



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Aprendizaje de la
estequiometría mediante
una secuencia didáctica
asistida con simuladores**

TESIS

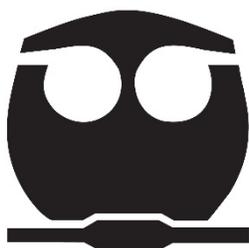
Que para obtener el título de
QUÍMICA DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

Searley Naomi Romero Mejia

ASESORA DE TESIS

Dra. Flor de María Reyes Cárdenas





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A Jessica, Alfonso, Pau y Ailyn,
por apoyarme en cada paso.**

*So make the friendship bracelets
Take the moment and taste it
You've got no reason to be afraid
You're on your own, kid
Yeah, you can face this
You're on your own, kid
You always have been*

TS, 2022

Agradecimientos

A mis papás, Alfonso y Jessica, gracias por confiar en mis decisiones, por motivarme y creer en mi en los días en los que yo no lo hago. Por tratar de que todos mis sueños se hagan realidad. Los amo.

A mis hermanas, Pau y Ailyn, gracias por ser mis amigas, mis confidentes y mis cómplices, por las canciones, las risas y las discusiones.

A mi familia: mis abuelos, Alfonso y Dominga; mis tías, Yudith, Edith y Aurora; mis tíos, Edgar y Fernando; y mis primos, Alfonso, Diego y Rafael, gracias por apoyarme y por darme un espacio lleno de amor; Vale, gracias por escuchar siempre, por las desveladas, por todas las películas, los libros y los snacks de medianoche.

A mis amigos: Ale Pimentel y Pau Araiza, gracias por estar conmigo durante más de la mitad de mi vida, por los chistes, las risas, la confianza y las pijamadas; Val Quiroz, por los buenos momentos y por los difíciles, por las reuniones de citas mal agendadas y por las de cumpleaños, por compartir tus historias conmigo y por ayudarme a escribir; Mirhos Vázquez por las pláticas de 5 horas y los futuros viajes, las opiniones y los consejos, por ayudarme a estudiar y por escuchar; Jazz Ventura, por compartir mi delulu, los fics y a los tannies, por las lloraditas y por las notas de voz; Eduardo Ferreriz y Alexis Manterola, por su amistad, por estar en los momentos importantes y por todo lo que nos queda por compartir.

A Namjoon, Seokjin, Yoongi, Hoseok, Jimin, Taehyung, Jungkook y Taylor, por acompañarme y motivarme en todas mis sleepless nights.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química.

A mi asesora, la Dra. Flor Reyes, por guiarme en este proyecto, impulsar mi desarrollo profesional y darme la oportunidad de impartir clases con ella. Gracias por escucharme y ayudarme no solo en este trabajo, también en la vida.

A las personas que integran el jurado, por su participación y compromiso: M. en C. Armando Marín Becerra, QFB. Patricia Alejandrina Lechuga Uribe, M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas, M. en C. Alberto Colin Segundo.

A la Profa. Mercedes Llano, por hacerme sentir siempre bienvenida en sus espacios de trabajo, por tenerme la confianza de dejarme colaborar con ella y estar al frente de sus alumnos, por preocuparse por mí no solo como estudiante sino como persona. Gracias por los desayunos, las historias y los plumones.

Al M. en C. Edgar Marín, por compartir sus aulas, laboratorios y experiencia conmigo.

A los alumnos, por permitirme formar parte de su proceso de aprendizaje y ayudarme a mejorar como docente.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
Objetivo de la investigación	9
Objetivo de la secuencia de enseñanza	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Las TICs en la educación	10
2.2 Uso de simuladores en el trabajo experimental	11
2.3 Contenidos disciplinares: Estequiometría y Titulación Química.	13
3. METODOLOGÍA	18
a) Participantes y contexto de la investigación	18
b) Secuencia de enseñanza.	18
c) Instrumentos de evaluación y aproximación al análisis	24
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS	25
4.1 Cuestionarios inicial y final	25
4.1.1 Preguntas de opción múltiple.	26
4.1.2 Preguntas de selección de opciones	31
4.1.3 Preguntas abiertas	33
4.2 Resultados de las actividades incluidas en los entregables	37
4.2.1 Entregable 1. Elección de un indicador mediante el diseño de un experimento utilizando el simulador 2.	38
4.2.2 Entregable 2. Cálculo de concentraciones y clasificación de curvas de titulación. Elección de un ácido de concentración 0.1 mol/L utilizando los simuladores.	40
4.2.3 Entregable 3. Preparación de diluciones y cálculo de concentraciones.	44
4.2.4 Entregable 4. Tabla de variación de cantidad de sustancia	47
4.3 Resultados del cuestionario de opinión	51
5. REFLEXIONES FINALES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS	58
6. CONCLUSIONES	59
7. REFERENCIAS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Secuencia de enseñanza y actividades del Proyecto.....	20
Tabla 2. Comparación de respuestas entre la pregunta 1 del cuestionario inicial y el cuestionario final	26
Tabla 3. Comparación de respuestas entre la pregunta 2 de los cuestionarios inicial y final	28
Tabla 4. Comparación de respuestas entre la pregunta 3 de los cuestionarios inicial y final	29
Tabla 5. Comparación de respuestas entre la pregunta 4 de los cuestionarios inicial y final	29
Tabla 6. Comparación de respuestas entre la pregunta 8 de los cuestionarios inicial y final	30
Tabla 7. Elección de indicador.....	38
Tabla 8. Volumen de los materiales (pipeta volumétrica : matraz aforado) seleccionados para preparar una dilución 1:25	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pantalla principal del simulador 1	21
Figura 2. Pantalla de selección de titulante y analito	22
Figura 3. Pantalla de selección de indicador	22
Figura 4. Curva de titulación y vire del indicador obtenidos	22
Figura 5. Pantalla única del simulador 2	23
Figura 6. Tipos de papel litmus.....	27
Figura 7. Cambio de color del papel litmus azul (izq.) y rojo (der.) en presencia de disoluciones ácidas (a), neutras (b) y básicas (c).....	27
Figura 8. Comparación entre las respuestas de los cuestionario inicial y final a la pregunta 6, reportada en número de estudiantes.....	31
Figura 9. Comparación entre las respuestas de los cuestionario inicial y final a las preguntas 11 y 12, reportada en número de estudiantes	32
Figura 10. Agrupaciones de las respuestas a la pregunta 7 “¿Qué dice la ley o principio de Lavoisier” del cuestionario inicial (azul) y cuestionario final (rojo), reportada en número de estudiantes.....	34
Figura 11. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 9 “¿Qué es el reactivo limitante?” del cuestionario inicial (azul) y final (rojo), reportada en número de estudiantes	36
Figura 12. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 10 “¿Qué es un patrón primario?” del cuestionario inicial, reportada en número de estudiantes.....	37
Figura 13. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 10 “¿Qué es un patrón primario?” del cuestionario final, reportada en número de estudiantes	37
Figura 14. Variables consideradas en los experimentos diseñados para el entregable 1. ...	39
Figura 15. Diseño del experimento para elección de indicador. Código de estudiante: E1G52A05	40
Figura 16. Diseño del experimento para elección de indicador. Código de estudiante: E1G28A12	40
Figura 17. Diferenciación de curvas y principales errores del grupo 28.	41
Figura 18. Diferenciación de curvas y principales errores del grupo 52.	41
Figura 19. Clasificación de curvas de titulación. Código de estudiante: E2G28A21.....	42
Figura 20. Error de identificación de ácidos polipróticos. Parte1. Código de estudiante E1G28A08.....	42
Figura 21. Error de identificación de ácidos polipróticos. Parte 2. Código de estudiante E1G28A08.....	43
Figura 22. Curva de titulación correcta para la resolución del entregable 2. Código de estudiante E2G52A12.....	44
Figura 23. Curva de titulación incorrecta para la resolución del entregable 2. Código de estudiante E2G28A18.	44
Figura 24. Errores al preparar una dilución.....	45
Figura 25. Errores al calcular concentraciones.....	46
Figura 26. Ejemplo de respuesta correcta para la primera pregunta del entregable 3. Código de estudiante E3G28A11.	46
Figura 27. Ejemplo de error de uso de matraces aforados. Código de estudiante E3G52A06.47	

Figura 28. Tabla de variación cantidad de sustancia para una fracción de 5 mL. Código de estudiante E4G52A03.	48
Figura 29. Tabla de avance de reacción “resumen”. Código de estudiante E4G52A03.	49
Figura 30. Errores de cálculo antes, durante y después del punto de equivalencia del grupo 28.	50
Figura 31. Errores de cálculo antes, durante y después del punto de equivalencia del grupo 52.	50
Figura 32. Agrupaciones principales de las respuestas a “Conceptos teóricos” del cuestionario de opinión.....	51
Figura 33. Agrupaciones principales de las respuestas a “Habilidades experimentales” del cuestionario de opinión.....	52
Figura 34. Agrupaciones principales de las respuestas a “Habilidades para resolver problemas” del cuestionario de opinión.....	53
Figura 35. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta “¿Qué conceptos, ideas o modelos teóricos te fueron útiles para el análisis de los datos obtenidos con el simulador?” del cuestionario de opinión.....	54
Figura 36. Conceptos y habilidades desarrolladas y que representaron un reto para los estudiantes.....	55
Figura 37. Grado de claridad de la lista de conceptos y habilidades.....	56

1. INTRODUCCIÓN

Estamos inmersos en transformaciones profundas en todos los aspectos de nuestra sociedad, que sin duda están sentando las bases de lo que será la nueva forma de relacionarnos, aprender, construir conocimiento y contribuir a la construcción social, científica y cultural de los profesionistas, así como de los ciudadanos en general.

La incorporación de la tecnología en la educación ha sido relevante desde los años '90 y, particularmente en los años 2020 y 2021, con la obligatoriedad del trabajo a distancia y el aislamiento causado por la pandemia de Covid-19, un gran número de docentes han incursionado en ella. La UNESCO (1994) ha definido a la tecnología educativa como *“el uso, para fines educativos, de los medios nacidos de la revolución de las comunicaciones, como los medios audiovisuales, televisión y ordenadores, así como otros tipos de hardware y software”*.

Carrión-Paredes (2020), señala: a) que *“la tecnología es pieza importante en el proceso de enseñanza-aprendizaje, pero, para que esta sea efectiva, el docente debe utilizar oportunamente los entornos educativos”* y b) que *“el principal problema del educando se debe a la falta de representación de [materiales] educativos en donde no está involucrado el uso de fracciones equivalentes al contexto teórico de la asignatura”*, es decir, en los materiales educativos teóricos no se presentan suficientes representaciones gráficas. Con estos conceptos en mente, podemos hablar de que, en el caso de las materias teórico-prácticas y particularmente en el caso de la química, el estudiante necesita no solo de la tecnología, sino de un conocimiento disciplinar profundo de la teoría y la práctica, en el que la tecnología funcione como complemento.

En este trabajo se estudia la influencia del uso de simuladores en el aprendizaje, con un enfoque en los contenidos teóricos de la estequiometría de las reacciones de valoración ácido-base. El periodo durante el cual se llevó a cabo corresponde precisamente a la época de mayor reclusión de la pandemia.

Entre las bondades de que los estudiantes trabajen con ellos en ese momento crítico, resalta que, por una parte, promueven el uso de las tecnologías de la información y la integración de contenidos de diversas plataformas educativas y, por otra parte, que ayudan a disminuir el impacto de no tener acceso al trabajo presencial y por lo tanto perder por completo la experiencia de estar dentro de un laboratorio.

Hablando del impacto de la modalidad en línea en la formación académica de las generaciones que han ingresado a la Facultad de Química, Reyes-Cárdenas *et al.* (2021) expresan que los estudiantes han alcanzado un buen desempeño en el uso de herramientas digitales, sin embargo, es evidente una notable falta de habilidades experimentales y un pequeño rezago en conocimientos adquiridos. Esto se puede ver en la plataforma Moodle de la Facultad de Química, “Cursos química” (Facultad de Química, 2022) en donde se tiene el registro de las calificaciones de los exámenes por práctica que realizan los alumnos cada semestre.

A continuación se comparan las calificaciones de los últimos grupos presenciales previo a la pandemia, con los primeros programados en forma presencial, posterior a la pandemia. Para los exámenes presentados durante el semestre 2022-2 (ene- jun 2022) se obtuvo un promedio de 5.97 en los laboratorios en línea¹ y un promedio de 6.24 en laboratorios impartidos de forma presencial² (promedio global de 6.1), contra un promedio global (con todos los laboratorios presenciales) de 6.91 en el semestre anterior a la pandemia (2019-2 correspondiente a ene-jun 2019). Cabe recordar que fueron 2 años de ausencia en los laboratorios, del semestre 2020-1 al 2022-1.

Para la formación básica de un profesionista en Química de Alimentos en particular y de cualquier profesionista de la Química en general, es indispensable tener una comprensión vasta y profunda de la estequiometría y su relación con los aspectos analíticos de la reacción química, los cuales son la base de múltiples procesos industriales y de investigación de las diferentes áreas de la química.

¹ Los exámenes fueron presentados por un promedio de 240 estudiantes de los 540 que tomaron el laboratorio en modalidad en línea.

² Los exámenes fueron presentados por un promedio de 452 estudiantes de los 938 que tomaron el laboratorio en la modalidad presencial.

Objetivo de la investigación

Aportar información sobre los beneficios de trabajar aspectos educativos con el acompañamiento de simuladores, de forma síncrona y asíncrona, para el tema de estequiometría de las reacciones de valoración ácido-base.

Objetivo de la secuencia de enseñanza

Aportar a estudiantes de Química de Alimentos, así como de otras carreras, conocimientos sobre la titulación química y sus fundamentos estequiométricos, mediante el uso de simuladores y actividades en línea. Lo que les facilitará la comprensión de temas de alta demanda cognitiva en materias posteriores del plan de estudios como química analítica experimental, química orgánica y, en el caso de los Químicos de Alimentos, laboratorio de alimentos 1 y 2.

Lo anterior se logrará al tiempo que los estudiantes realizan, de forma virtual, actividades basadas en las prácticas presenciales del curso de Laboratorio de Química General II (LQGII), asignatura del segundo semestre de todas las carreras que se imparten en la FQ, con el apoyo de simuladores, animaciones relacionadas con las condiciones experimentales, estudios de caso y procedimientos técnicos.

Todo esto coadyuvará en la comprensión de aspectos necesarios para analizar con éxito protocolos experimentales, específicamente con respecto a las habilidades procedimentales y el razonamiento crítico necesario para tomar decisiones respecto al uso de material, la técnica y el análisis continuo que se debe llevar a cabo a la par del desarrollo de cualquier experimento, a fin de tomar decisiones para continuar, reiniciar o hacer modificaciones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Las TICs en la educación

El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación ha tomado un papel importante en la enseñanza dentro y fuera del aula. Desde los años setenta del siglo pasado se han diseñado numerosos recursos para todas las materias y niveles educativos, se han realizado muchas experiencias educativas y se ha publicado una gran cantidad de trabajos de investigaciones sobre la influencia de los programas de ordenador en múltiples aspectos del proceso de enseñanza y aprendizaje (Pontes Pedrajas, 2005a).

A lo largo de los años la tecnología educativa y el uso de simuladores han sido estudiados por distintos autores. Torres Nieves (2018) menciona que *“cuando las tecnologías se utilizan con modelos pedagógicos no tradicionales, pueden incrementar notablemente la participación, interés y motivación de los estudiantes involucrándose en situaciones de aprendizaje [...] facilitando la aprehensión de conocimientos relacionados con conceptos de la química inorgánica”*.

Vygotsky (1998), plantea que *“el estudiante aprende cuando se encuentra en el entorno de aprendizaje tecnológicamente enriquecido, que le permite construir una comprensión del mundo a partir de los objetos que manipula sobre los cuales reflexiona”*.

Por su parte Pontes Pedrajas (2005b) menciona 6 tipos principales de programas de enseñanza de las ciencias asistida por ordenador: programas de ejercitación y autoevaluación, tutoriales interactivos, enciclopedias multimedia, simulación de fenómenos y laboratorios virtuales, laboratorio asistido por ordenador y sistemas de autor (elaborados y programados por el docente). Presenta también los diversos tipos de recursos informáticos que contribuyen a desarrollar conocimientos procedimentales y destrezas, no solo en los estudiantes sino también en los profesores que los implementan al mejorar sus recursos didácticos a través de la formación tecnológica, científica y pedagógica.

Con respecto a la implementación de la tecnología educativa se consideran dos actores principales, el docente y el estudiante.

Relativo al docente, en el año 2006 Mishra y Koehler desarrollaron un modelo de integración de la tecnología en la educación, llamado Conocimiento Técnico Pedagógico del Contenido, TPACK por sus siglas en inglés (Technological Pedagogical Content Knowledge). Abbitt (2011, p. 281)

define al TPACK como “una representación del conocimiento requerido para usar la tecnología en un entorno educativo de manera que sea contextualmente auténtica y pedagógicamente apropiada”. Para esto el modelo combina tres variables en las que el docente debe formarse antes de integrar la tecnología a sus clases: conocimiento tecnológico, conocimiento pedagógico y conocimiento del contenido; por sus siglas en inglés TK, PK y CK respectivamente.

En cuanto al estudiante, varias investigaciones han demostrado que cuando ellos interactúan con sitios web multimedia complementarios para mejorar la instrucción de lectura tradicional, se pueden obtener mayores ganancias de aprendizaje y un aumento el interés, la participación y la atención; tal es el caso de los simuladores (Pontes Pedrajas, 2005b).

“En el caso de la química el uso de tecnologías digitales es más relevante para la enseñanza debido a la naturaleza del contenido y el impacto visual que pueden proporcionar para ayudar a explicar el nivel invisible abstracto. Por ejemplo, representando el nivel submicroscópico de la materia, mostrando sustancias químicas que no están fácilmente disponibles o accesibles para su uso, proporcionando simulaciones para experimentos que no se pueden realizar de manera segura en el laboratorio o para los cuales no hay equipo disponible en el salón de clases” (Chittleborough, 2014).

Se debe enfatizar que el uso de la tecnología no sule a los laboratorios, “la complementariedad entre los experimentos virtuales y los experimentos reales enriquece el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, ya que el uso de simulaciones no reemplaza el trabajo con material concreto en el laboratorio” (Raviolo y Farré, 2017). Si bien el trabajo de laboratorio no es reemplazable con el simulador, el trabajo con el simulador tampoco es reemplazable con el trabajo de laboratorio.

