancia del ácido con esa información queda como se observa en la **Figura 2**.



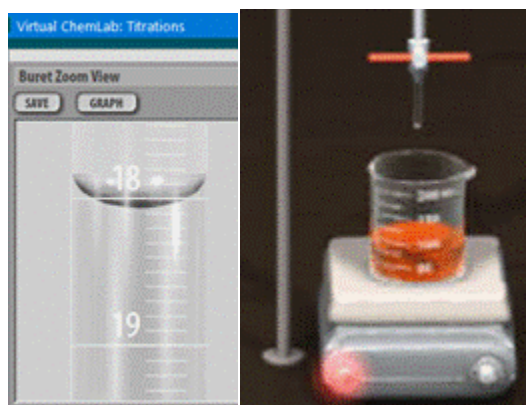
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 1. Titulaciones de carbonato de sodio con ácido nítrico o con ácido clorhídrico, en el laboratorio virtual de BL. a) Pesando el Na_2CO_3 . b) Laboratorio de BL empleado durante las titulaciones con HNO_3 o HCl . c) Ampliación del vaso de precipitados antes del vire del indicador (18.00 mL de HCl). d) Ampliación del vaso de precipitados después del vire del indicador (18.05 mL de HCl).

Fuente: Captura de pantalla de <https://www.beyondlabz.com/>. 14/06/2021.

La cantidad de sustancia del carbonato de sodio ($n_{Na_2CO_3}$) se obtuvo a partir de su masa medida ($m_{Na_2CO_3}$) y su masa molar ($MM_{Na_2CO_3}$), a través de la Ecuación (3).

$$n_{Na_2CO_3} = \frac{m_{Na_2CO_3}}{MM_{Na_2CO_3}} \quad (3)$$

Tabla 1. Los datos que se muestran en azul fueron obtenidos con el simulador de titulaciones de BL. Los datos que se muestran en negro son mediciones indirectas, a partir de las expresiones algebraicas de la masa molar y de la concentración analítica del ácido nítrico (Ecs. 3 y 4).

Sistema o titulación	$m_{Na_2CO_3}/g$ $\Delta m = 0.0001 g$	$n_{Na_2CO_3}/mmol$	$V_{HNO_3}^*/mL$ $\Delta V = 0.05 mL$	$n_{HNO_3}/mmol$
1	0.0480	0.4529	4.35	0.91
2	0.0957	0.9029	8.60	1.81
3	0.1919	1.8106	17.25	3.62
4	0.1979	1.8672	18.30	3.84
5	0.2423	2.2861	21.70	4.55
6	0.3068	2.8947	27.45	5.76
7	0.3968	3.7438	35.50	7.45
8	0.5067	4.7807	45.30	9.51
9	0.6037	5.6959	54.20	11.38

* $C_{HNO_3} = 0.2099 M$.

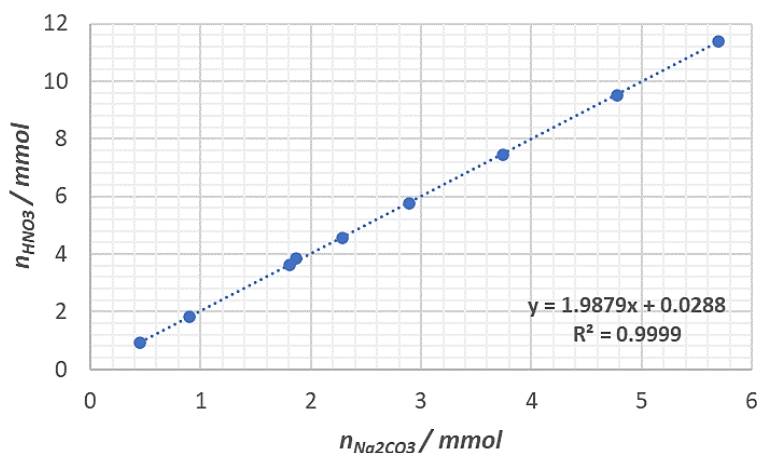


Figura 2. Gráfica de la cantidad de sustancia del HNO₃ como función de la cantidad de sustancia del Na₂CO₃, presentados en la **Tabla 1**.