2.2 Uso de simuladores en el trabajo experimental

“Los simuladores son herramientas que llevan a la persona a imitar un contexto real, estableciendo en ese ambiente situaciones problemáticas o reproductivas, similares a las que él deberá enfrentar” (Frías, Arce y Flores Morales, 2016). A este respecto López, López y Rojano (2018, p. 81) expresan que “los simuladores permiten experimentar en Química fenómenos que pueden ser inalcanzables en el ambiente educativo, ayudando al estudiante a relacionar lo teórico con lo práctico, mejorando así la comprensión. Esta interactividad permite a los estudiantes reestructurar sus modelos mentales al comparar el comportamiento de los modelos con sus previsiones” (Hernández y Saavedra, 2014).

En este sentido y desde hace muchos años se han desarrollado simuladores para que los estudiantes puedan interactuar con fenómenos desde un enfoque diferente; existen muchos tipos de simuladores en cuestión de nivel de tecnología, así como de costo. Una de las plataformas que tiene una gran cantidad de simuladores gratuitos es PhET (PhET, 2022) que hasta 2010 contaba con aproximadamente 97 simuladores traducidos a 57 idiomas (Adams, *et al.* 2010).

Las simulaciones proporcionan una representación dinámica del funcionamiento de un sistema determinado, por lo que tienen cada vez más importancia en la enseñanza de la física, la tecnología, la biología, la astronomía, la medicina, la química, la geología y todas las ciencias en general, ya que *“permiten visualizar el desarrollo de procesos simples o complejos, mostrando la evolución del sistema representado y la interacción entre los diversos elementos que lo integran o al menos algunas consecuencias de tales interacciones”* (Martínez *et al.*, 1994).

Andaloro *et al.* (1991) y Raviolo y Farré (2017) mencionan que las simulaciones utilizan modelos de sistemas en donde se modifican algunos parámetros o variables, por lo que pueden emplearse como un recurso para plantear situaciones conceptuales que favorezcan el aprendizaje y la integración de los conceptos tratados, de manera que la evaluación resulte formativa al obtenerse resultados observables que permiten realizar inferencias sobre la influencia de tales variables en el comportamiento del sistema representado; por tanto, proporcionan al estudiante la oportunidad de interactuar, reflexionar y aprender, participando de forma activa en el proceso educativo.

El uso de simuladores como complemento en la enseñanza es ideal como repaso de experiencias y demostraciones, ensayos peligrosos y que no pueden desarrollarse debido a limitaciones de tiempo y puede ser usados como preparatorio antes de pasar al laboratorio real (Torres Nieves, 2017). El simulador permite al estudiante aprender de manera práctica, a través del descubrimiento y la construcción de situaciones hipotéticas. Un simulador tiene la ventaja de permitir al estudiante desarrollar la destreza mental, y en casos específicos se pueden incluso desarrollar habilidades físicas, como en simuladores de realidad aumentada o simuladores de pacientes humanos, usados en medicina. Este desarrollo se logra a través de su uso y en relación con situaciones que pueden ser utilizadas de manera práctica. Si son usados en trabajo colaborativo, estimulan el trabajo en equipo al propiciar la discusión del tema. Sin embargo Calvo (2008), señala el peligro de usar los simuladores virtuales sin interacción con fenómenos reales. Infante (2014) señala que la experimentación con modelos simulados es comparable siempre que se complementen las prácticas de laboratorio tradicionales con animaciones/simulaciones que permitan a los estudiantes visualizar y entender mejor el comportamiento de la realidad. Por lo

que su objetivo primordial, según Torres Nieves (2017) y Raviolo y Farré (2017), no es desplazar a los laboratorios físicos, sino dinamizar, apoyar o hacer más eficiente la experiencia del estudiante; la complementariedad entre los experimentos virtuales y los experimentos reales enriquece el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. En este sentido podemos decir que aunque los simuladores traten de imitar la realidad, esto no es algo que se pueda lograr, ya que las simulaciones virtuales son una abstracción que carece de una inmensa cantidad de elementos que solo son posibles en la vida real. El uso de simulaciones no reemplaza el trabajo en el laboratorio.

Carrión-Paredes (2020) señala que el uso de “simuladores virtuales” favorece a la educación en múltiples asignaturas, haciendo visible la unión entre la enseñanza y la tecnología, aunque Hodson (1986) nos dice que “*saber qué observar de un fenómeno, saber cómo observarlo, observarlo y describir las observaciones dependen de la teoría y, por lo tanto, son falibles y sesgados*”. Es decir, que es indispensable tener un marco de referencia, en este caso la teoría, para saber qué es lo que debemos observar y documentar del fenómeno en estudio. Chittleborough (2014) señala que el uso de nuevas tecnologías en la enseñanza trae consigo el riesgo de hacer un mal uso de la tecnología desde una perspectiva pedagógica, por ejemplo, usar la tecnología porque entretiene y no para adquirir o reforzar el conocimiento.

Específicamente en el caso de la química a nivel universitario, las simulaciones pueden ayudar en la integración de los aspectos teóricos y prácticos, en donde los distintos momentos de enseñanza pueden estar a cargo de diferentes personas y así brindar una discusión teórica y modelada de problemas y una explicación teórica a experimentos realizados en laboratorio (Raviolo y Farré, 2017). En este sentido, en la Facultad de Química se podrá utilizar el mismo simulador en clases de teoría y posteriormente en clases de laboratorio, lo que, además de hacer un puente entre los contenidos y el simulador, permitirá entretener de mejor forma los conocimientos de ambas clases.

2.3 Contenidos disciplinares: Estequiometría y Titulación Química.

Publicaciones de investigación educativa se refieren a la estequiometría como “*un concepto [...] para cuantificar las proporciones ponderales (en masa) con que se combinaban los elementos en las sustancias*” (Obando, 2013), este concepto “*aborda las relaciones cuantitativas de la química sobre una base cualitativa, conceptual*”, es decir que una vez que se han abordado los conceptos y se ha hecho una primera exploración cualitativa, se puede iniciar el estudio formal de los

aspectos cuantitativos. Según Raviolo y Lerzo (2016), “resolver situaciones sobre estequiometría implicaría la comprensión de los conceptos de fórmula química, reacción química, ecuación química, reactivos y productos, subíndices y coeficientes estequiométricos”. Garritz, Gasque y Martínez (2005) nos dicen que “un objetivo central de la química ha sido controlar la cantidad de reactivos y productos involucrados en una reacción. A este campo de estudio se le denomina estequiometría, palabra derivada del griego <stoicheion> que significa elemento y <metron> que significa medida y representa una herramienta indispensable dentro de la práctica de la disciplina”.

Se han reportado las dificultades más importantes que presentan los estudiantes en el aprendizaje de la estequiometría: a) relación entre los diferentes niveles conceptuales de la química; b) comprensión de conceptos fundamentales de la disciplina, existencia de concepciones alternativas; c) desarrollo de ciertas habilidades matemáticas (Talanquer, 2010; López, 2018; Kind, 2004). Y se cuenta con la documentación de algunas concepciones alternativas que presentan los estudiantes: “a) confunden distintas notaciones químicas (mol, moléculas, concentraciones, masas, volúmenes) que se ponen en juego en la resolución de problemas; b) no comprenden las fórmulas químicas en términos de partículas ni el significado de los subíndices o de los coeficientes estequiométricos; c) no conservan la masa o presentan problemas con la conservación de los átomos, pero no hay conservación de las moléculas en el cambio químico” (Frazer y Servant, 1987; Yaroch, 1985; Mitchell y Gustone, 1984). De lo anterior se puede decir que los estudiantes presentan dificultades para comprender que, en las reacciones químicas, la masa se conserva a través de la conservación del número de átomos pero no de la conservación de las sustancias iniciales en sí.

Por tanto y a manera de premisa, se considera importante que los estudiantes conozcan los conceptos y definiciones involucradas, pero es todavía más relevante que cuenten con un manejo adecuado de los cálculos estequiométricos. Con este Proyecto se promueve que los alumnos adquieran un manejo profundo de la estequiometría mediante un análisis a lo largo del proceso de valoración y no únicamente mediante el uso de fórmulas.

Por su parte la estequiometría se basa en la comprensión del concepto de masas atómicas y de la Ley de la Conservación de la Masa. Si bien Brown expresa el origen de la palabra y menciona aspectos relevantes para la comprensión de la estequiometría, no aporta una definición ya que no es explícito a lo que se refiere con esta palabra.

Silberberg (2019, p. 90) clarifica que la estequiometría “es el estudio de los aspectos cuantitativos de las fórmulas y las reacciones químicas” y Chang (2020, p. 95) añade que se refiere al estudio cuantitativo de reactivos y productos. Por su parte Petrucci *et al.* (2011, p. 112) mencionan que “para algunos, la estequiometría no es más que la ley de conservación de la masa, pero no nos equivoquemos, la estequiometría es importante. Los químicos la utilizan de forma rutinaria para planificar experimentos, analizar sus resultados y hacer predicciones; todo ello contribuye a hacer nuevos descubrimientos y hacer crecer nuestro conocimiento del mundo microscópico de átomos, iones y moléculas.”

Una definición muy completa la encontramos en las aportaciones de Whitten *et al.* (2015, p. 44), “la estequiometría describe las relaciones cuantitativas entre elementos en compuestos (estequiometría de composición) y entre sustancias que experimentan cambios químicos (estequiometría de reacciones)”. Para este trabajo de investigación se utilizará este criterio.

Según Morales-Erazo *et al.*, 2018 en los laboratorios de los primeros semestres de educación universitaria en química, la técnica más usada para la enseñanza de la estequiometría está directamente relacionada con la titulación química.

La titulación es una técnica usada para la determinación cuantitativa de múltiples mensurandos³, en este caso, la concentración de una sustancia química (el analito) haciéndola reaccionar con una disolución de concentración conocida (el titulante). Existen diversos tipos de titulación química, siendo ácido-base y redox dos de los más importantes. “En la actualidad, la titulación química tiene una gran cantidad de aplicaciones, y ha contribuido enormemente al desarrollo de la industria química y por lo tanto al desarrollo de la química misma” (Campbell, 2022 y Morales-Erazo *et al.*, 2018).

De acuerdo con Morales-Erazo *et al.* (2018) el primer artículo sobre la titulación química se publicó en 1729, en el que se presenta una cuantificación del ácido acético en el vinagre. Desde entonces este proceso ha evolucionado y se ha hecho presente en distintos campos de aplicación de la química analítica.

Algunos ejemplos de su aplicación incluyen: la determinación de constantes de equilibrio, la cuantificación del principio activo de medicamentos, la cuantificación de proteínas y la cuantificación de la acidez titulable en alimentos, entre otros.

³ “Magnitud particular sujeta a medición” Castelazo (2002).

En el entorno educativo, la reacción más usada en titulaciones ácido-base es la neutralización de un ácido fuerte con una base fuerte, en la cual los estudiantes calculan la concentración desconocida del analito (Baldwin y Orgill, 2019).

Relacionado con el estudio de la estequiometría de las titulaciones ácido base se encuentran reportadas las siguientes dificultades de aprendizaje. Sheppard (2006) encontró que muchos estudiantes consideran la reacción de neutralización como una mezcla física, en la que no se identifican los productos (la neutralización estaría determinada por un número relativo de las partículas y no por la interacción entre ellas) y le otorgan un rol especial a alguno de los reactivos (consideran al ácido como más «poderoso» o «dominante» que la base). Al analizar la curva de titulación de una base fuerte con un ácido fuerte, ante el poco cambio de pH que se presenta al inicio, algunos estudiantes afirman que los reactivos se mezclaron pero que la reacción todavía no se ha iniciado; que la reacción comienza cuando se produce el cambio brusco de pH. Esto último indicaría una dificultad de percibir el cambio químico a nivel molecular como producto de colisiones (Raviolo y Farré, 2017).

Por otra parte, Jiménez-Liso y De Manuel (2002) en su estudio sobre la neutralización ácido-base encuentran que los estudiantes sostienen que *“el producto final de una titulación ácido-base es siempre una disolución neutra (pH = 7)”*, es decir identifican el punto final con la obtención de una disolución neutra.

Una situación adicional por considerar es la que plantean Raviolo y Farré: la investigación educativa ha comprobado que la resolución algorítmica o numérica de un problema no implica la comprensión de los conceptos involucrados y, en particular, la comprensión a una escala submicroscópica o de partículas (átomos, moléculas, iones). *“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”* (Raviolo y Lerzo, 2016).

Considerando las ideas anteriores y pensando en una transferencia hacia un entorno educativo con el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación en la enseñanza, como es el caso de los simuladores, es relevante mencionar que los recursos no son buenos o malos por sí solos, ya que dependen de los objetivos de aprendizaje y estrategias de enseñanza específicas de cada docente y de la percepción del estudiante; a este respecto Raviolo y Farré señalan que una simulación no «habla» igual para todos.

La simulación por sí sola no llega de igual forma para todos los estudiantes, creer que lo hace es una preconcepción común de los profesores que ya saben qué observar, cómo relacionar y que, en definitiva, dominan el lenguaje de la química.

Si bien el uso de simuladores por sí solo no supone un avance en la mejora de la calidad educativa, ya que esto depende específicamente del profesor, la inclusión de simulaciones puede permitir una evaluación conceptual cognitivamente más demandante, ya que es necesario comprender y aplicar los conceptos relacionados para transitar por el simulador, siempre y cuando el simulador permita relaciones entre los conceptos de un nivel cognitivo adecuado a educación universitaria. Esto permite que el estudiante además de comprender los tópicos fundamentales, también los ponga en práctica, lo que implica un nivel de comprensión superior que requiere de razonamiento crítico y necesario para la formación de profesionistas en química.

Además provee de múltiples posibilidades para conocer lo que los estudiantes logran comprender referente los diferentes lenguajes o niveles de representación de la materia con los que se enseña química.

3. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un corte cualitativo, para la cual se desarrolló e implementó una secuencia de enseñanza con materiales educativos y entregables (anexo 1) que fueron resueltos por los estudiantes.

a) Participantes y contexto de la investigación

Se trabajó durante el semestre 2022-1 (ago 2021-ene 2022) con 2 grupos de estudiantes de la Facultad de Química que se encontraban cursando el Laboratorio de Química General II (LQGII) en segunda inscripción, derivado de una situación inusual en la que se dieron de baja a mitad del semestre anterior (2021-2), debido a un paro de actividades de 8 semanas que se llevó a cabo del 23 de marzo al 21 de mayo (Facultad de Química, 2021a y 2021b) con una oferta de baja extemporánea que tomaron todos los estudiantes de los grupos en cuestión.

En el semestre 2022-1 la muestra estuvo conformada por dos grupos: a) el grupo 28 con un total de 24 estudiantes, 13 mujeres y 11 hombres, dirigido por un profesor con 3 años de experiencia y b) el grupo 52, con 19 estudiantes de los cuales 12 eran mujeres y 7 son hombres, dirigido por una profesora con 47 años de experiencia.

Para asegurar una implementación y tiempos de avance similares en la secuencia de enseñanza, la autora de este trabajo fungió como docente en una modalidad de co-docencia en ambos grupos. Además el profesor con menos experiencia docente con grupos de la asignatura tenía amplia experiencia con grupos del nivel medio superior además de un doctorado en Ciencias Químicas. Adicionalmente los materiales (textos, presentaciones, cuestionarios, entre otros) fueron elaborados y revisados siempre de forma conjunta, por lo que ambos profesores los conocían.

La secuencia se implementó a lo largo de 3 semanas con un total de 16 horas, 12 síncronas y 4 asíncronas.

b) Secuencia de enseñanza.

De manera general, a lo largo de la secuencia de enseñanza los estudiantes hicieron uso de simuladores para resolver actividades y comprender fenómenos que se realizan en el LQGII en los cursos presenciales, mismos que están relacionados con la estequiometría y la titulación química ácido-base.

La primera semana del curso desarrollado en línea (semestre 2022-1) se dedicó a revisar aspectos de seguridad, las reglas generales del desarrollo de todo el curso y la forma de evaluación. Fue hasta la segunda semana que se inició el desarrollo del Proyecto haciendo uso de los simuladores y del material educativo diseñado. También se prepararon 3 clases con contenidos teóricos, que fueron impartidas en cinco sesiones, de 2 horas cada una, sincrónicas en línea. A continuación se mencionan los temas específicos de cada clase impartida. El detalle de secuenciación de actividades se encuentra en la Tabla 1.

Preparación de disoluciones 1 y 2 (semana 2, 4h)

- Cálculos para la preparación de disoluciones
- Cálculos para la preparación de diluciones
- Patrón primario
- Patrón secundario
- Técnica de titulación/valoración

Estequiometría (semana 3, 2h)

- Significado de la ecuación química y su notación
- Balances de materia en reacciones químicas
 - Ley de Lavoisier
- Reactivo limitante

Ácidos y bases 1 y 2 (semanas 3 y 4, 4h)

- Teorías ácido-base (breve presentación de...)
 - Boyle
 - Arrhenius
 - Brønsted-Lowry
 - Lewis
- Concepto de pH
- Compuestos con propiedades ácido-base
- Reacciones ácido-base: neutralización
- Aspectos cualitativos y cuantitativos de ácidos y bases
- Indicadores ácido-base
- Estudio cuantitativo de las valoraciones ácido-base

Estas clases se diseñaron con una estructura que agrupa diferentes conceptos de ácidos y bases con la estequiometría y la técnica de titulación. Es una propuesta de integración desde el eje de ácidos y bases que permite dar coherencia a algunos contenidos que el programa de estudio de la asignatura propone en diferentes momentos del semestre.

En la Tabla 1, se encuentran las actividades y contenidos programados para ambos grupos.

Tabla 1. Secuencia de enseñanza y actividades del Proyecto

Semana	Día	Temas revisados en las clases en línea sincrónicas	Instrumento de evaluación
Semana 2 23-29 ago	Martes	Preparación de disoluciones 1	Cuestionario inicial (examen diagnóstico)
	Jueves	Preparación de disoluciones 2	Tarea 1. Explorar los simuladores (1 y 2)
Semana 3 30 ago- 5 sep	Martes	Estequiometría	Entregable 1. Elección de indicador (simulador 2)
	Jueves	Ácidos y bases 1	Entregable 2. Cálculo de concentraciones (simulador 2) y diferenciación de curvas de titulación (simulador 1)
Semana 4 6-12 sep	Martes	Ácidos y bases 2	
	Jueves	Resolución de Dudas	Entregable 3. Preparación de disoluciones y cálculo de concentraciones Entregable 4. Tabla de variación de especies
Semana 5 13-19 sep	Martes		Cuestionario final (examen final)

Los cuestionarios inicial y final se conformaron con las mismas preguntas a fin de estar en posibilidad de evaluar el avance del conocimiento obtenido al finalizar el Proyecto. Sin embargo, ante la mención del término "patrón secundario" en los protocolos oficiales del curso y en varios de los textos que los alumnos consultaban, fue necesario incluir en el cuestionario final una pregunta que permitiera evaluar la comprensión de este concepto.

Las tareas que los alumnos debían realizar de forma individual y fuera del horario de clase, se nombraron “entregables” y fueron asociadas a un instrumento de evaluación. Para la secuenciación y asignación de tiempos se consideró la dificultad y carga de trabajo de cada entregable y de esta forma se asignaron fechas de entrega.

Para la tarea 1 los estudiantes tuvieron 5 días para explorar los simuladores de forma libre y no se solicitó ningún entregable de esta sección. Posteriormente completaron los entregables que se detallan en el anexo 1.

A continuación, se presenta la descripción de cada simulador.

- El simulador 1 “Acid-base titration” es un software con el que se pueden obtener curvas de titulación y ver el vire de diferentes indicadores, para diferentes reacciones. (Patsay, 2007). El programador menciona que “este software está diseñado para el cálculo de curvas volumétricas ácido-base. Se tienen en cuenta todos los equilibrios ácido-base (incluida la disociación del agua) a 20°C e $I=0$ (I : fuerza iónica)”

En la Figura 1 se puede ver la pantalla principal del simulador.

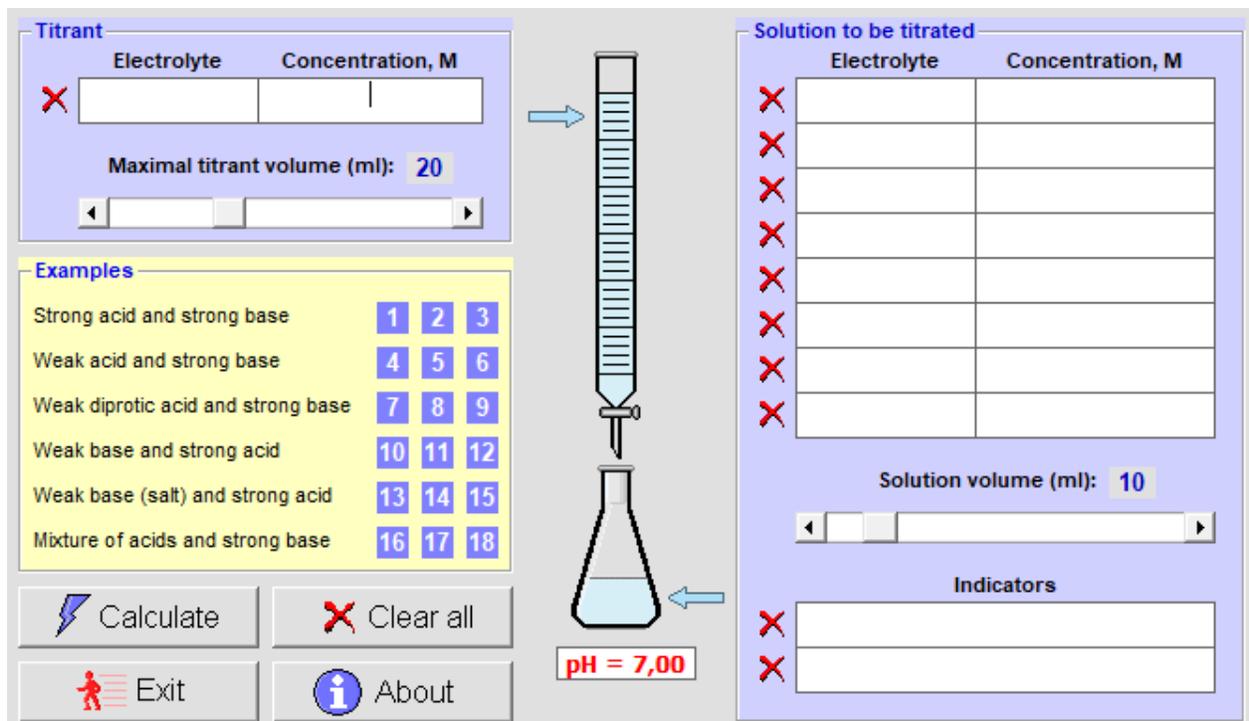


Figura 1. Pantalla principal del simulador 1

Una vez dentro del simulador, los estudiantes pueden elegir entre una serie de titulantes y analitos (Figura 2) y entre una serie de indicadores (Figura 3).

Acids			Bases		
HCl	H ₂ SO ₄	HCOOH	KOH	NH ₃	NH ₂ OH
HClO	H ₂ SO ₃	CH ₃ COOH	NaOH	N ₂ H ₄	C ₆ H ₅ NH ₂
HClO ₂	H ₂ S ₂ O ₃	CF ₃ COOH	Kb(1) = <input type="text"/>		
HClO ₃	H ₂ S	CCl ₃ COOH	unknown base Kb(2) = <input type="text"/>		
			Kb(3) = <input type="text"/>		
H ₃ PO ₄	H ₂ SeO ₄	HSCN	About current electrolyte		
H ₃ PO ₃	H ₂ SeO ₃	HOCN	<p>Attention! If you want to select "unknown acid" or "unknown base" you must first set the values of Ka (for acid) or Kb (for base).</p>		
H ₃ PO ₂	H ₂ Se	HNCO			
H ₂ AsO ₄	HNO ₃	C ₆ H ₅ OH			
H ₂ AsO ₃	HNO ₂	C ₆ H ₅ COOH			
H ₃ CO ₃	H ₃ BO ₃	H ₂ MoO ₄			
H ₂ C ₂ O ₄	H ₂ B ₄ O ₇	H ₂ Mo ₇ O ₇			
H ₂ O ₂	HF	HCN			
Ka(1) = <input type="text"/>					
unknown acid Ka(2) = <input type="text"/>					
Ka(3) = <input type="text"/>					

Figura 2. Pantalla de selección de titulante y analito

Indicators	pH range	Colour
Picric acid	0.0 - 1.3	Yellow
Benzene-azo-diphenylamine	1.1 - 2.8	Yellow
Benzyl orange	1.9 - 3.3	Yellow
Methyl orange	3.1 - 4.0	Orange
Congo red	3.0 - 5.2	Red
Bromo-cresol blue	3.8 - 5.4	Blue
Lackmoid	4.0 - 6.4	Blue
Methyl red	4.2 - 6.2	Red
Hematoxiline	5.0 - 6.0	Yellow
Bromo-phenol red	5.0 - 6.8	Yellow
Bromo-thymol blue	6.0 - 7.6	Yellow
Rosolic acid	6.8 - 8.0	Yellow
Phenol red	6.8 - 8.4	Yellow
m-Cresol purple	7.4 - 9.0	Yellow
Phenol-phthalein	8.2 - 10.0	Colorless
Thymol-phthalein	9.3 - 10.5	Colorless
b-Naphthol violet	10.0 - 12.1	Blue
Alizarin yellow	10.0 - 12.1	Yellow
Tropeoline O	11.1 - 13.0	Yellow
Indigo carmine	11.6 - 14.0	Blue

Figura 3. Pantalla de selección de indicador

Una vez seleccionado el titulante, el analito y el indicador a utilizar, los estudiantes eligen la concentración tanto del analito como del titulante para obtener su curva de titulación y observar el vire de color del indicador (Figura 4).

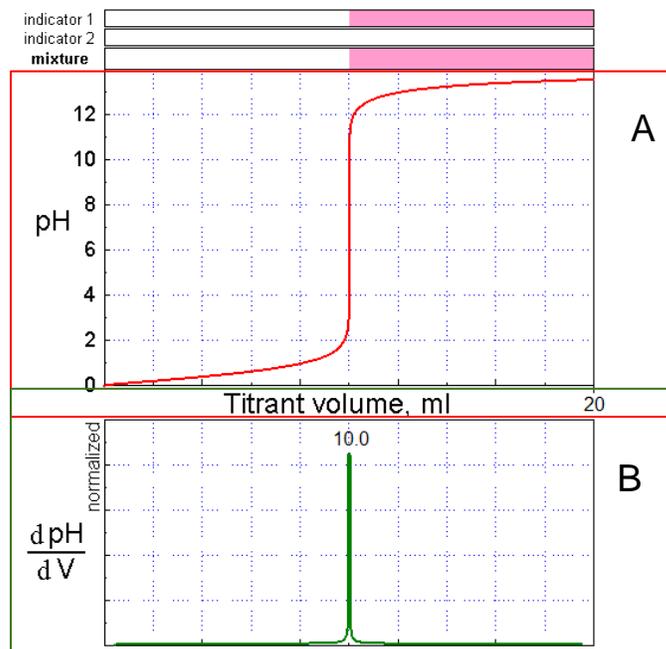


Figura 4. Curva de titulación y vire del indicador obtenidos

En la gráfica A de la Figura 4 se observa una curva en rojo denominada curva de titulación que nos da información sobre el cambio del pH de la disolución con relación al volumen de titulante agregado. En verde (gráfica B), el grafico correspondiente a la primera derivada de la curva de titulación se observa la determinación del punto final de la valoración por el *método de la primera derivada*, que se asocia al máximo o mínimo de esta función; e indica el volumen de titulante (mL) que se debe gastar para alcanzar al punto final de la titulación.

- El simulador 2 “Valoraciones ácido-base” (Hurtado, 2016) permite realizar una titulación a partir de la selección de un ácido y un indicador con una base de concentración dada (Figura 5).

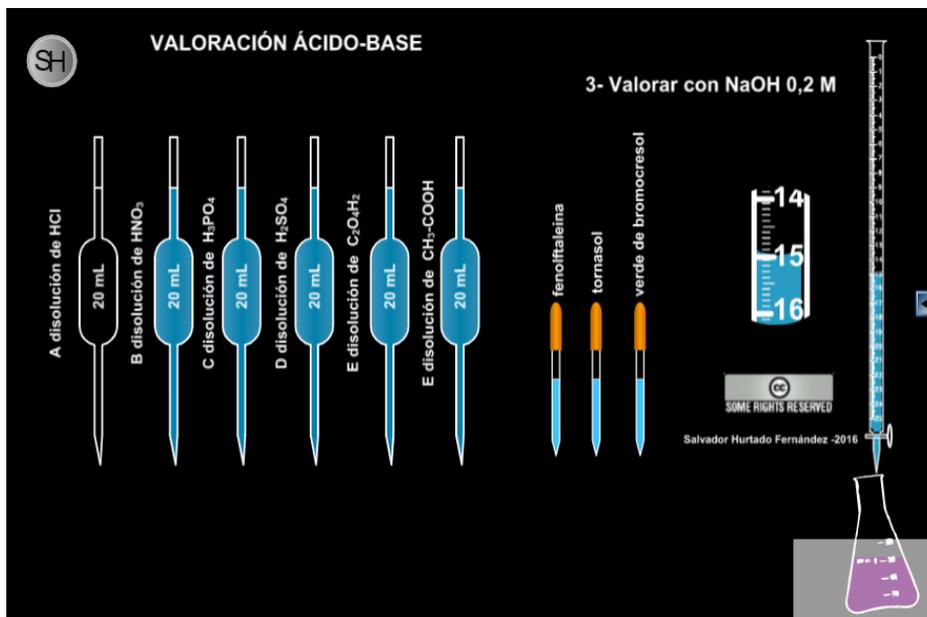


Figura 5. Pantalla única del simulador 2

Este simulador requiere que los estudiantes agiten la disolución para poder observar de forma adecuada el vire de color definitivo, lo que implica una lectura correcta del volumen en el punto final de la valoración. Los tres indicadores presentan un solo vire de color y con la programación de este simulador con cualquiera de estos tres se llega al punto final con el mismo volumen gastado.

A continuación, se presenta la descripción del trabajo realizado con los entregables. Para más detalles se puede consultar el anexo 1.

A partir de un experimento que los estudiantes generaban para seleccionar uno de los indicadores del simulador 2, en el entregable 1 ellos debían plasmar el experimento propuesto, la selección

del indicador y la justificación correspondiente. Posteriormente, en el simulador 1 debían seleccionar un indicador entre aquellos que presentaban un intervalo de vire similar. El indicador seleccionado debía ser plasmado en el entregable 1. Este entregable fue asignado el martes 31 de agosto y su fecha de entrega fue el jueves 2 de septiembre de 2021.

En el entregable 2, asignado el jueves 2 de septiembre, los estudiantes utilizaron el indicador seleccionado en el entregable 1 para realizar las 6 titulaciones que el simulador 2 permite. Debieron calcular la concentración de cada uno de seis ácidos propuestos y posteriormente, con el simulador 1, generar las curvas de titulación para clasificarlas después desde un aspecto determinado de forma individual por cada estudiante. Los estudiantes tuvieron 1 semana para resolver esta tarea; la fecha de entrega fue el 9 de septiembre.

Los entregables 3 y 4 se asignaron el mismo día (jueves 9 de septiembre) y tenían la misma fecha de entrega (martes 14 de septiembre). El propósito de estos últimos 2 entregables era que los estudiantes pudieran resolver problemas de cálculos de estequiometría en una titulación química sin ayuda de los simuladores. El primer problema era la preparación de una dilución con material que se encuentra en un laboratorio y el cálculo de su concentración en diferentes formas (mol/L y % m/V). El segundo consistía en resolver una tabla de variación de especies en función de la cantidad de base agregada, al momento de realizar una titulación, para así poder conocer la cantidad de materia de cada uno de los reactivos y de cada uno de los productos (mol) en cada alícuota en cada fracción trabajada.

c) Instrumentos de evaluación y aproximación al análisis

Conforme se avanzaba en el Proyecto, cada estudiante iba realizando actividades y registrando sus resultados, hallazgos, ideas y avances. Todo ello fue plasmado en los entregables que posteriormente fueron analizados realizando lecturas a profundidad para ajustar, junto con el marco teórico, las categorías de análisis. Esto hace ver el corte cualitativo de esta investigación.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados y su correspondiente análisis se presentan en 3 apartados: 4.1 Cuestionarios inicial y final, 4.2. Entregables de las cuatro actividades y 4.3 Cuestionario de opinión.

4.1 Cuestionarios inicial y final

43 estudiantes completaron ambos cuestionarios. El cuestionario inicial consta de 11 preguntas, y se aplicó antes de iniciar la implementación de los materiales educativos (las clases teóricas, el uso del simulador y los entregables de apoyo). Algunas de las preguntas (1, 2, 3, 4, 7, 10, 11 y 12) se relacionan específicamente con los contenidos abordados por el simulador mientras que otras se relacionan con los contenidos teóricos que se desarrollaron en las clases impartidas durante el proyecto, con el fin de tener evidencia del conocimiento adquirido esperado de los contenidos conceptuales.

En el cuestionario final los estudiantes respondieron las mismas preguntas que se realizaron en el cuestionario inicial a fin de comparar el conocimiento adquirido y se agregó una pregunta sobre patrones secundarios.

Para la primera sección (4.1.1, preguntas de opción múltiple) cada estudiante debía elegir una sola respuesta; comprende las preguntas 1, 2, 3, 4 y 8.

Para la segunda sección (4.1.2, selección de opciones) integrada por las preguntas 6, 11 y 12* (*añadida en el cuestionario final) se podían elegir todas las respuestas que se consideraran correctas, por lo que cada estudiante puede encontrarse asociado a más de una respuesta.

Por último, para la tercera sección (4.1.3, preguntas abiertas), constituida por las preguntas 5, 7, 9 y 10, los estudiantes podían responder con una o más ideas. Las respuestas fueron seleccionadas, generando agrupaciones de los mismos conceptos o ideas, por lo que cada estudiante puede encontrarse asociado a más de una respuesta; es decir que el número de estudiantes encontrado puede ser mayor a 43.

A continuación, se presentan los resultados agrupados por sección y por pregunta.

4.1.1 Preguntas de opción múltiple.

Este apartado corresponde a las preguntas 1, 2, 3, 4 y 8.

Para cada pregunta de esta sección, la respuesta correcta está señalada en este texto como inciso A, sin embargo, el cuestionario se realizó a través de una plataforma en línea que aleatorizaba el orden de las posibles respuestas para cada estudiante.

En la primera pregunta se inquirió acerca de las características de los ácidos y las bases con respecto a la propuesta de Boyle. Las opciones de respuesta fueron:

- A. Ácidos: sabor agrio, corroen el metal, cambian el litmus tornasol a rojo.
Bases: tienen sabor amargo, son resbaladizas, cambian el litmus tornasol a azul.
- B. Ácidos: sabor agrio, corroen el metal, cambian el litmus tornasol a amarillo.
Bases: tienen sabor amargo, son resbaladizas, cambian el litmus tornasol a azul.
- C. Ácidos: sabor amargo, corroen el metal, cambian el litmus tornasol a azul.
Bases: tienen sabor ácido, son resbaladizas, cambian el litmus tornasol a amarillo.
- D. Ácidos: sabor amargo, corroen el metal, cambian el litmus tornasol a rojo.
Bases: tienen sabor ácido, son resbaladizas, cambian el litmus tornasol a azul.

En la siguiente Tabla 2 se presenta una comparación del desempeño de los estudiantes en esta pregunta con respecto a los cuestionarios inicial y final.

Tabla 2. Comparación de respuestas entre la pregunta 1 del cuestionario inicial y el cuestionario final

	A correcta (%)	B (%)	C (%)	D (%)
Inicial	85.6	4.8	4.8	4.8
Final	88.6	9.1	0	2.3

Llama la atención que la respuesta correcta mantiene porcentajes similares al inicio y al finalizar la implementación de los materiales educativos. Sin embargo en el cuestionario inicial algunos estudiantes presentan ideas incorrectas como que los ácidos son amargos y las bases son ácidas (opciones C y D), porcentaje que se reduce en el cuestionario final.

En el cuestionario final, entre las opciones incorrectas hay un aumento para el inciso B y un decremento para el C, los que nos indica que han cambiado su idea del color litmus tornasol antes seleccionado (el azul) a amarillo, la cual sigue siendo una respuesta incorrecta.

Existen tres tipos de papel litmus, también conocido como papel tornasol: rojo, neutro y azul (Figura 6). En presencia de una disolución ácida el papel litmus rojo se queda de ese color, mientras que el papel litmus neutro y el papel litmus azul cambian a color rojo (Figura 7a). Por el contrario, en presencia de una disolución básica, el papel litmus rojo, así como el papel litmus neutro cambian a azul, mientras que el papel litmus azul conserva su color (Figura 7c). En presencia de disoluciones neutras ningún papel litmus cambia de color (Figura 7b).