Tabla 2. Pendiente y ordenada al origen de la regresión de la recta de la **Figura 2**, con sus desviaciones estándar. (Rojas-Hernández y col., 2005.)

PENDIENTE	1.99	±	0.021
ORDENADA AL ORIGEN / mmol	0.029	±	0.066

La cantidad de sustancia del ácido nítrico agregado (n_{HNO_3}) se obtuvo mediante la expresión de su concentración analítica en la solución acuosa (C_{HNO_3}) y el volumen gastado –que es la mejor estimación del volumen del punto de equivalencia– de la solución acuosa del ácido nítrico en la reacción (V_{PE}). Esto se muestra en la Ecuación (4).

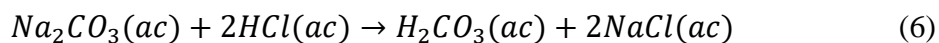
$$n_{HNO_3} = C_{HNO_3} V_{PE} \quad (4)$$

Haciendo la regresión lineal de los datos que se muestran en la **Figura 2**, y que se presentan en la **Tabla 2**, se puede decir que la recta parte del origen (el valor de 0 se encuentra dentro del intervalo determinado para la ordenada al origen) y la pendiente, igual a 2, permite decir que la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido nítrico corresponde con la Ecuación 2: $Na_2CO_3(ac) + 2HNO_3(ac) \rightarrow H_2CO_3(ac) + 2NaNO_3(ac)$; esto es, por cada mol de carbonato de sodio reaccionan 2 moles de ácido nítrico. La ley de las proporciones definidas para esta reacción, desde un punto de vista contemporáneo, puede escribirse entonces de acuerdo con el conjunto de Ecuaciones (5).

$$\frac{n_{HNO_3}}{n_{Na_2CO_3}} = \frac{2}{1} \Rightarrow n_{HNO_3} = 2 n_{Na_2CO_3} \quad (5)$$

Estandarización de una disolución de HCl con Na_2CO_3 .

De la misma forma que para la titulación del carbonato de sodio con el ácido nítrico se verificó que se puede interpretar que la reacción que ocurre forma ácido carbónico (cuando se utiliza anaranjado de metilo como indicador) se llegaría a la misma conclusión para el ácido clorhídrico, que también es un ácido fuerte. La reacción para explicar la estequiometría de la reacción entre el carbonato de sodio y el ácido clorhídrico sería entonces la que se muestra en la Ecuación (6).



Escribiendo la ecuación análoga a la Ecuación (5), pero para el ácido clorhídrico, se tiene:

$$n_{HCl} = 2 n_{Na_2CO_3} \quad (7)$$

Sustituyendo la Ecuación (3) en la (7) y dividiendo entre el volumen de punto de equivalencia determinado con el anaranjado de metilo, es posible escribir la Ecuación (8).

$$C_{HCl} = \frac{2}{V_{PE}} \frac{m_{Na_2CO_3}}{MM_{Na_2CO_3}} \quad (8)$$

Tabla 3. Volúmenes de punto de equivalencia de HCl correspondientes a cada masa pesada de Na_2CO_3 .

Ensayo	$m_{Na_2CO_3} / g$	V_{PE} / mL
1	0.0999	18.50
2	0.1010	18.30
3	0.0983	18.00
4	0.0992	18.05

En la Ecuación (8), si la masa se da en gramos y el volumen de punto de equivalencia en mililitros hay que multiplicar por un factor de 1000 para obtener las unidades de molaridad, o dar la masa en gramos y el volumen en litros.

Haciendo cuatro repeticiones de la titulación para estandarizar el ácido clorhídrico con el simulador de BL se obtuvieron los datos que se muestran en la **Tabla 3**.

Y a partir de los valores de la **Tabla 3** y aplicando la Ecuación (8), considerando una masa molar de carbonato de sodio igual a 105.988 g/mol, se obtienen las concentraciones analíticas de HCl de cada ensayo y la media y la desviación estándar de esa concentración analítica. Esto se presenta en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Concentración analítica de HCl para cada determinación. Se muestran la concentración analítica del HCl y su valor promedio más/menos su respectiva desviación estándar.