Figura 6. Tipos de papel litmus

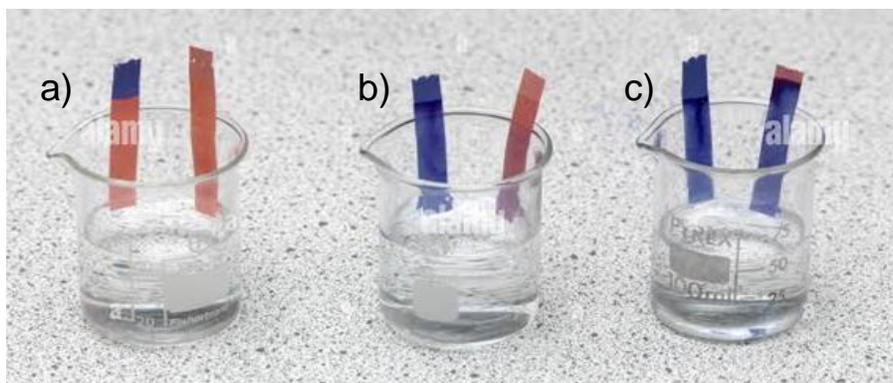


Figura 7. Cambio de color del papel litmus azul (izq.) y rojo (der.) en presencia de disoluciones ácidas (a), neutras (b) y básicas (c)

De Manuel *et al.* (1998) señalan que, con respecto al color, algunos estudiantes dicen que los ácidos, son en sí de color rosa (debido al color de la forma básica de la fenolftaleína), o que a distinto pH tienen distinto color (debido al color del indicador). Esto es interesante ya que los alumnos asocian el color a la sustancia analizada y no al indicador. De acuerdo con lo anterior, el color que presenta el litmus estaría asociado al ácido o a la base, y no a la forma ácida o básica del litmus.

Otra explicación que puede mencionarse es la ausencia de trabajo en el laboratorio por más de dos años, derivado del resguardo por la pandemia COVID; y también la poca posibilidad de tener sesiones experimentales en una gran cantidad de bachilleratos, ya sea por falta de espacio disponible, por la falta de recursos económicos para realizar las prácticas o por decisiones de cada plantel que limitan el acceso de los estudiantes a estos espacios. Por lo anterior pueden no saber qué es el litmus o no tener claridad sobre qué color del litmus se asocia con un medio ácido o un medio básico. Papel tornasol en vez de litmus es el término que podrían conocer en caso de

haber estado anteriormente en contacto con el laboratorio. El litmus es la parte activa del papel tornasol, sin embargo este tampoco es mencionado por los estudiantes.

La segunda pregunta fue “¿Cuál es el planteamiento correcto para la disociación de un ácido fuerte?”. En la Tabla 3 se presentan las opciones de respuesta y los resultados obtenidos.

Tabla 3. Comparación de respuestas entre la pregunta 2 de los cuestionarios inicial y final

Opciones de respuesta	Inicial	Final
A (%) correcta $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$	24.4	47.8
B (%) $\text{HCl} \rightarrow \text{H} + \text{Cl}$	43.2	38.6
C (%) $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$	27	9.1
D (%) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CHCOO}^- + \text{H}_2\text{O}^+$	5.4	4.5

Se puede observar un aumento de casi el doble para la respuesta correcta “ $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ ”. Aunque disminuye el número de estudiantes que seleccionó una de las respuestas incorrectas al finalizar el trabajo con los materiales educativos, poco más de la mitad del grupo todavía tenía un concepto incorrecto, ya que el 38.6% no diferencia la nomenclatura entre iones y elementos “ $\text{HCl} \rightarrow \text{H} + \text{Cl}$ ”, mientras que el 13.6% tiene un concepto incorrecto de lo que es un ácido fuerte y de lo que significa el término disociación.

Otra de las posibles razones por las que los alumnos hablan de “ $\text{HCl} \rightarrow \text{H} + \text{Cl}$ ” puede ser debido a que no tienen claro que el H_3O^+ es simplemente un ion hidrógeno o protón con una molécula de hidratación. Sánchez Mendoza (2018) nos dice que “*el conocimiento de la estructura electrónica de los átomos y la conceptualización del enlace químico covalente en las moléculas como una compartición de electrones de valencia, permite visualizar los procesos de disociación de las moléculas de los electrolitos desde el punto de vista electrónico y sugerir la existencia del ion hidronio, H_3O^+ , como consecuencia del enlace de un ion hidrógeno y una molécula de agua: $\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+$* ”. Los estudiantes que no han revisado la presencia de especies pueden pensar que es una escritura alterna de lo mismo, es decir que no hay diferencia entre H y H^+ .

La tercera pregunta “¿Cuál es la diferencia entre pH y pOH?” tenía las siguientes opciones de respuesta:

- A. El pH mide el potencial de H^+ en disolución mientras que el pOH mide el potencial de OH^-
- B. La escala de pH es creciente hacia la forma más ácida mientras que la escala de pOH es creciente hacia la forma más básica.
- C. El pH mide la basicidad de una disolución mientras que el pOH mide la acidez

En este caso en la Tabla 4 se puede ver que en el escenario inicial el 75% de los estudiantes asocia correctamente el concepto y se manifiesta un aumento en la selección de la respuesta correcta hasta un 93.2%, lo que nos dice que la mayoría de los estudiantes entendieron el significado de la escala de pH. La opción B (incorrecta) tiene una disminución de respuestas, pero la opción C mantiene porcentajes de respuesta similares con un 6.8% al final; es decir que sigue habiendo problemas en la interpretación de este concepto. Esto coincide con lo reportado por Raviolo y Lerzo (2016) ya que los alumnos pueden responder correctamente a los problemas de aplicación numérica pero no visualizan ni comprenden el concepto de pH como una escala cuyos valores permiten medir la acidez o basicidad de una disolución.

Tabla 4. Comparación de respuestas entre la pregunta 3 de los cuestionarios inicial y final

	A (%) correcta	B (%)	C (%)
Inicial	75	17.5	7.5
Final	93.2	0	6.8

La cuarta pregunta “¿Qué es el K_w ?” contaba con las opciones de respuesta presentadas en la Tabla 5. Se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 5. Comparación de respuestas entre la pregunta 4 de los cuestionarios inicial y final

Opciones de respuesta	Inicial	Final
A (%) correcta El producto iónico del agua	51.5	61.4
B (%) La suma de las concentraciones de H^+ y OH^- en una disolución acuosa	21.2	22.7
C (%) El producto de la concentración de H^+ y OH^- en una disolución no acuosa	12.1	9.1
D (%) El potencial de hidrógeno de una disolución acuosa	15.2	6.8

Esta pregunta tiene un fuerte corte teórico; fue un aspecto revisado en las clases impartidas. Se nota un pequeño cambio en las respuestas de los cuestionarios inicial y final, que se inclina hacia un incremento en la respuesta correcta (9.9% más) y a una disminución en la respuesta D (8.4%). Esto puede deberse a que en las clases teóricas impartidas no se desarrolló ampliamente este tema, solo se mencionó ya que se consideraba revisando en el bachillerato y además tema a considerar de forma más amplia durante la Unidad de Equilibrio Ácido-Base, posterior al desarrollo del Proyecto.

Para la última pregunta de opción múltiple, pregunta 8, “¿A qué pH vira la fenolftaleína?” se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación de respuestas entre la pregunta 8 de los cuestionarios inicial y final

Opciones de respuesta	Inicial	Final
A (%) correcta 8.2-10	26.3	84.2
B (%) 6.5-8.2	31.6	4.5
C (%) 7-9	39.5	6.8
D (%) 10.5-12	2.6	4.5

Esta pregunta se revisó tanto en las clases de teoría como con el uso de los dos simuladores. En la Tabla 6 se puede ver un aumento del 57.9% en el número de estudiantes que seleccionaron la respuesta correcta en el cuestionario final comparado con el cuestionario inicial en el que la respuesta más seleccionada era la C, la cual contiene al valor de pH de siete ($\text{pH}=7$) que es el que se asocia a una disolución neutra. Esta respuesta incorrecta coincide con lo que informan Jiménez-Liso y De Manuel (2002), respecto al análisis conceptual una titulación ácido-base desde sus referentes teóricos: los estudiantes piensan que el producto final de una titulación ácido-base es siempre una disolución neutra ($\text{pH} = 7$). Otra explicación podría ser que el 8.2 que es el vire inicial entra en la respuesta del inciso A ($7 < \text{pH} < 9$). Si bien está reportado en la literatura que el intervalo de vire de la fenolftaleína es de 8.2-10 muchos alumnos pueden no conocer el valor exacto, por lo que tal vez resultaría mejor si se cambiara el inciso C a una respuesta que no contenga el punto inicial del intervalo de vire o si se cambia la pregunta a “¿En qué intervalo de pH vira la fenolftaleína”.

4.1.2 Preguntas de selección de opciones

A este apartado corresponde a las preguntas 6, 11 y 12.

Puesto que para estas preguntas los estudiantes tenían la opción de seleccionar una o más respuestas, la suma de los porcentajes informados puede ser mayor al 100%. Es por lo que las figuras de esta sección están representadas con número de estudiantes.

En la Figura 8 se presenta la comparación de las respuestas a la pregunta 6, “¿Qué material se utiliza para realizar una titulación?”, del cuestionario inicial (barras color azul) contra las del cuestionario final (barras color rojo).

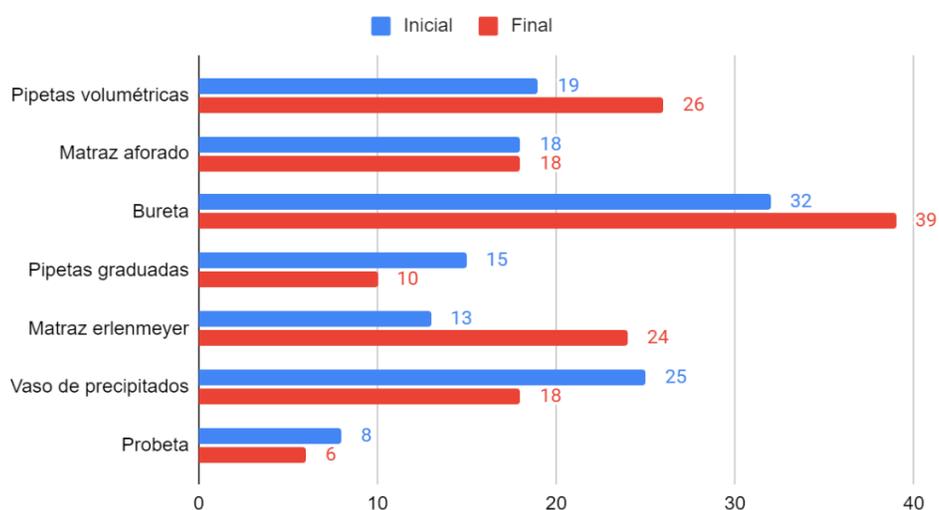


Figura 8. Comparación entre las respuestas de los cuestionario inicial y final a la pregunta 6, reportada en número de estudiantes

A este respecto, hay que mencionar que la mayoría de los estudiantes marcó más de tres opciones, sin embargo, queda la inquietud de si seleccionaron todos los materiales que ellos creen que se requieren o solo algunos. Por lo anterior, para futuras implementaciones, se sugiere replantear esta pregunta: “Señala todos los materiales a usar al realizar una titulación”.

Para el cuestionario final se puede observar una disminución no mayor al 15% (7 estudiantes) en la cantidad de estudiantes que eligió material no volumétrico, como vasos de precipitados y pipetas graduadas (que tienen una menor precisión) y un aumento en los matraces Erlenmeyer que es el material adecuado para contener al analito; también en la elección de las pipetas volumétricas, principalmente de la bureta, material volumétrico adecuado para realizar mediciones exactas de volumen. Una posible explicación es que el simulador utilizado modela la titulación química de forma adecuada con matraces Erlenmeyer, buretas y pipetas volumétricas.

Otra posible explicación es que los estudiantes llegan a comprender la relevancia de utilizar materiales más exactos y precisos para este proceso químico.

En la Figura 9 se presentan los resultados de la pregunta 11 “Selecciona los patrones primarios” y de la pregunta 12 “Selecciona los patrones secundarios”. Como se mencionó anteriormente la pregunta 12 solo se incluyó en el cuestionario final ya que no se esperaba que supieran qué es un patrón secundario en el cuestionario inicial pero si después de la experiencia educativa.

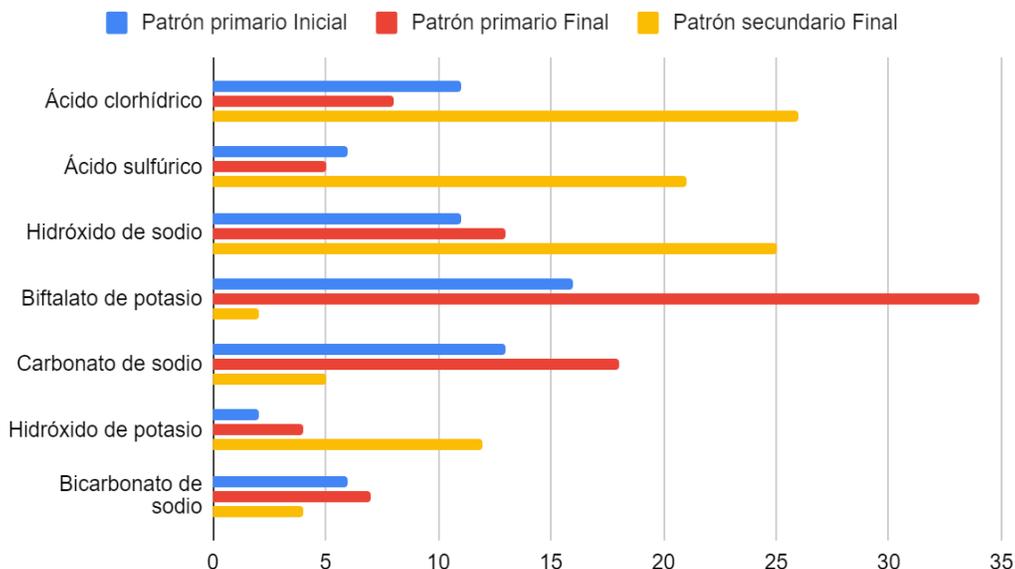


Figura 9. Comparación entre las respuestas de los cuestionario inicial y final a las preguntas 11 y 12, reportada en número de estudiantes

Solo 30 estudiantes contestaron la pregunta 11 en el cuestionario inicial, es decir, 13 estudiantes completaron el cuestionario sin responder esta pregunta. Por otra parte, la pregunta 11 sí fue respondida por 43 estudiantes en el cuestionario final, mientras que la pregunta 12 fue respondida por 42 estudiantes.

Es posible que en el cuestionario previo los estudiantes pudieran haber seleccionado respuestas aleatorias si no conocían la definición de patrón primario. Sin embargo, por una parte, se aprecian tendencias diferentes para cada una de las sustancias, y, por otra parte, se observa que los alumnos que seleccionaron la sustancia como patrón primario son muy pocos en relación con los que toman una elección en el final, lo que indica que la mayoría de los estudiantes no seleccionó aleatoriamente.

Adicionalmente, en el cuestionario final, después de las clases impartidas se nota un aumento en las opciones correctas de cada una de las preguntas.

Para la pregunta 11 se observa un aumento en la frecuencia de la respuesta “biftalato de potasio” (una de las dos respuestas correctas), al comparar los cuestionarios inicial y final (en la Figura 9, barras de color rojo para el cuestionario final y de color azul para el cuestionario inicial). El segundo reactivo con una frecuencia de respuestas alta es el carbonato de sodio, la segunda respuesta correcta. Llama la atención que el hidróxido de sodio, respuesta incorrecta, es el tercer valor con alta frecuencia. Esta concepción errónea puede deberse a que en los protocolos de las prácticas 2 y 3 del curso oficial se solicita que se deben titular distintos ácidos con hidróxido de sodio previamente normalizado con biftalato de potasio (Práctica 1) y que por ello lo hayan confundido con un patrón primario. Es necesario recordar que todo el semestre se trabajó en forma virtual.

En el cuestionario inicial no se preguntó sobre patrones secundarios (barras color amarillo de la Figura 9) pero se observa que, en comparación con las respuestas dadas a la pregunta sobre los patrones primarios, un mayor número de estudiantes seleccionó los ácidos clorhídrico y sulfúrico, y los hidróxidos de sodio y de potasio, los cuales son las respuestas correctas para un patrón secundario.

4.1.3 Preguntas abiertas

A este apartado corresponden las preguntas 5, 7, 9 y 10. Es importante recordar, para el análisis de sección, que los alumnos debían responder la pregunta en forma de prosa, por lo que cada alumno pudo haber mencionado uno o más conceptos en su respuesta, los cuales fueron agrupados y categorizados para presentar los resultados. Debido a esto, la suma de porcentajes en esta sección puede ser mayor a 100%.

Para la pregunta número cinco: “¿Qué procedimiento se realiza en esta materia [Química General II] para conocer la concentración exacta de un analito?”. Las respuestas en este apartado fueron palabras o términos concretos.

En el cuestionario inicial el 55.8% respondió correctamente, mencionando titulación y/o valoración; el 27.9% no respondió la pregunta; una de las razones podría ser que el estudiante no supiera la respuesta puesto que no se dio un límite de tiempo y sí respondieron las preguntas siguientes. El 9.3% mencionó “espectrofotometría”, que si bien es un procedimiento utilizado para determinar la concentración de analitos, no se utiliza en el curso de QGII, pudiera ser entonces un conocimiento previo de los estudiantes. El 7% restante dio una respuesta incorrecta, por

ejemplo, separar los compuestos (separación de mezclas, cristalización) para después identificarlos por separado.

Mientras que en el cuestionario final el 86.4% dio una respuesta mencionando titulación y/o valoración, el 2.3% respondió “curva de calibración”, el 2.3% mencionó espectrofotometría, el 2.3% “diluciones” y el 6.7% restante no respondió la pregunta.

Se observa que en el cuestionario inicial algunos estudiantes hablan de separación de mezclas, lo cual puede asociarse a que este tema se estudia en cursos anteriores, y que la mayoría de los estudiantes tienen la respuesta correcta desde el cuestionario inicial (55.8%) y se tiene un claro aumento del 30.6% para el final en el que se también se observa una disminución entre las personas que no respondieron la pregunta (21.1%) y un 2.3% de estudiantes que hablaron de espectrofotometría que aunque es una técnica correcta, no es un tema de este curso, esa respuesta puede estar asociada a la enseñanza de algún otro profesor en cursos anteriores.

En la Figura 10 se presentan, para la pregunta 7 , “¿Qué dice la ley o principio de Lavoisier?” los resultados de los cuestionarios inicial y final.

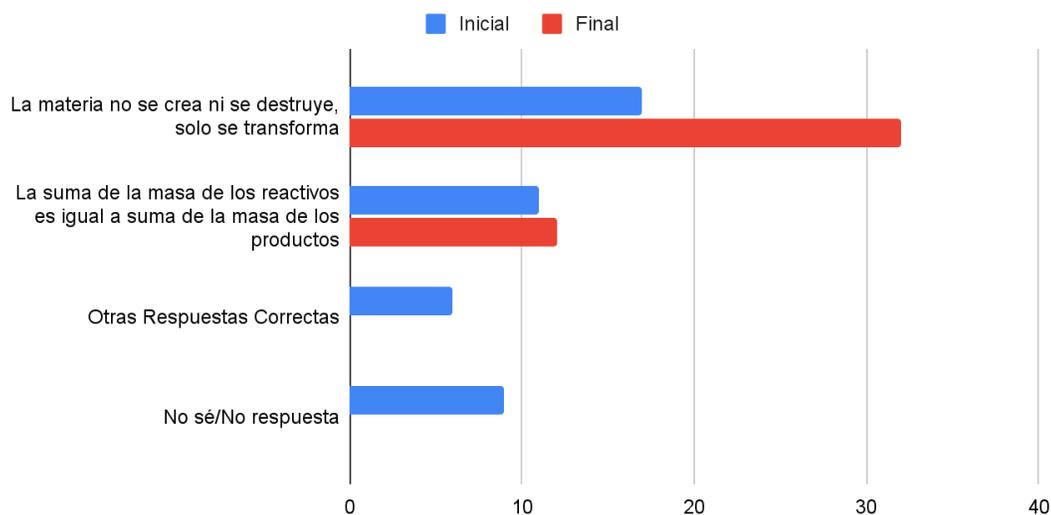


Figura 10. Agrupaciones de las respuestas a la pregunta 7 “¿Qué dice la ley o principio de Lavoisier” del cuestionario inicial (azul) y cuestionario final (rojo), reportada en número de estudiantes

Lavoisier postuló la Ley de la Conservación de la Masa, mencionando que “en un sistema aislado, durante toda reacción química ordinaria, la masa total en el sistema permanece constante, es decir, la masa consumida de los reactivos es igual a la masa de los productos obtenidos”⁴

⁴ Desde “The Conservation of Mass” Sterner *et al.* 2011

En el cuestionario inicial se tiene un 39.5% de estudiantes que respondieron “la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma” que es una respuesta parcialmente correcta ya que a lo largo de los años el enunciado que postuló Lavoisier se ha ido modificando hasta llegar al enunciado actual “la masa/materia no se crea ni se destruye, solo se transforma”. Dicho enunciado es el que los estudiantes normalmente aprenden en su educación básica y media superior, por lo que se puede señalar que es una respuesta que se saben de memoria pero que no necesariamente entienden. En el cuestionario final esta respuesta aumenta a un 72.7%.

Otra respuesta correcta pero que no explicita que se trata de una reacción química, es “la suma de la masa de los reactivos es igual a la suma de la masa de los productos”, que en el cuestionario inicial presenta un 25.6%, mientras que en el cuestionario final aumenta ligeramente a 27.3%. La tercera opción es “otras respuestas correctas” (20.1%) que son aquellas que, aunque no lo expresan de forma textual son congruentes con lo que dice el principio, esta agrupación no se encuentra presente en el cuestionario final. Finalmente, un 21% de estudiantes no respondieron la pregunta en el cuestionario inicial mientras que en el cuestionario final todos respondieron la pregunta.

Lo anterior nos muestra el impacto de llevar a cabo una revisión explícita del principio de Lavoisier con los estudiantes para que lo conozcan e identifiquen más fácilmente. Podríamos aventurarnos a decir que en un inicio los estudiantes no identifican este principio por su nombre o bien no identifican que sea una aportación de Lavoisier.

Para la pregunta 9 “¿Qué es el *“reactivo limitante?”*”, en el cuestionario inicial se generaron 6 categorías (barras azules de la Figura 11) dentro de las cuales se clasificaron todas las respuestas proporcionadas por los estudiantes. La última categoría “No sé/Sin respuesta” agrupa a estudiantes que mencionaron explícitamente que no conocían el concepto o bien no respondieron la pregunta.

En el cuestionario final se generaron 10 categorías (4 de las anteriores y 6 más) debido a que los estudiantes dieron respuestas más complejas que en el cuestionario inicial.

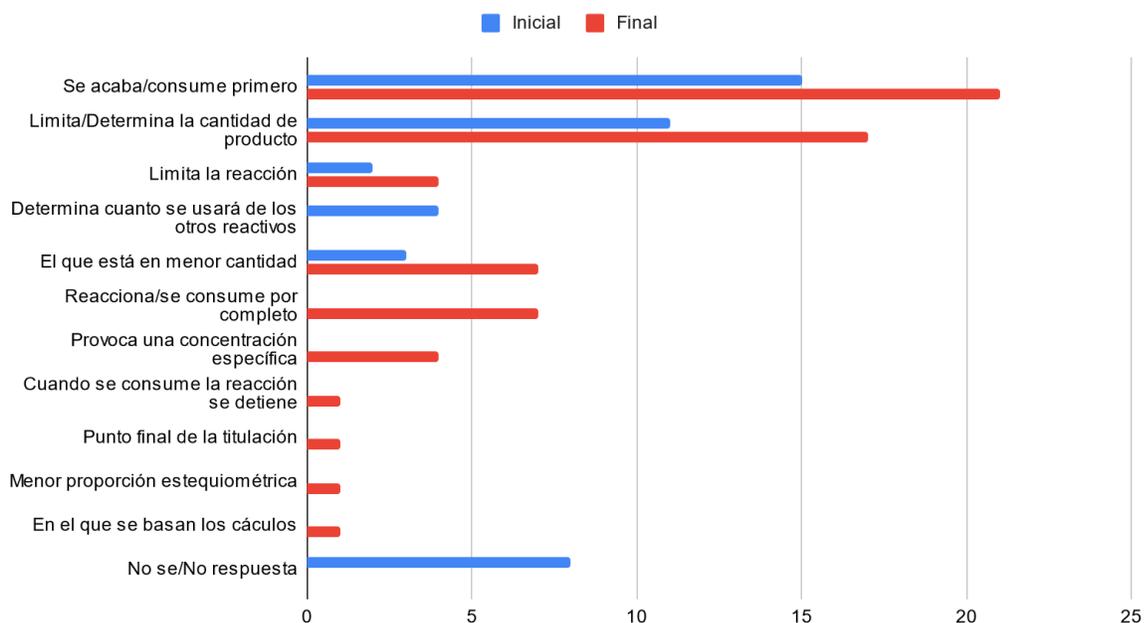


Figura 11. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 9 “¿Qué es el reactivo limitante?” del cuestionario inicial (azul) y final (rojo), reportada en número de estudiantes

En el cuestionario final se observan respuestas más precisas y con un mejor lenguaje. En este segundo cuestionario todos los estudiantes respondieron la pregunta y se aprecia una mejora ya que se aporta una variedad más amplia de respuestas (se tiene un promedio de 2 ideas por alumno) y en general con una mayor profundidad, por ejemplo: “es la sustancia que se encuentra en menor cantidad en la reacción y siempre va a reaccionar toda, es la que nos va indicar cuánto se puede producir en los reactivos ya que cuando se acabe este reactivo limitante se terminara la reacción y ya no se producirá más” (estudiante CFG52A14). En comparación con las ideas del cuestionario inicial que eran más cortas y con expresiones similares a una definición pero sin explicarla, por ejemplo “el reactivo que se consume primero en una reacción” (estudiante CIG28E22)

En la pregunta 10 “¿Qué es un patrón primario?” Tanto para el cuestionario inicial (Figura 12) como para el cuestionario final (Figura 13) se generaron 11 categorías, una de ellas solo aparece en el cuestionario inicial llamada “Otra respuesta incorrecta” refiriéndose a respuestas que no eran claras para generar una categoría y que son incorrectas.

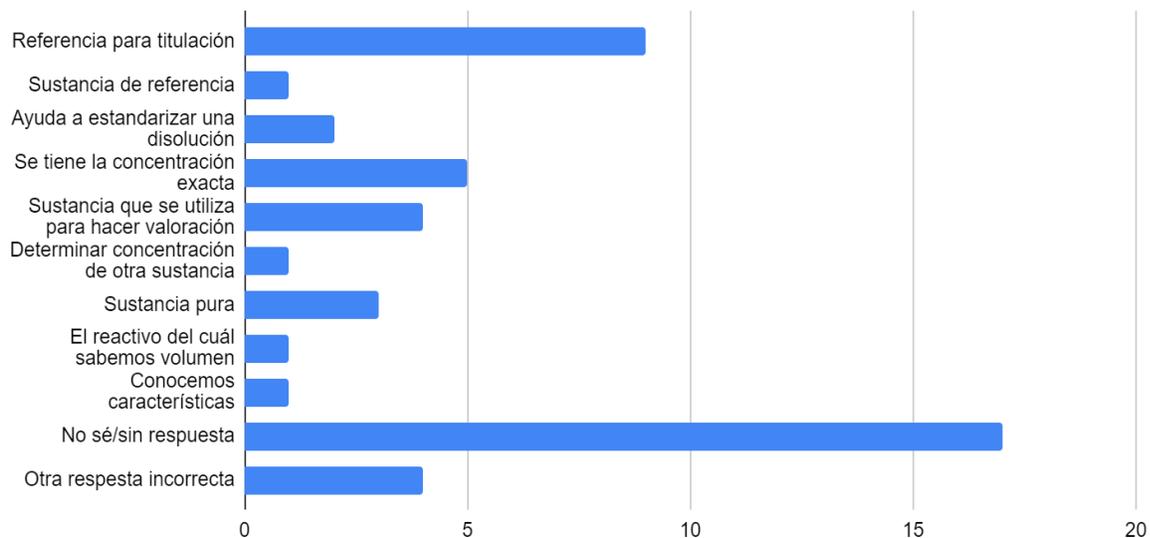


Figura 12. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 10 “¿Qué es un patrón primario?” del cuestionario inicial, reportada en número de estudiantes

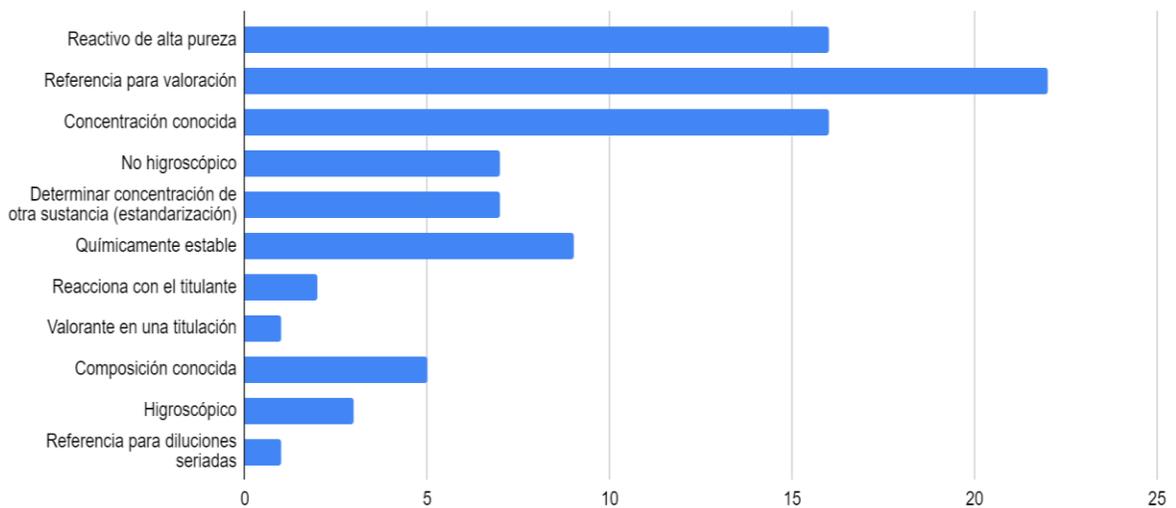


Figura 13. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta 10 “¿Qué es un patrón primario?” del cuestionario final, reportada en número de estudiantes

Se puede observar que a comparación del cuestionario inicial en el cuestionario final los estudiantes son capaces de identificar en mayor proporción las características de los patrones primarios, las ideas son más específicas y puntuales.

4.2 Resultados de las actividades incluidas en los entregables

Las actividades incluidas en cada entregable se plantearon con el objetivo principal de que el estudiante pudiera relacionar y seguir construyendo el conocimiento teórico relacionado con todos los aspectos de la enseñanza experimental considerados en este Proyecto. Igualmente se consideró la importancia de la interacción con el simulador a fin de tener un mayor acercamiento

a las actividades que se realizan en el laboratorio. Sweeder *et al.* (2019) nos dicen que “los estudiantes obtienen mejores resultados de aprendizaje al interactuar directamente con las simulaciones, en vez de solo verla manipulada por alguien más”. En este sentido la primera actividad que se pidió a los estudiantes fue explorar el uso de dos simuladores, para lo cual se les proporcionó tanto el software del Simulador 1 (Patsay, 2007) como el link correspondiente al simulador 2 (Hurtado, 2016), y se les dio una semana a fin de que pudieran “jugar” con ellos para posteriormente iniciar el trabajo con los entregables que debían completar y entregar como tarea. “La ‘Fabricación de hechos (fact-making)’ por los estudiantes puede ser estimulada por simulaciones donde los estudiantes aprenden por la experiencia en lugar de ser enseñados” (Garratt, 1997).

4.2.1 Entregable 1. Elección de un indicador mediante el diseño de un experimento utilizando el simulador 2.

Se pidió a los estudiantes diseñar un experimento cuyo objetivo fuera la elección de un indicador que les sirviera para identificar un cambio de color en la reacción que se les presentaba, sin adentrarnos tanto al tema de indicadores, para lo cual debían hacer uso del Simulador 2. En la Tabla 7 se puede observar que el 84.2% eligió la fenolftaleína y para justificar su respuesta la mayoría de los estudiantes mencionó haberlo elegido puesto que conocían los colores del vire ya que lo habían utilizado con anterioridad. Un ejemplo de respuesta es: [elegí] “Fenolftaleína, [porque] es fácil de trabajar, estoy familiarizada con este indicador y después de gastar 15 mL de NaOH se puede observar un cambio a color ligero morado, por lo que no es necesario utilizar otro indicador” estudiante E1G28A12.

Tabla 7. Elección de indicador

Indicador	Fenolftaleína	Verde de bromocresol	Tornasol
% de estudiantes	84.2	7.9	7.9

En la Figura 14 se pueden ver cuáles fueron las variables que los estudiantes consideraron al diseñar su experimento. Se puede ver que el 79.5% solo tituló un ácido con un indicador y al darse cuenta de que este indicador les servía ya no estudiaron ninguna otra variable.

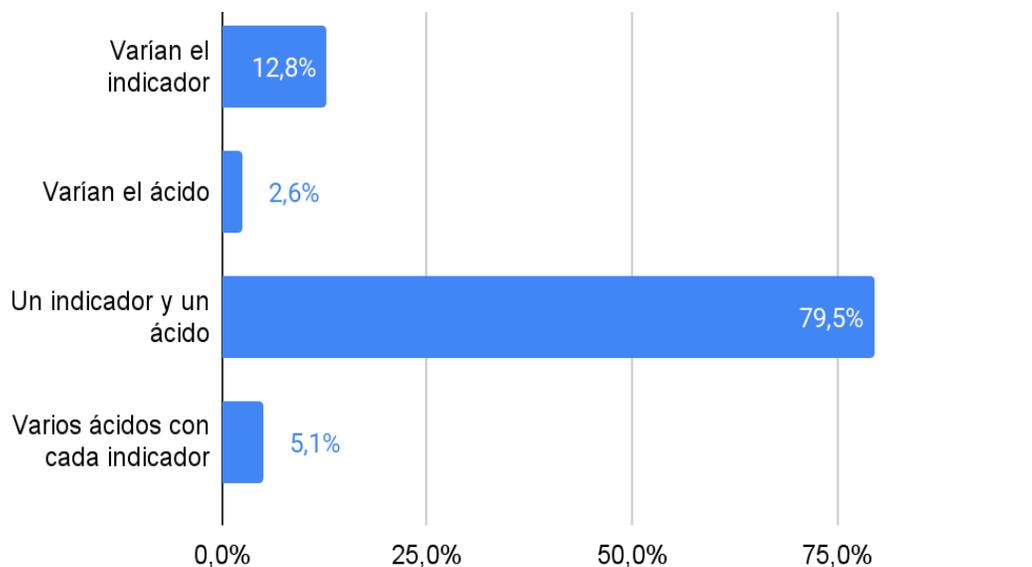


Figura 14. Variables consideradas en los experimentos diseñados para el entregable 1.

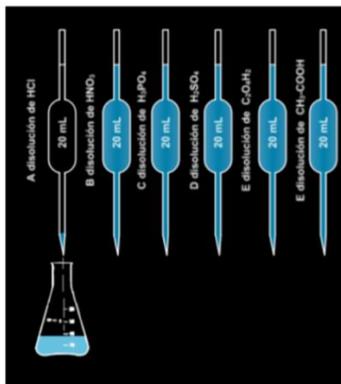
Un 20.5% de estudiantes eligieron una estrategia diferente para la elección del indicador: eligieron, como variable, un mismo ácido o un mismo indicador y realizaron más de una titulación. Se encontró el caso de titular todos los ácidos con un mismo indicador o bien el de titular con el mismo indicador todos los ácidos. Esto nos permite observar cómo el uso de simuladores permite explorar una gran cantidad de experimentos, lo cual puede ser muy útil como trabajo previo a la actividad experimental en un curso presencial.

En concordancia con lo señalan Sweeder *et al.* (2019) esta tarea está diseñada tanto como actividad introductoria al trabajo experimental en la asignatura laboratorio de Química general como al trabajo haciendo uso de simuladores. Esto con el objetivo de apoyar a los estudiantes en la comprensión conceptual de los temas con los que van a estar trabajando más adelante y también de apoyar al profesor para que todos los alumnos alcancen el mismo nivel de conocimiento inicial. Cuando intentan resolver un problema sin ninguna guía inicial, los estudiantes encuentran dificultades específicas, por lo que al revisar los contenidos en forma posterior durante la clase, se favorece un incremento de atención y comprensión del conocimiento asociado a dicho problema.

En resumen, frente al 79.5% de alumnos que únicamente eligen solo un indicador y un ácido, un 20.5% elige uno de los datos como variable con la consiguiente realización de varios experimentos para llegar a la respuesta planteada en su experimento.