Ensayo	C_{HCl} / M
1	0.1019
2	0.1042
3	0.1031
4	0.1037
$C_{HCl} = (0.1032 \pm 0.0010)$	

Sin embargo, en el curso de Laboratorio de Química Analítica, no sólo se busca estandarizar reactivos con indicadores coloreados. También los alumnos deben aprender a construir experimentalmente curvas de valoración de diferentes tipos, como pueden ser las pH-métricas y las conductimétricas; y a partir de ellas obtener las condiciones estequiométricas y realizar estandarizaciones y análisis cuantitativos.

El simulador de titulaciones de BL permite registrar mediciones de pH y de conductividad en el curso de una titulación, adquirir los datos y exportarlos en formato de código ASCII.

En la **Figura 3** se muestran capturas de pantalla en diferentes momentos de una titulación de carbonato de sodio para la cual se hicieron mediciones de pH y de conductividad eléctrica (κ) a diferentes volúmenes agregados del ácido clorhídrico a estandarizar.

Los aparatos simulados funcionan como tituladores automáticos en donde la captura se puede hacer con adición continua del titulante, para los valores de volumen que estos dispositivos tienen preprogramados en el simulador. Los datos capturados pueden copiarse y pegarse en hojas de cálculo para construir las gráficas que se muestran en la **Figura 4**.

El volumen del segundo punto de equivalencia puede estimarse cuando cambia bruscamente la pendiente de la conductividad eléctrica (en la curva pH-métrica se puede ver que hay dos puntos de equivalencia para esta titulación). En la titulación mostrada en la **Figura 4** esto ocurre para 18.6 mL agregados del ácido clorhídrico a estandarizar. Si se toma el V_{PE} de esa titulación para ser sustituido en la Ecuación (8) se tiene:

$$C_{HCl} = \frac{2}{V_{PE}} \frac{m_{Na_2CO_3}}{MM_{Na_2CO_3}} = \frac{2}{(0.0186 L)} \frac{0.1014 g}{105.988 g/mol} = 0.1029 M$$

que es un valor perfectamente comparable con los obtenidos en las titulaciones repetidas usando el anaranjado de metilo como indicador de ese punto de equivalencia (ver **Tabla 4**).

El modelo que se necesita utilizar para construir e interpretar las curvas de titulación, pH-métrica y conductimétrica que se muestran en la **Figura 4** es mucho más complicado que la descripción (meramente estequiométrica) que se presenta en las Ecuaciones (1) y (2). En el caso del curso de Laboratorio de Química Analítica, se aplica el método de Charlot (Charlot, 1975), con herramientas tales como la Escala de Predicción de Reacciones (EPRx) que se muestra en la **Figura 5**.

Como en el modelo del método de Charlot (mejor que el puramente estequiométrico, porque se construye para explicar todos los puntos de la titulación) hay dos reacciones de valoración, también hay dos puntos de equivalencia y el segundo punto de equivalencia –el de la RV2– coincide con el volumen de punto de equivalencia de la Ecuación (8) que se deduce de la ecuación química (puramente estequiométrica) mostrada en la Ecuación (6).

Determinación del contenido de $FeCl_2$ en una muestra problema con $KMnO_4$ 0.0981 M.

Es importante destacar que la solución acuosa de permanganato de potasio debe estar previamente estandarizada con un patrón primario. En el simulador de BL, se tiene que suponer que la operación de estandarización ya se ha llevado a cabo cuando la solución acuosa se encuentra en un frasco con una etiqueta que registra el título o valor de la concentración analítica.



Figura 3. Capturas de pantalla hechas en diferentes momentos de una titulación de carbonato de sodio con solución acuosa de ácido clorhídrico.

a) Pesada de 0.1014 g. b) Inicio de la titulación: $pH = 11.16$, $\kappa = 4.54$ mS/cm.

c) $V_1 = 9.45$ mL, $pH = 8.01$, $\kappa = 3.64$ mS/cm. d) $V_2 = 18.65$ mL, $pH = 3.99$, $\kappa = 3.21$ mS/cm.

e) $V_2 = 22.90$ mL, $pH = 2.39$, $\kappa = 4.97$ mS/cm. f) $V_{final} = 32.10$ mL, $pH = 1.97$, $\kappa = 7.93$ mS/cm; también se despliegan todos los datos capturados para su exportación a otras aplicaciones y programas.