En las Figuras 15 y 16 se observan ejemplos de diseño del experimento planteado por dos estudiantes.

Para este experimento se hará una valoración ácido-base, con el propósito de determinar la concentración de una alícuota de 20 mL de HCl, con la ayuda de una solución estandarizada de NaOH con concentración de 0.2 mol/L.



Para ello colocamos la alícuota de HCl en un matraz Erlenmeyer, cuyo volumen de 20 mL fue previamente medido con ayuda de una pipeta volumétrica.

Después de eso, para poder escoger un indicador pH, podemos elaborar disoluciones testigos de pH.

Para esto, podemos usar tres frascos de vidrio transparente, y en cada uno de ellos verter una disolución básica, neutra y ácida. Para ello, utilizamos las disoluciones del experimento (NaOH como base y HCl), además del agua que sabemos perfectamente tiene un pH neutro de +7.

Entonces, después de poner cada disolución mencionada por frasco, procedemos a añadir 5 gotas de indicador aproximadamente. En este caso, el indicador que se eligió fue fenolftaleína.

Después de hacer cada solución testigo, se procedió a agregar gotas de indicador al HCl. Después, lo colocamos debajo de una bureta sujeta a un soporte universal, que contiene al NaOH mismo que nos ayudará a valorizar al HCl. Poco a poco dejamos caer gotas de NaOH al analito, y a su vez se fue agitando cuidadosamente para verificar si el punto de equivalencia se había alcanzado. Se detuvo este proceso hasta que el HCl cambió de color según nuestras disoluciones testigos de pH.

Se repitió el proceso anterior para cada uno de los indicadores (tornasol y verde de bromocresol).

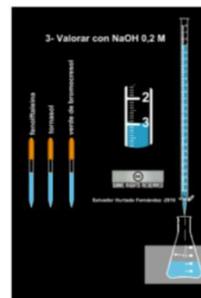


Figura 15. Diseño del experimento para elección de indicador. Código de estudiante: E1G52A05

- Con una pipeta aforada de 20 mL, tomar una alícuota de 20 mL de disolución de HCl y vaciar en el matraz Erlenmeyer.
- Con un gotero, agregar una gota del indicador elegido (fenolftaleína).
- Comenzar a valorar con la disolución de NaOH concentrado a 0.2 mol/L.
- Detener la valoración cuando logré apreciarse un ligero cambio de color a morado en la disolución.

Figura 16. Diseño del experimento para elección de indicador. Código de estudiante: E1G28A12

4.2.2 Entregable 2. Cálculo de concentraciones y clasificación de curvas de titulación. Elección de un ácido de concentración 0.1 mol/L utilizando los simuladores.

En la primera parte de las Figuras 20 y 21 podemos observar la clasificación de las curvas de titulación realizada por los estudiantes de cada grupo. Muchos de ellos eligieron más de una forma de clasificación. En las figuras cada línea negra corresponde a un solo estudiante que únicamente clasificó de una forma, mientras que las líneas del mismo color corresponden a un mismo estudiante que clasificó de diferentes formas. Por ejemplo, las líneas azules del grupo 28

señalan: la forma de la curva, los mL gastados, la fuerza del ácido, el del indicador la desprotonación. Esto indica que el estudiante utilizó todos estos factores para clasificar.

Esta actividad tenía por objetivo que los estudiantes pudieran encontrar similitudes y diferencias entre las curvas de titulación de ácidos fuertes y débiles así como de ácidos monopróticos y polipróticos.

En la primera parte de las Figuras 20 y 21 se observa, para ambos grupos, que la clasificación más utilizada fue “por la forma de las curvas”, más utilizada fue “por la forma de las curvas”, las que solo tenían dos puntos de inflexión (ácidos monopróticos) y las que tenían más de dos puntos de inflexión (ácidos polipróticos). En el grupo 52 (Figura 21) también podemos observar una alta frecuencia en las clasificaciones “por mL gastados” (las que usaban un volumen similar de titulante para alcanzar el punto final), y “cambio de pH” (que tan grande era la variación de pH en la zona vertical de las curvas de titulación); esta última respuesta estaba asociada a casos de ácidos fuertes en los que se observa una vertical de mayor tamaño comparada con las curvas de titulación de ácidos débiles.

Grupo 28. Presentaron 22-1		
CURVAS	1. pH inicial.	II (2)
	2. Forma de la curva.	IIII IIII III (13)
	3. mL gastados.*	IIII (5)
	4. fuerza de ácido.	II (2)
	5. punto de equivalencia.	III (3)
	6. Vire*.	II (2)
	7. desprotonación	II (2)
Personas que si dicen que ácido sirve II (2)		
ERRORES	Cálculo conc.	II (2)
	Cálculos sin estequiometría	II (2)
	No justifican agrupación	II (2)
	Faltó agitar	I (1)
	Relaciones molares	IIII (5)
	Curvas al revés*	III (3)

1 corregido

Figura 17. Diferenciación de curvas y principales errores del grupo 28.

Grupo 52. Presentaron 18		
CURVAS	1. mL Gastados	IIII IIII (10)
	2. vire?	I (1)
	3. Cambio de pH	IIII III (8)
	4. Forma de la curva	IIII IIII (10)
	5. Inicio de curva	I (1)
	6. Concentración	II (2)
	7. Relación molar	I (1)
Si dicen que ácido les serviría IIII (4)		
ERRORES	a) H_2SO_4 1:1	IIII (4)
	b) Cálculos sin esteq.	III (3)
	c) Faltó agitar*	I (1)
	d) H_3PO_4 ≠ 1:3	II (2) <small>chequear.</small>
	e) Cálculo conc.	I (1)
	f) Asume ácido es 0.1M	I (1)
	g) Concepto relación molar	I (1)

Figura 18. Diferenciación de curvas y principales errores del grupo 52.

Estas curvas de titulación se parecen ya que la mayoría de ellos son ácidos fuertes (Excepto del $C_2H_2O_4$ que es un ácido fuerte en su primera etapa de disociación), también que podemos usar la fenolftaleína, ya que el pH de un ácido fuerte y una base fuerte es de 7 ($pH = 7$) y el pH vire de la fenolftaleína es de 8 – 10. En las graficas podemos ver que en el volumen añadido de NaOH (el volumen del titulante) se ubica el punto de cambio de color de la fenolftaleína.

Estas dos curvas nos indican que son ácidos débiles, el primero porque tiene la forma de las curvas de titulación de un ácido débil, que nos indica que el pH va ser mayor de 7, entonces con esto podemos usar el indicador fenolftaleína, ya que el pH vire de la fenolftaleína es de 8 – 10. En la gráfica del ácido fosfórico se parece a la de un ácido débil pero con varias variaciones ya que este se debe ya que es un ácido triprótico y esto significa que puede disociarse en agua hasta tres veces, liberando cada vez un protón al agua.

Estas curvas de titulación se parecen ya que la mayoría de ellos son ácidos fuertes (Excepto del $C_2H_2O_4$ que es un ácido fuerte en su primera etapa de disociación), también que podemos usar la fenolftaleína, ya que el pH de un ácido fuerte y una base fuerte es de 7 ($pH = 7$) y el pH vire de la fenolftaleína es de 8 – 10. En las graficas podemos ver que en el volumen añadido de NaOH (el volumen del titulante) se ubica el punto de cambio de color de la fenolftaleína.

Figura 19. Clasificación de curvas de titulación. Código de estudiante: E2G28A21

En la Figura 19 observan las distintas agrupaciones generadas por un estudiante para poder clasificar las curvas de titulación.

En la segunda parte de las Figuras 17 y 18 se presentan los errores más comunes cometidos por los estudiantes. Cabe resaltar que el experimento tenía por objetivo seleccionar un ácido y solo 6 de 39 estudiantes explicitan su elección al concluir su experimentación en el simulador; sin embargo realizan los cálculos y la clasificación de las curvas de titulación. Quizá son demasiadas actividades por realizar y olvidaron o no consideraron importante concluir.

Los errores más comunes de los estudiantes se pueden agrupar de la siguiente forma:

a) Errores de cálculo (Concentraciones y estequiometría)

Con respecto a los principales errores en el cálculo de concentraciones y la forma en que agruparon los diferentes gráficos en las Figuras 17 y 18 se puede ver que varios de los estudiantes no identifican las relaciones estequiométricas cuando un ácido no es monoprótico (Figuras 20 y 21).

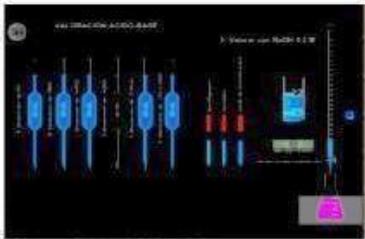
	Ácido	Foto	Relación molar ácido:base	mL gastados	Concentración del ácido (mol/L)
4	H_2SO_4		1a1	22	(0.2 M)(12mL NaOH)/20 mL $H_2Cl = 0.2M$

Figura 20. Error de identificación de ácidos polipróticos. Parte1. Código de estudiante E1G28A08.

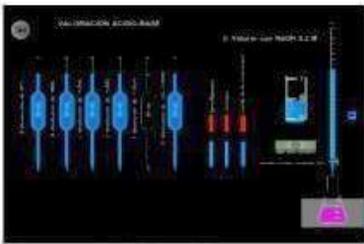
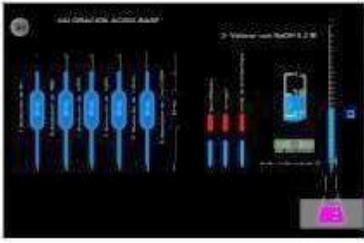
5	$C_2H_2O_4$		1 a 1	8	(0.2 M)(8 mL NaOH)/20 mL $C_2H_2O_4 = 0.081M$
6	CH_3COOH		1 a 1	16	(0.2 M)(16 mL NaOH)/20 mL $CH_3COOH = 0.16M$

Figura 21. Error de identificación de ácidos polipróticos. Parte 2. Código de estudiante E1G28A08.

b) Errores experimentales-simulador (Falta de agitación, identificación incorrecta de datos).

El trabajo con los estudiantes permite documentar algunos errores cometidos al manipular el simulador para titular el analito, por ejemplo:

- No utilizar la opción del simulador para agitar mientras se realiza la titulación, lo que hace que la concentración calculada sea más baja que la esperada. Cabe mencionar que también es común encontrar este error cuando se trabaja en forma presencial.
- Confundir los datos en el simulador: escribir la concentración del titulante en lugar de la concentración del analito y viceversa, por lo que las curvas de titulación mostraban la adición del analito en lugar del titulante (Figuras 22 y 23).

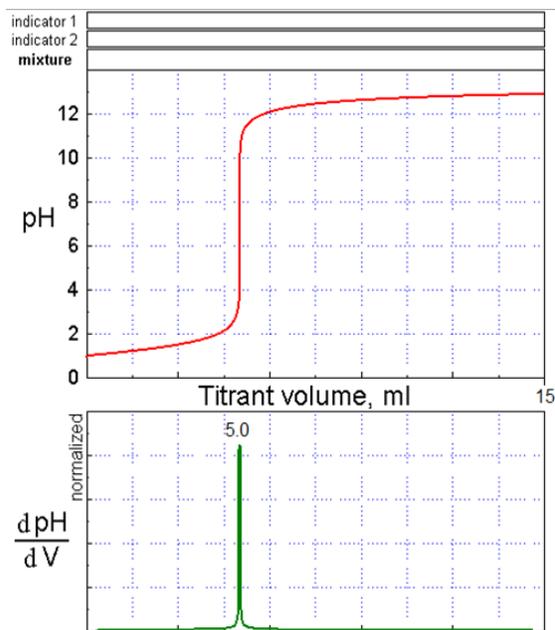


Figura 22. Curva de titulación correcta para la resolución del entregable 2. Código de estudiante E2G52A12.

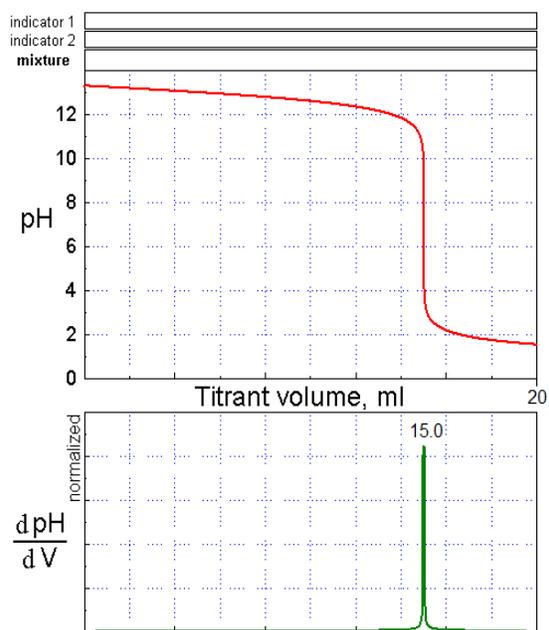


Figura 23. Curva de titulación incorrecta para la resolución del entregable 2. Código de estudiante E2G28A18.

En la Figura 22 se observa en el eje “y” que la gráfica corresponde a un ácido de $\text{pH} = 1$, que se estaba titulando, mientras que en la Figura 23 se observa que el pH inicial es mayor a 12 el cuál disminuye, lo que corresponde a la titulación de una base fuerte con un ácido fuerte. Se puede asumir que al manejar el simulador el estudiante E2G28A18 puso los datos del titulante en la sección que corresponde al analito y viceversa.

4.2.3 Entregable 3. Preparación de diluciones y cálculo de concentraciones.

En este entregable se les pidió a los estudiantes preparar una dilución (1:25) seleccionando, entre los propuestos, el material volumétrico adecuado. Como ya se mencionó anteriormente, este conocimiento no implicaba el uso de ningún simulador, pero si se trabajó con lujo de detalle durante la clase correspondiente.

- Pipeta volumétrica de 1 mL, 4 mL, 10 mL, 15 mL, 20 mL y 25 mL
- Matraz aforado de 50 mL, 100 mL, 250 mL, 500 mL y 1000 mL

Para este ejercicio la única respuesta equivocada es “ninguna de las anteriores” que tiene un 33.3 % de respuestas. Tomando en cuenta que la notación corresponde a <volumen de la pipeta volumétrica : volumen del matraz aforado>, 4:100, 10:250 y 20:500 son opciones correctas, pero la mejor respuesta correcta es “todas las anteriores” ya que “significa” un mayor grado de análisis por parte de los alumnos.

Como se puede observar en la Tabla 8, la mayoría eligió usar una pipeta volumétrica de 4 mL y un matraz aforado de 100 mL; la columna llamada “Las tres anteriores” se refiere a que el estudiante respondió que podía preparar una dilución 4:100, 10:250 o 20:500 ya que todas ellas eran equivalentes a la dilución 1:25 solicitada. En resumen, un 66.7% eligió una opción correcta.

Tabla 8. Volumen de los materiales (pipeta volumétrica : matraz aforado) seleccionados para preparar una dilución 1:25

Dilución	4:100	10:250	20:500	Las tres anteriores	Ninguna de las anteriores
% de estudiantes	33.3	9.1	6.1	18.2	33.3

En cuanto al 33.3% de respuestas incorrectas, “ninguna de las anteriores”, se procedió al análisis de las explicaciones dadas a esta respuesta y se identificaron los errores asociados a la preparación de una dilución que se presentan en la Figura 24.

Se debe tener en cuenta que el 100% de la Figura 24 corresponde al 33.3% de la tabla 8 que no presentó una respuesta correcta

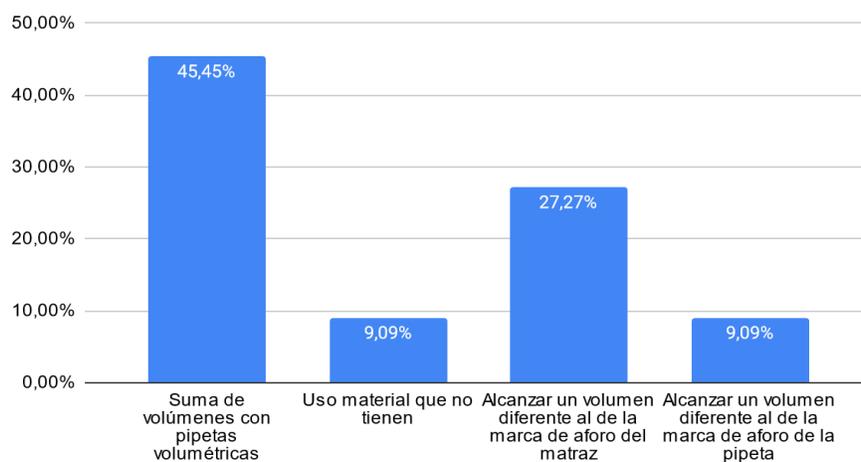


Figura 24. Errores al preparar una dilución

Una vez que se resolvían los cálculos para llevar a cabo la dilución, se solicitaron los cálculos correspondientes a la concentración inicial del ácido (antes de hacer la dilución) expresada como mol/L y cómo % m/v y la concentración final del ácido (después de hacer la dilución) expresada como mol/L. En la Figura 25 se observan los errores que se encontraron al calcular las concentraciones de las disoluciones, tanto de la concentrada, como de la diluida, así como la conversión entre concentraciones mol/L a % m/V dada por el fabricante . Un 42% cometió algún error y el 58% restante realizó bien todos los cálculos.

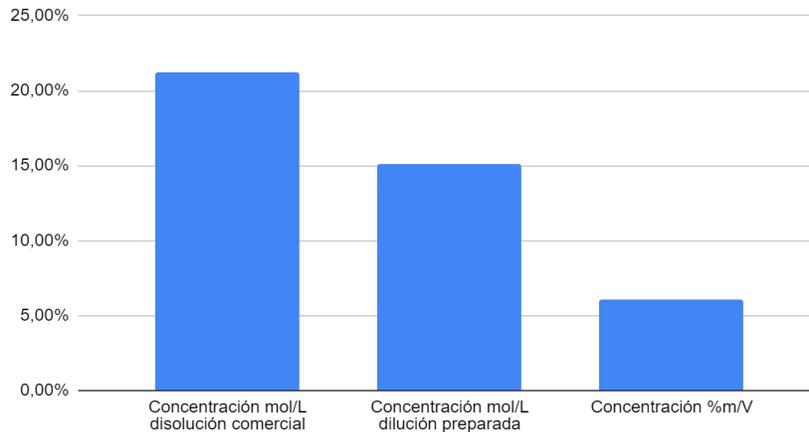


Figura 25. Errores al calcular concentraciones

La Figura 26 muestra un ejemplo en el que el estudiante identifica no solo una de las formas de preparar la dilución, sino las tres diferentes formas posibles de preparar la misma dilución con el material de laboratorio indicado.