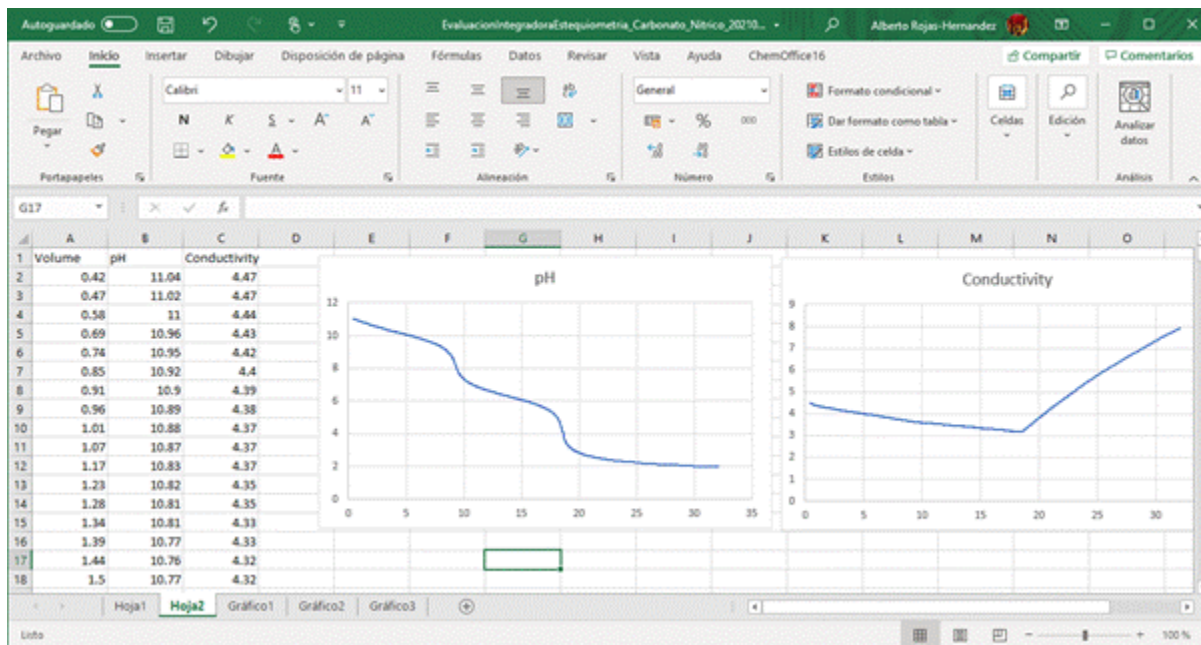


Figura 4. Datos copiados en el momento mostrado en la Figura 3f que se pegaron en una hoja de cálculo de Excel de Microsoft Office 365®. Estos datos son una excelente simulación de resultados experimentales para una titulación.

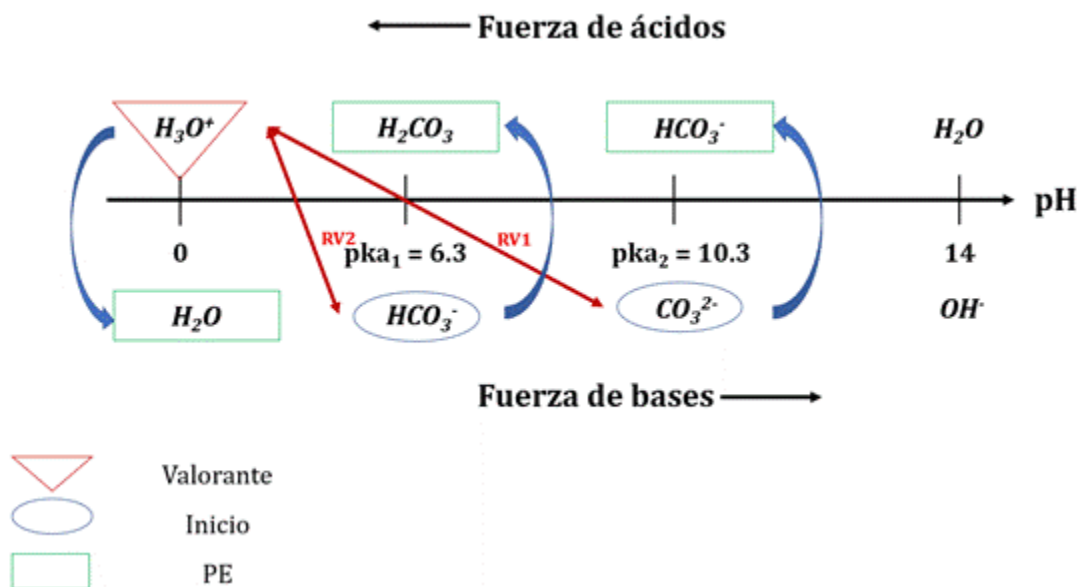
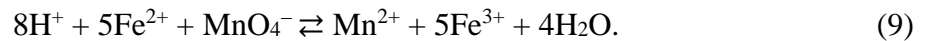


Figura 5. EPRx que explica por qué hay dos reacciones de titulación.
 RV1: $CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightleftharpoons HCO_3^- + H_2O$ y RV2: $HCO_3^- + H_3O^+ \rightleftharpoons H_2CO_3 + H_2O$.

En la **Figura 7** se predice, a través de una EPRx para procesos redox (Charlot, 1975), la reacción que ocurre durante la titulación de la muestra problema de cloruro ferroso, que es:



En la **Figura 8** se presentan sobrepuestas tres curvas de valoración potenciométrica de potencial de electrodo redox como función del volumen agregado de KMnO_4 0.0981 M. También se muestra, a manera de ejemplo, la primera derivada de una de esas curvas, la cual se determina como se establece en la Ecuación (10).

$$\frac{dE}{dV_{\text{KMnO}_4}} \approx \frac{\Delta E}{\Delta V_{\text{KMnO}_4}} \quad (10)$$

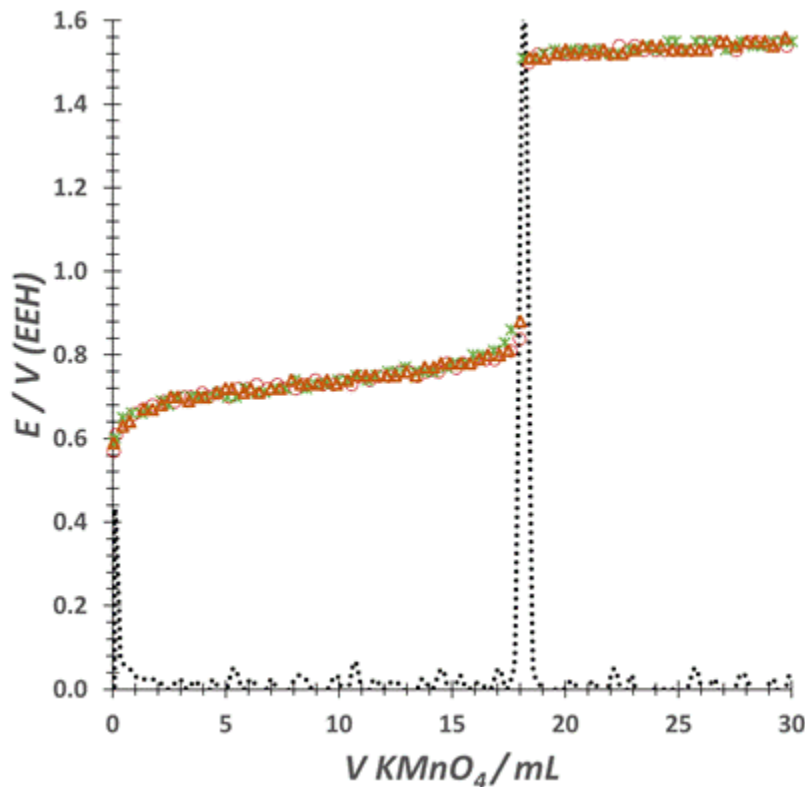


Figura 8. Curva de titulación experimental por triplicado (marcadores), graficada en la hoja de cálculo de Excel, a partir de los datos importados del simulador de titulaciones de BL. Los datos son para titulaciones repetidas de aproximadamente 1.25 g de una muestra que tiene un porcentaje de pureza de cloruro ferroso. La línea punteada es la primera derivada de uno de los experimentos, obtenida numéricamente con Excel, para la determinación del V_{PE} en su valor máximo.