Una dilución 1:25 de ácido muriático nos dice que habrá 1 parte de ácido por cada 25 partes del volumen final de nuestra dilución. Se pueden preparar varios volúmenes de la dilución, para esto tomaríamos una pipeta de las siguientes: 4, 10 o 20 ml y la llenaríamos de ácido, posteriormente tomaríamos alguno de los siguientes matraces aforados: el de 100, 250 o 500 ml y lo llenaríamos aproximadamente a la mitad con agua. Luego agregaríamos nuestra pipeta de ácido respectivamente, la de 4ml con el matraz de 100ml, la de 10ml con el matraz de 250ml y la de 20ml con el matraz de 500ml, una vez agregado el ácido, el matraz se llena con agua hasta la marca de aforo y tendremos nuestra dilución 1:25

Figura 26. Ejemplo de respuesta correcta para la primera pregunta del entregable 3. Código de estudiante E3G28A11.

También se observa que una gran cantidad de estudiantes cometen errores relacionados con el material que deben utilizar al realizar una titulación, por ejemplo, usar los matraces aforados para medir un volumen distinto al del matraz o utilizar una pipeta volumétrica como una graduada, en la Figura 27 se observa un ejemplo en el que el estudiante cometió un error sobre el uso de un matraz aforado. Esto nos indica que los estudiantes pueden conocer y comprender más sobre

los temas o tópicos gracias a los simuladores, pero estos no sustituyen una enseñanza en el laboratorio.

También presentan errores como preparar la dilución dentro del matraz aforado, la disolución debe prepararse en un material no volumétrico y transferirse al volumétrico ya que el calor liberado al realizar la dilución puede descalibrar el material.

A este respecto, concordamos con la afirmación de Torres Nieves de no reemplazar los laboratorios físicos, ya que los simuladores son “una abstracción que carece de infinidad de elementos que solo son posibles en la vida real”.

Sin embargo, nosotros encontramos un gran avance en el aprendizaje de los estudiantes, ya que los simuladores nos permitieron identificar los errores del laboratorio en cada estudiante para trabajar en ellos directamente una vez que están realizando el trabajo experimental.

Para preparar esta dilución se tuvo que tener un volumen inicial concentrado de ácido muriático, considero que se tomó un volumen inicial de este, de acuerdo a cálculos previos, con la pipeta volumétrica, por ejemplo de 1 mL, y en un matraz aforado de 50 mL se agrega el ácido muriático contenida en la pipeta volumétrica 1 mL y con mucho cuidado se agrega el diluyente en caso de que sea agua se agrega en las paredes del matraz aforado y se lleva al aforo de 25 mL de esta forma queda una dilución una 1:25, con una parte del ácido concentrado por 25 de agua o disolvente.

Figura 27. Ejemplo de error de uso de matraces aforados. Código de estudiante E3G52A06.

4.2.4 Entregable 4. Tabla de variación de cantidad de sustancia

En el entregable 4 se les dio a los estudiantes una tabla de variación de cantidad de sustancia de las especies presentes durante la reacción de valoración del HCl con NaOH en presencia de fenolftaleína como indicador. Ellos debían llenar los datos para así estar en posibilidad de identificar los puntos que muestran el avance de la titulación, particularmente la cantidad de sustancia en los puntos inicial, de equivalencia y el punto final de la valoración.

Esta sección tenía como objetivo que el estudiante comprendiera la utilidad y uso de las tablas de variación de la cantidad de sustancia de las especies presentes a lo largo de la titulación y su relación con las curvas de valoración. Para una mejor comprensión del trabajo a realizar, se les pidió que construyeran una primera tabla para cada fracción de reactivo titulante agregada, a fin de que consolidaran su conocimiento en estequiometría, Figura 28, para posteriormente construir la tabla correspondiente a la titulación completa (Figura 33).

Ecuación molecular	HCl (ac)	+	NaOH (ac)	→	H₂O (l)	+	NaCl (ac)	Color del indicador (fenolftaleína)
Ecuación iónica	H⁺ (ac)	+	OH⁻ (ac)	→	H₂O (l)			
	η (mol)		η (mol)		η (mol)		η (mol)	
Inicio	0.05		0		0.01		0.01	Incoloro
Agregado	0		0.01					
Reacciona	0.01		0.01					
Produce					0.01		0.01	
Final	0.04		0.00		0.02		0.02	Incoloro

Figura 28. Tabla de variación cantidad de sustancia para una fracción de 5 mL. Código de estudiante E4G52A03.

En la construcción de las tablas para cada fracción de titulante agregada (Figura 28) tres de 43 estudiantes tuvieron errores en los cálculos, fundamentalmente en la resta de la cantidad de sustancia inicial con la cantidad de sustancia que reacciona.

El 60% de estudiantes que realizó la actividad logró construir de manera adecuada la Tabla de variación de cantidad de sustancia (Figura 29) que corresponde a la titulación completa. Solo 3 estudiantes de la muestra total lograron presentar la tabla resumen sin ningún error y sin necesidad de construir la tabla de la Figura 28 para cada punto, lo que permite concluir una buena comprensión de lo que se solicitaba en cada renglón de la tabla final.

Ecuación molecular	HCl (ac)	+	NaOH (ac)	→	H ₂ O (l)	+	NaCl (ac)	Color del indicador
Ecuación iónica	H ⁺ (ac)	+	OH ⁻ (ac)	→	H ₂ O (l)			
	η (mol)		η (mol)		η (mol)		η (mol)	
Antes de iniciar la valoración	0.06		0		0		0	Incoloro
Antes del punto de equivalencia	0.05		0		0.01		0.01	Incoloro
	0.04		0		0.02		0.02	Incoloro
	0.03		0		0.03		0.03	Incoloro
	0.02		0		0.04		0.04	Incoloro
	0.01		0		0.05		0.05	Incoloro
Punto de equivalencia	0		0		0.06		0.06	Incoloro
Después del punto de equivalencia	0		0.01		0.06		0.06	Rosa pálido
	0		0.02		0.06		0.06	Rosa
	0		0.03		0.06		0.06	Rosa mexicano
	0		0.04		0.06		0.06	Rosa mexicano

Figura 29. Tabla de avance de reacción “resumen”. Código de estudiante E4G52A03.

En las Figuras 30 y 31, en donde APE se refiere a “antes del punto de equivalencia” PE al “punto de equivalencia” y DPE “después del punto de equivalencia”, se pueden observar los principales errores que tuvieron los estudiantes al calcular la cantidad de sustancia (mol), tanto en los reactivos (OH⁻ y H⁺) como en los productos (H₂O y NaCl). Aunque tenían conocimiento de que las variaciones en la cantidad de agua no eran representativas puesto que ésta era el disolvente, se pidió esta columna ya que no hacerlo les causaba dudas: “¿qué pasa con el agua?”

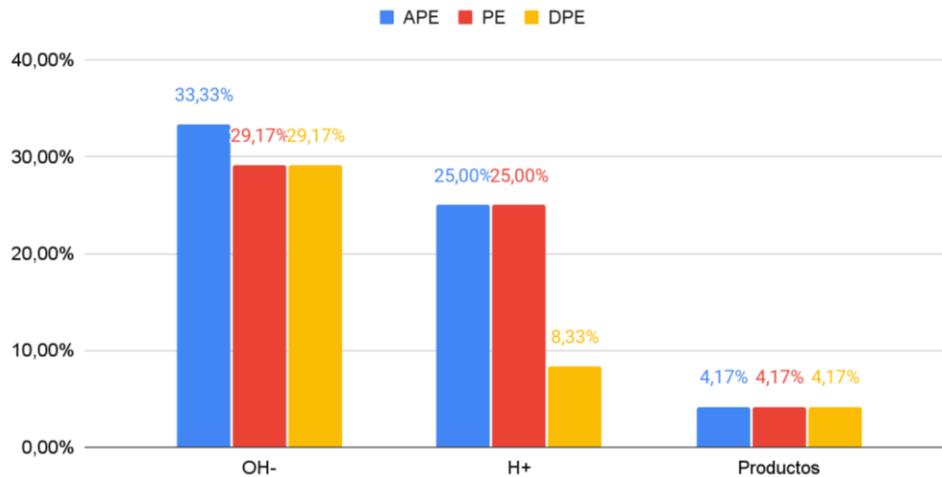


Figura 30. Errores de cálculo antes, durante y después del punto de equivalencia del grupo 28.

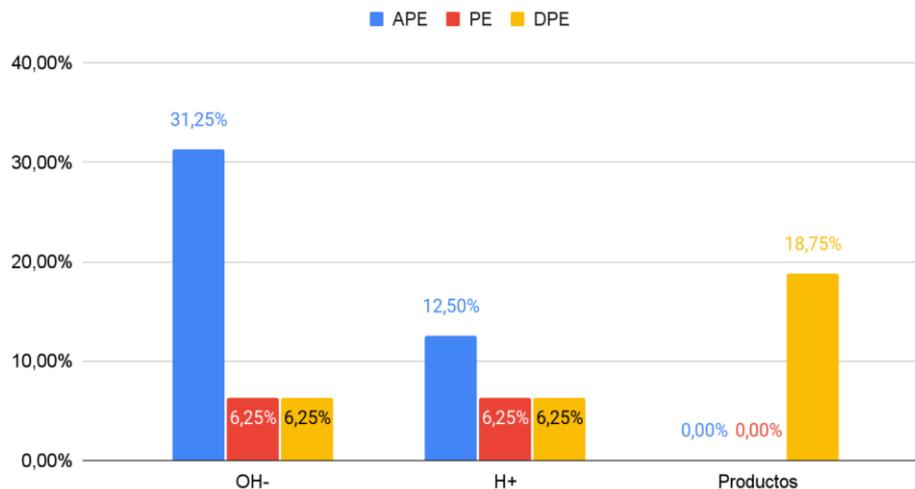


Figura 31. Errores de cálculo antes, durante y después del punto de equivalencia del grupo 52.

Se puede observar que el grupo 28 (Figura 30) cometió una mayor cantidad de errores comparando con el grupo 52 (Figura 31). Esto puede deberse a que, aunque la clase impartida fuera la misma, la dinámica de cada grupo era diferente dependiendo del nivel de participación de los alumnos, las dudas que surgen mientras se está viendo un tema, etc. Sin embargo, al tratarse solo de 2 grupos, estimar a qué se deben las diferencias no tiene mucha validez. Cabe mencionar que este es el único caso en el que los grupos presentan resultados con diferencias significativas.

4.3 Resultados del cuestionario de opinión

En la Figura 32 se observan las agrupaciones generadas a partir de las respuestas dadas por los estudiantes, a la pregunta abierta relacionada con los conceptos teóricos que los estudiantes consideraron que aprendieron,

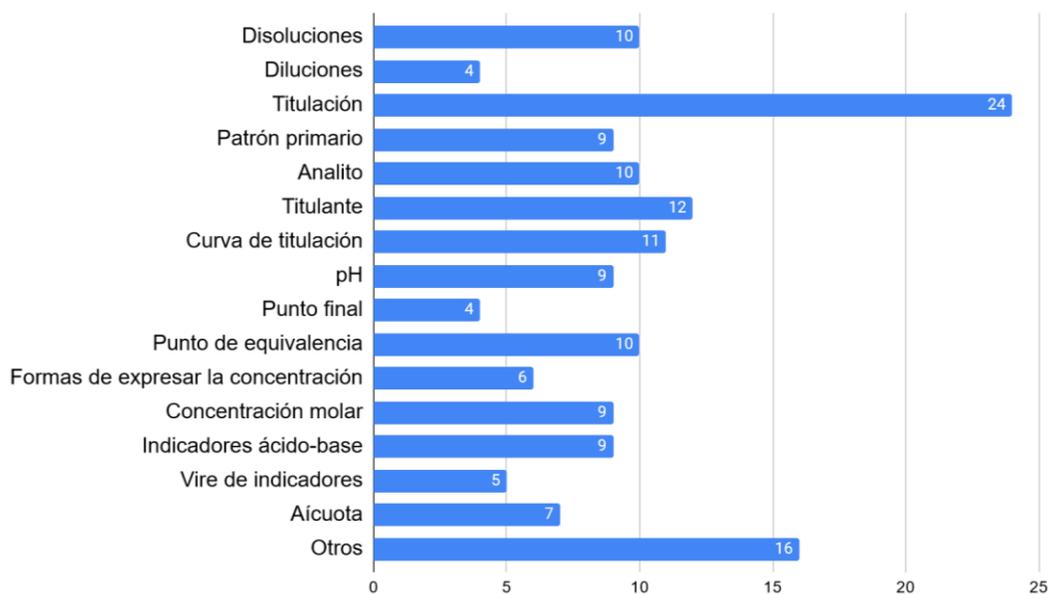


Figura 32. Agrupaciones principales de las respuestas a “Conceptos teóricos” del cuestionario de opinión

La sección “Otros” de la Figura 32 abarca cualquier concepto que tuviera 3 o menos respuestas, incluye “cálculos de concentración”, “pOH”, entre otros.

El concepto con un mayor número de menciones es “titulación” (55.8%) lo que se puede explicar tomando en cuenta que tanto el uso de los simuladores seleccionados, como la asignatura en la que se trabajó, “Laboratorio de Química General 2”, impulsan el aprendizaje de la estequiometría a través de titulaciones ácido base. En segundo lugar, se puede observar que los estudiantes aprendieron sobre disoluciones (23.3%) y diluciones (9.3%), cuya única actividad específica es la Actividad 3. Un tercer bloque muestra los conceptos: analito, titulante, pH, punto final, punto de equivalencia, concentración molar e indicadores ácido base, mencionados por cerca del 25% de los estudiantes. Si bien no se menciona el término “estequiometría”, esta es indispensable para encontrar el punto de equivalencia y para la comprensión y seguimiento de las reacciones químicas, tabla de variación de especies, diluciones, etc. El estudio de las curvas de titulación se llevó a cabo considerando la estequiometría de puntos específicos sobre la gráfica (entregable 4). Con respecto al software y los gráficos e información que estos proporcionan, los estudiantes reportan como concepto aprendido las curvas de titulación (25.6%), que está relacionado con el entregable 2 que promueve el aprendizaje de este procedimiento.

Una explicación a la ausencia en las respuestas de los estudiantes, del término “estequiometría”, como concepto clave, puede ser que ya la consideran una herramienta fundamental que utilizaron para construir conocimientos más elaborados, como el seguimiento de la titulación química, las tablas de variación de cantidad de sustancia de las especies involucradas en la titulación, la obtención de datos de los reactivos o productos a través de diferente información dada u obtenida mediante experimentos (cálculo de concentraciones, masa, etc.), entre otros. Otra explicación posible es que no consideraran a la estequiometría como un concepto sino como una habilidad ya adquirida que les ayudaba a la resolución de problemas; y una tercera explicación es que los materiales educativos priorizan los conceptos relacionados con la titulación química, dejando de lado, en el texto, lo relativo a los conceptos de estequiometría.

Cabe resaltar que el concepto “punto final”, que corresponde al “punto final experimental”, es mencionado en mucha menor medida que el concepto “punto de equivalencia”, nombre asignado al punto final calculado de forma teórica. Se encuentra en una situación parecida el concepto relacionado con vire de color de los indicadores (11.6%) que se observa de forma experimental y es mencionado menos veces que el concepto “indicadores ácido-base” (20.9%).

En la pregunta abierta 3, del cuestionario de opinión, los estudiantes enunciaron las habilidades para resolver problemas que consideran que aprendieron mediante el uso de simuladores. En la Figura 33 se muestran las agrupaciones generadas a partir de las respuestas de los estudiantes.



Figura 33. Agrupaciones principales de las respuestas a “Habilidades experimentales” del cuestionario de opinión

En esta figura se observa que la mayoría de los estudiantes (67.4%) escribieron alguna parte del proceso de titulación como respuesta, por ejemplo “uso de la bureta”. Se puede ver que el uso

de indicadores es el segundo término más mencionado (17.8%) e incluso se puede apreciar que tiene un mayor número de menciones que cuando se inquirió por conceptos en la Figura 33. No se menciona el término “punto de equivalencia” mientras que “punto final” sí es mencionado por 2 personas (4.7%). Y en menor medida los demás rubros, como “preparación de disoluciones, “uso de material”, etc.

Para esta pregunta se tienen 4 personas (9.3%) que respondieron no haber adquirido habilidades experimentales, una respuesta que se considera acertada tomando en cuenta que en realidad no se trabajó en forma presencial en un laboratorio y que todas las habilidades mencionadas se adquirieron mediante una simulación.

En la Figura 34 se observan agrupaciones a las respuestas de habilidades para resolver problemas que dieron los estudiantes, la opción con mayor cantidad de respuestas (34.9%) fue analizar los datos de los problemas a resolver seguida de cálculos de concentraciones, estequiometría y operaciones con factores, lo cual da la idea de que los modelos matemáticos son importantes para resolver problemas, así como la correcta lectura y comprensión de los datos proporcionados.

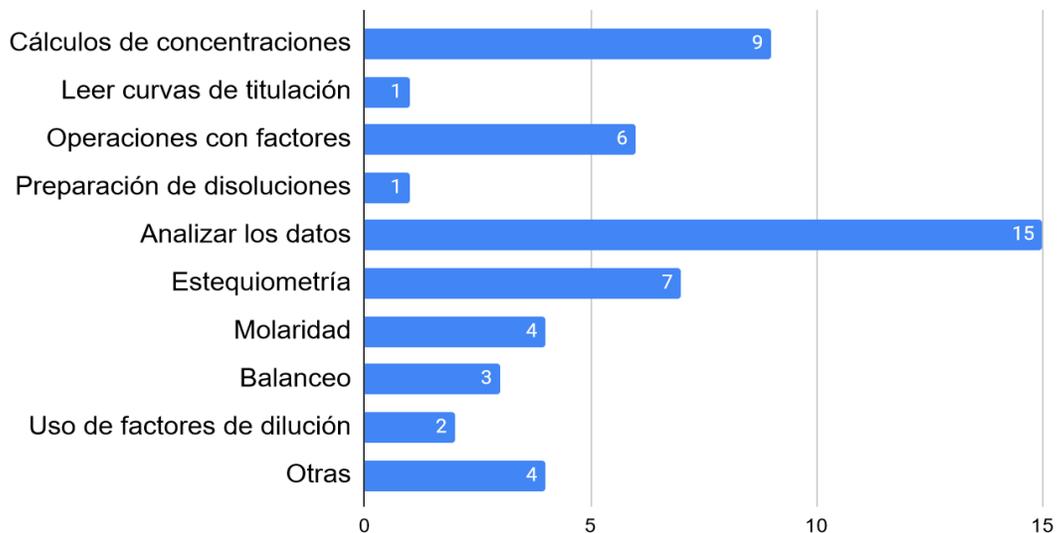


Figura 34. Agrupaciones principales de las respuestas a “Habilidades para resolver problemas” del cuestionario de opinión

En la sección “otras” (Figura 34) se agruparon respuestas en las que la redacción no permitió clarificar a qué se referían.