Tabla 5. Valores de V_{PE} obtenidos con la primera derivada de las titulaciones de la **Figura 8**.

Experimento	$m_{muestra} / g$	V_{PE} / mL
1	1.2764	18.18
2	1.2365	17.87
3	1.2569	18.20

En la **Tabla 5** se muestran los valores de V_{PE} obtenidos con la estrategia de la primera derivada con la respectiva masa pesada de la muestra de cloruro ferroso cuya pureza se desea conocer.

A partir de los valores de la **Tabla 5** y empleando el factor de conversión mostrado en la Ecuación (11) se determina el porcentaje de pureza másico (PPur) del $FeCl_2$ en la muestra problema (**Tabla 6**). En esa ecuación el volumen debe estar en mililitros y la masa de la muestra en gramos.

$$PPur(FeCl_2) = V_{PE} \times \frac{0.0981 \text{ mol}_{MnO_4^-}}{1000 \text{ mL}} \times \frac{5 \text{ mol}_{Fe^{2+}}}{1 \text{ mol}_{MnO_4^-}} \times \frac{1 \text{ mol}_{FeCl_2}}{1 \text{ mol}_{Fe^{2+}}} \times \frac{126.75 \text{ g}_{FeCl_2}}{1 \text{ mol}_{FeCl_2}} \times \frac{1}{m_{muestra}} \times 100\% \quad (11)$$

Tabla 6. Porcentaje de pureza (m/m) de $FeCl_2$ en cada muestra. También se presenta el porcentaje de pureza promedio más/menos su desviación estándar.

Experimento	PPur($FeCl_2$) % (m/m)
1	88.55
2	89.84
3	90.02
PPur($FeCl_2$) = (89.47 ± 0.08) %	

Discusión General

Tal como se muestra en este trabajo, la estandarización de HCl y de la determinación del contenido de $FeCl_2$ son casos particulares de equilibrios ácido–base de Brønsted y equilibrios de óxido–reducción, respectivamente. Estos sistemas pueden ser estudiados usando el programa de BL con la misma rigurosidad que acontecería en un laboratorio en modo presencial. El *software* y la manera como se lleva a cabo el planteamiento de cada problema permite acompañar al estudiante en el desarrollo de habilidades tales como: establecer los objetivos del problema a resolver, planteamiento de un diseño experimental para el análisis y resolución del problema con base en los principios teóricos de la química analítica que se enseña en la UAM Iztapalapa, toma de decisiones, el uso de una bitácora virtual, “experimentación” y análisis de los resultados.

Es interesante notar que, a nivel técnico, el uso del software BL le permite al estudiante estar en un ambiente virtual con un gran número de posibilidades acentuando una interacción muy adecuada entre el alumno y la manipulación del material de laboratorio. El alumno tiene una posibilidad de establecer una experiencia muy cercana comparada a lo que normalmente se enfrentaría en un

ambiente presencial. Una prueba de ello es cuando se hace la operación de pesar usando la balanza analítica. El programa está diseñado para que el alumno, al momento de pesar, se enfrente a que debe tener cuidado con la cantidad de materia que es dispensada a través de una espátula. Si el alumno no tiene cuidado puede dispensar más de la cantidad que esperaba y esto se ve reflejado en los resultados al momento de una titulación. Otro ejemplo, es que el estudiante tiene total libertad para decidir qué tanto abre o cierra la llave de la bureta durante una titulación. Esto es muy importante sobre todo cuando el monitoreo de una reacción se lleva a cabo usando un indicador químico coloreado. Incluso el poder monitorear una reacción usando un indicador visual y un equipo potenciométrico al mismo tiempo, abre la ventana para que en el salón de clase se pueda discutir con los alumnos el tema de porcentaje de error por indicador.

Algunas desventajas que podemos encontrar al momento del uso del software de BL es que si bien ofrece once protocolos predeterminados para explorar los temas correspondientes a equilibrios ácido–base, el número de protocolos que se pueden encontrar para el estudio de equilibrios de tipo óxido–reducción es apenas de cuatro, limitando aún más la oferta de reactivos que ofrece el programa para esas titulaciones. El número de protocolos destinados al estudio de titulaciones con equilibrios de formación de compuestos de coordinación, las llamadas titulaciones complejométricas; se reduce a cero (a pesar de su importancia en este tipo de procedimientos experimentales en los laboratorios de control de calidad).

Otras desventajas que se pueden señalar es que hay deficiencias notables en cuanto a las buenas prácticas de laboratorio. Por ejemplo, no se usan embudos para llenar la bureta con la solución titulante. El magneto del agitador aparece “mágicamente” cuando se enciende el agitador magnético. Los sensores potenciométrico y conductimétrico no se enjuagan y secan cuando se cambia la solución en donde se van a sumergir. Se calibra el electrodo combinado para mediciones de pH, pero no el sistema conductimétrico ni el electrodo combinado para titulaciones redox (que se supone que tiene un electrodo de referencia que es el EEH). No se pueden mezclar reactivos para titularlos. El agua destilada o desionizada sale de una llave (que se debe suponer que está alimentada por agua muy pura). Los títulos de las soluciones, supuestamente tituladas, no tienen la incertidumbre que debería estar considerada.

Las separaciones cuantitativas por precipitación, extracción líquido–líquido y la gravimetría también quedan fuera del catálogo de BL, y las cualitativas están en el módulo de química inorgánica. Además, es importante que el docente durante la explicación de la permanganometría tome en cuenta y discuta con sus respectivos alumnos que, en la práctica común, es más apropiado y seguro el uso de un patrón primario de oxalato de sodio para la estandarización de la disolución del permanganato (pero no hay ácido oxálico ni oxalato de sodio en el almacén). Si bien BL ofrece en su catálogo un patrón primario de óxido arsenioso y este está reportado en la literatura como el patrón más adecuado capaz de ofrecer resultados menores al 0.06 % de error (Vogel, 1951), no puede pasar por alto la advertencia de ser un reactivo cancerígeno y muy venenoso.

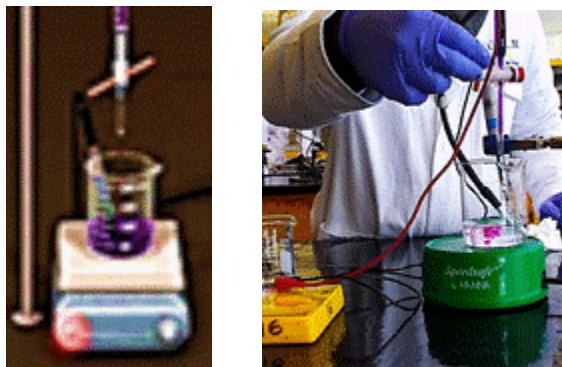


Figura 9. Izquierda: equipo de monitoreo potenciométrico de BL durante una permanganometría, arreglo de un electrodo combinado, que debe suponerse de indicador de platino y EEH de referencia (que no sé si existan, por el suministro del gas de hidrógeno). Derecha: equipo de monitoreo potenciométrico durante una práctica de permanganometría en modo presencial, arreglo de dos electrodos.

Como se dice en la **Figura 9** para las titulaciones de óxido–reducción, si se hace la detección potenciométrica del punto final se debe tomar en cuenta que los valores de diferencia de potencial que se registran con el titulador automático virtual de BL están con respecto al EEH. Y aunque comercialmente hay electrodos combinados con electrodo indicador de platino, el electrodo de referencia debe ser de plata–cloruro de plata u otro similar. Es importante también que el docente discuta que durante una permanganometría en modo presencial, lo común es el empleo de un sistema de monitoreo de dos electrodos donde el electrodo de plata-cloruro de plata es el electrodo de referencia y el electrodo de platino es el electrodo indicador; ambos conectados a un potenciómetro (o un multímetro si se quiere que sea de bajo costo el sistema de medición).

Otra desventaja es que BL ofrece una disolución de permanganato preparada en medio ácido (no se especifica qué ácido) o en agua (que sería una mala práctica de laboratorio) mientras que en modo presencial, la práctica está diseñada para que el alumno añada un volumen determinado de ácido sulfúrico concentrado (Vogel, 1951). De hecho, en alguna permanganometría en el caso del simulador de BL se puede ver que el permanganato de potasio adquiere su característico color violeta hasta que se pone en la bureta, pero es incoloro mientras se encuentra en el frasco en donde se está almacenando.

Conclusiones

Beyond Labz alcanza a cubrir sólo de manera parcial el contenido temático de la UEA Laboratorio de Química Analítica de la Licenciatura en Química de la UAM-I. Esto refleja, que Beyond Labz a pesar de ser un apoyo dinámico e interactivo (no completo) en el proceso de enseñanza y aprendizaje remoto de algunas de las prácticas de la UEA (en especial las que están relacionadas con temas de ácido–base de Brønsted); se hace evidente que no se puede reemplazar la actividad experimental ni docente que se lleva a cabo en modalidad presencial.

Algo que el profesional de la química debe aprender es la destreza para manejar ciertos equipos de laboratorio (cada uno tiene una serie de características sensoriales que sólo se pueden conocer presencialmente con cada equipo), así como el manejo de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas – aun las peligrosas. Y esto sólo se puede aprender de manera presencial ya que, hasta donde sabemos, un simulador de esas características debe ser rarísimo y muy caro.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa por la licencia anual del software Beyond Labz, a la Universidad Autónoma de Coahuila y a la Asociación Mexicana de Química Analítica en su XXXIII Congreso Nacional de Química Analítica por haber permitido presentar parte de este trabajo en su modalidad oral bajo el título: “Ventajas y desventajas en la enseñanza remota de las titulaciones en un laboratorio virtual” con la clave: Edu001.

Referencias

Boletines UAM (2020). La UAM aplicará un proyecto emergente de enseñanza remota durante la pandemia. [En línea]. Disponible en: <http://www.comunicacionsocial.uam.mx/boletinesuam/236-20.html> . Fecha de consulta: 13 de junio de 2021.

Charlot G. (1975). *Química Analítica General. Tomo I: Soluciones Acuosas y No acuosas*. (Segunda edición). Francia: Ed. Toray-Masson. 29 Pp.

Contreras D. S., Espejel D. M. & Flores R. 2020. Educación superior en México, COVID-19 y la respuesta emergente: el caso de la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. *Revista Ciencias y Humanidades*. 11:91-122.

Departamento de Química UAM Iztapalapa (2021). Bolígrama de Licenciatura en Química de la UAM Iztapalapa. [En línea]. Disponible en: <http://quimica.izt.uam.mx/> . Fecha de consulta: 04 de junio de 2021.

Margueritte F. (1846). Mémoire sur un nouveau procédé de dosage du fer par la voie humide. *Annales de Chimie et de Physique*. 18: 244-255.

OMS, Organización Mundial de la Salud (2019). La OMS caracteriza a COVID-19 como una pandemia. [En línea]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/noticias/11-3-2020-oms-caracteriza-covid-19-como-pandemia>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2021.

Rojas-Hernández, A., Álvarez-Romero, G. A., Córdova-Frunz, J. L., Vázquez-Coutiño, G. A. & Ramírez-Silva, M. T. (2005). Solución al Reactivo: Primer Examen Parcial de un Curso de Métodos Físicoquímicos de Análisis Instrumental. *Educación Química*. 16: 490-496. [En línea].

Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66112>. Fecha de consulta: 23 de junio de 2021.

SEGOB, Secretaría de Gobernación. DOF-Diario Oficial de la Federación (2020). [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5589479&fecha=16/03/2020. Fecha de consulta: 12 de junio de 2021.

UAM (2021). PEER Programa Emergente de Enseñanza Remota. [En línea]. Disponible en: <https://www.uam.mx/educacionvirtual/uv/peer.html>. Fecha de consulta: 13 de junio de 2021.

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (2020). Cierre de escuelas por el coronavirus: hay 850 millones de niños y jóvenes afectados. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/03/1470641>. Fecha de consulta: 13 de junio de 2021.

Vogel A. (1951). *Química Analítica Cuantitativa Teoría y Práctica. Volumen I Volumetría y Gravimetría*. (Segunda edición). Buenos Aires: Ed. Kapelusz. 377 Pp.