En la Figura 35 se observan las respuestas que los estudiantes dieron a la pregunta “¿Qué conceptos, ideas o modelos teóricos te fueron útiles para el análisis de los datos obtenidos con el simulador?”

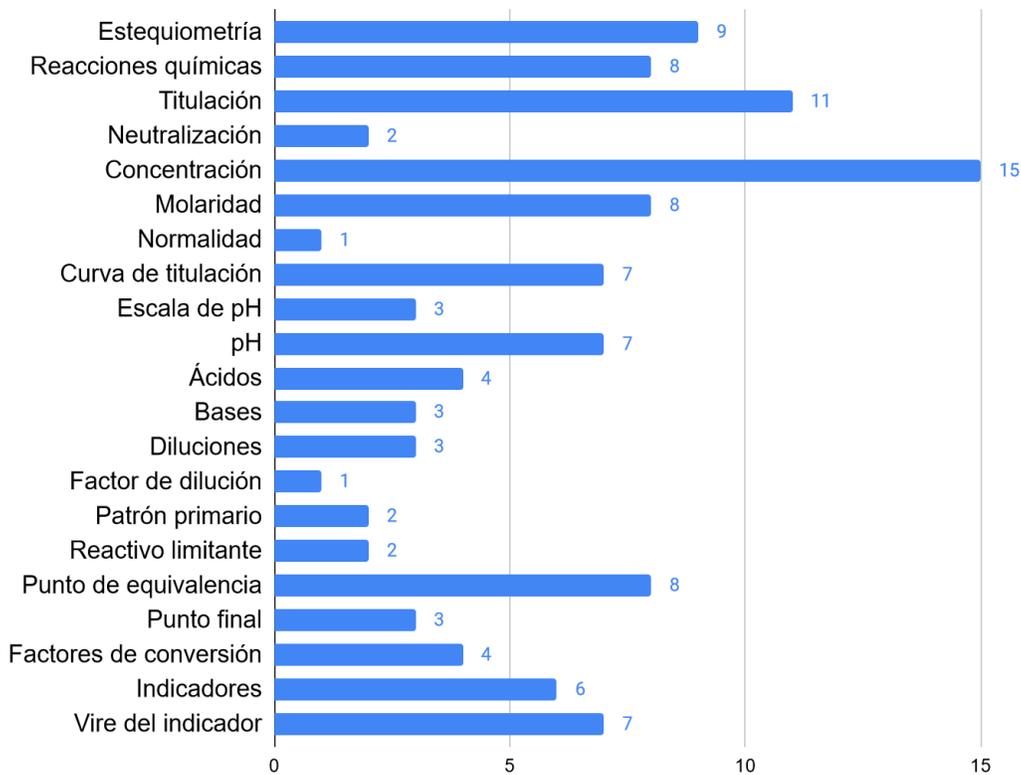


Figura 35. Agrupaciones principales de las respuestas a la pregunta “¿Qué conceptos, ideas o modelos teóricos te fueron útiles para el análisis de los datos obtenidos con el simulador?” del cuestionario de opinión

En la Figura 35, se puede observar que la mayoría de los estudiantes consideró “concentración” como uno de los conceptos que les fueron más útiles durante el análisis de datos. Es importante mencionar que los estudiantes calculaban concentraciones a partir de una titulación en el simulador 2 para poder obtener la curva de titulación con el simulador 1.

“Titulación” y “estequiometría” son los conceptos que tienen las frecuencias más altas después de “concentración”. Estos dos conceptos son la base del conocimiento que se quiere impartir en este curso y son el eje de los materiales educativos generados.

Observamos que algunos estudiantes son más específicos al mencionar algunos conceptos, por ejemplo, algunos en lugar de solo escribir “concentración” escribieron “molaridad” y/o “normalidad”, varios hablan también de conceptos que en este caso se derivan de titulación y su análisis, como “curva de titulación”, “patrón primario”, “punto final”, “vire del indicador”. Mientras que otros hablan de la parte teórica como “punto de equivalencia”

En las Figuras Figura 36 y Figura 37 se observan, respectivamente, las selecciones de los estudiantes sobre conceptos y habilidades que desarrollaron, aquellos que representaron un reto para su aprendizaje y la claridad con la que los aprendieron, Se utiliza una escala hedónica de 5 puntos para la Figura 36 y una escala hedónica de 4 puntos para la Figura 37.

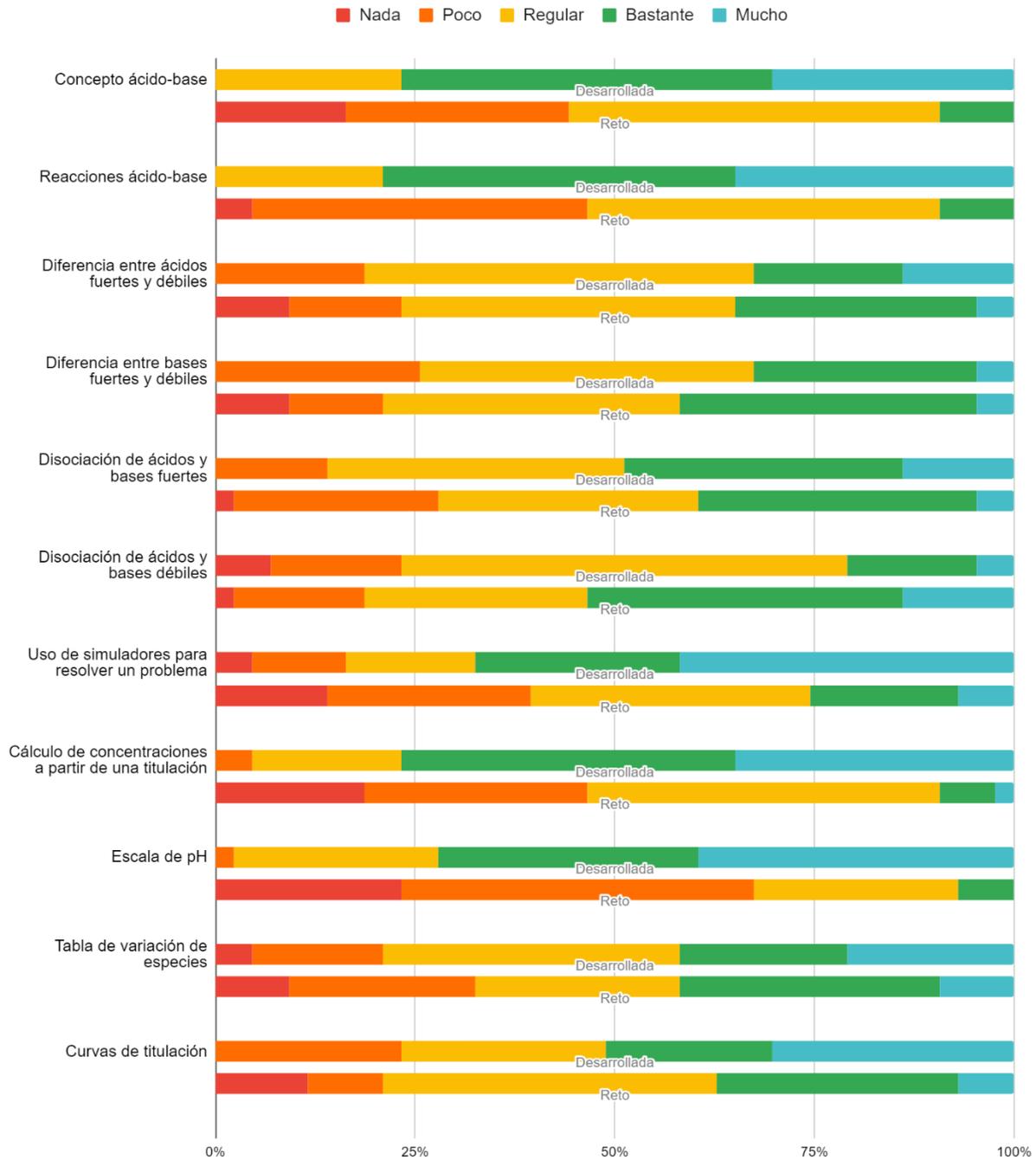


Figura 36. Conceptos y habilidades desarrolladas y que representaron un reto para los estudiantes

En la Figura 36 se relacionan los conceptos y la opinión de los estudiantes sobre qué tanto desarrollaron el conocimiento de estos.

Por una parte, se observa que un porcentaje cercano a 30% y superior reporta haber desarrollado “mucho” los dos primeros conceptos “ácido-base”, “reacciones ácido base” y las tres primeras habilidades listadas “uso de simuladores para resolver un problema”, “cálculo de concentraciones a partir de una titulación”, “escala de pH” y “curvas de titulación”. En cuanto a los valores que le dan a estos mismos conceptos y habilidades al expresar el reto que les planteó su aprendizaje se observa que el rubro “mucho” es muy bajo, entre 0 y 7%, mientras que para la opción de “bastante” el porcentaje es del 7-9.3% a excepción de uso de simuladores para resolver un problema con un 18.6%.

Una segunda información que se puede encontrar en esta gráfica es la relación de los conceptos y habilidades que representaron un mayor reto (“mucho” y “bastante”, respectivamente) para los estudiantes. Los conceptos son: “disociación de ácidos y bases débiles” (14 y 39.5%), “disociación de ácidos y bases fuertes”(4.7 y 34.9%), “diferencia entre ácidos fuertes y débiles” (4.7 y 30.2%), y “diferencia entre bases fuertes y débiles” (4.7 y 37.2%) y las habilidades de “Tabla de variación de cantidad de sustancia de una especie y curvas de titulación, que tienen un comportamiento similar.

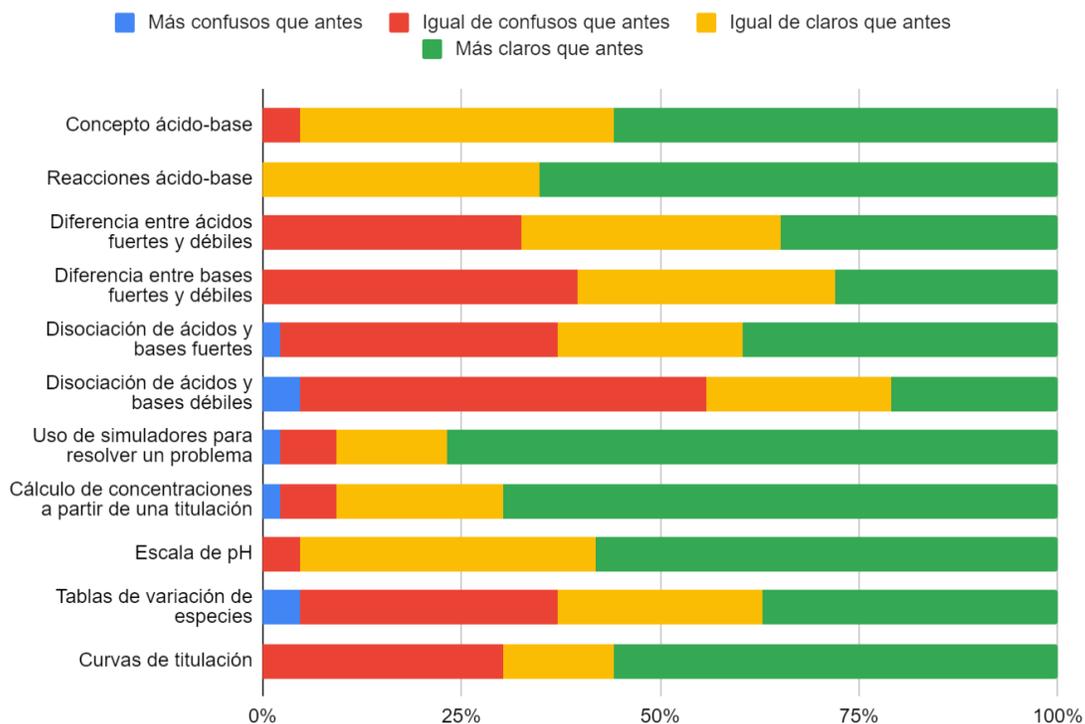


Figura 37. Grado de claridad de la lista de conceptos y habilidades

En la Figura 37 se observa que la mayoría de los conceptos y habilidades abordados en este estudio son “más claros que antes” o “igual de claros que antes”. En el uso de simuladores para resolver un problema, el cálculo de concentraciones a partir de una titulación, las reacciones ácido-base, la escala de pH, el concepto ácido-base y las curvas de titulación. Mientras que con respecto de las habilidades y conceptos que los estudiantes reportaron como “más confusos que antes” en todos los casos es menor al 4.7%.

En cuanto a los conceptos, los dos primeros “concepto ácido base” y “reacciones ácido-base”, son reportados por los alumnos en porcentajes superiores al 55% como “más claro que antes”. Merece una mención especial que poco más de la mitad del grupo reporta “igual de confuso que antes” o “más confuso que antes” el tema de la disociación de ácidos y bases débiles. Esto podría deberse a que este tema) está planeado en el temario de curso, para ser impartido en la unidad de Equilibrio Químico Ácido Base, a la mitad del semestre por lo que los estudiantes no iban acompañados de la clase teoría; en el caso de este Proyecto se dio una explicación breve sobre el tema sin profundizar en los aspectos relacionados con el equilibrio químico.

5. REFLEXIONES FINALES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

El uso de simuladores, en este caso de estudio, se implementó con estudiantes que, debido al confinamiento ocasionado por diversas causas, no tenían ninguna experiencia de trabajo en un laboratorio. Durante todo el semestre, el trabajo fue realizado en línea: clases, asesorías y tareas. Las clases desarrolladas para la revisión de aspectos de teoría así como las actividades planeadas, demandaron una alta carga de trabajo previo por parte del docente ya que se tenía que impartir el conocimiento necesario para que los estudiantes pudieran comprender el tema en sus aspectos teóricos y experimentales independientemente de que, en este caso se estuviera impartiendo una clase de laboratorio de forma virtual.

La implementación del uso de simuladores se inició en el semestre 2021-2, como un Proyecto intersemestral con 8 estudiantes; sin embargo no fue posible concluir este Proyecto debido a situaciones externas que ya fueron mencionadas anteriormente. Para el semestre 2022-1, en el que se realizó el estudio que se presenta, el material didáctico se tuvo que modificar y adaptar para clases de laboratorio totalmente en línea buscando la mayor interactividad con los estudiantes, y considerando además que no tuvieron la posibilidad de trabajar en un laboratorio en su último año de bachillerato y que no habían trabajado en un laboratorio una vez inscritos en la Facultad.

En este sentido podemos decir que el trabajo con simuladores no se implementó como un sustituto para los laboratorios presenciales, sino para que los estudiantes pudieran comprender los temas y adquirir el conocimiento requerido por la asignatura de una forma más interactiva y para que contaran con conocimientos previos para sus siguientes cursos experimentales, a pesar de no haber cursado el LQGII de forma presencial. Se espera, derivado de comparaciones con grupos antes y durante la pandemia, que los estudiantes cuenten con el conocimiento y herramientas necesarias para poder trabajar en un laboratorio con mayor facilidad que aquellos estudiantes que no vivieron este tipo de implementaciones.

6. CONCLUSIONES

En el caso de la asignatura “Laboratorio de Química General II” el uso de simuladores no supe la enseñanza en un laboratorio, pero puede complementar la enseñanza teórico-práctica, particularmente cuando no se tienen clases presenciales. Con el apoyo de los simuladores se logran aprendizajes de contenidos teóricos y algunos de índole experimental.

El uso de simuladores apoya en la comprensión del proceso de titulación: a) los estudiantes aprenden a elegir un indicador de acuerdo con el caso en estudio, b) los estudiantes pueden aprender contenidos sobre el proceso de titulación y en la mayoría de los casos pueden identificar el punto final de la titulación en una curva de titulación y el punto de equivalencia en una tabla de variación de cantidad de sustancia.

Al utilizar simuladores se pueden cometer errores similares a los errores experimentales en un laboratorio presencial, como no agitar el matraz después de cada adición de reactivo titulante o no leer correctamente el volumen de la bureta. Esto ayuda a los estudiantes a relacionar situaciones importantes del trabajo presencial con situaciones del trabajo en línea a pesar de solo llevar a cabo el segundo.

Al trabajar con simuladores, los estudiantes pueden incurrir en errores importantes que también se cometen en un laboratorio de forma presencial, como no identificar correctamente el material que se les menciona o hacer una mala selección de este para un experimento requerido. Es importante mencionar que en un laboratorio en línea de ninguna forma adquirirán la manipulación adecuada del material utilizado en un laboratorio presencial, aspecto de suma importancia para los estudiantes de las carreras de química.

El uso de la tecnología no supe las clases presenciales, pero puede haber sobrepasado la enseñanza de los contenidos teóricos que se daba al inicio del confinamiento. En el caso de la enseñanza presencial, puede utilizarse como una introducción al laboratorio para facilitar el trabajo de los estudiantes para que lleguen a la sesión presencial con algunos conocimientos experimentales previos.

Los estudiantes mostraron haber adquirido conocimientos y técnicas usadas en los laboratorios, imposibles de ser adquiridos sin el uso de simuladores en una situación de confinamiento.

En la época en la que vivimos y haciendo uso de las nuevas tecnologías, muchos experimentos están controlados por equipos sistematizados, lo cual representa un reto en el campo profesional

si los estudiantes no tienen conocimientos del uso de ellas. El uso de simuladores es un acercamiento inicial útil en el presente y que los estudiantes podrían requerir en un futuro cercano.

Un grave problema que se presenta en la educación que se imparte en los laboratorios de la Facultad de Química de la UNAM y probablemente también en otras instituciones de enseñanza superior es que los grupos de alumnos son cada vez más grandes, lo cual representa un reto para el trabajo experimental que debe realizarse en los laboratorios presenciales; una de las posibles alternativas a este problema, es seleccionar los contenidos que se pueden aprender de forma virtual y hacer uso de los espacios presenciales para trabajar en los contenidos que necesariamente deben trabajarse en los laboratorios.

La implementación del uso de nuevas tecnologías de enseñanza, como en este caso son los simuladores, implica una mayor carga de trabajo para el docente debido a toda la planeación y preparación que se requiere, sin embargo, una vez hecho el desarrollo, la técnica se puede seguir utilizando en cursos posteriores, siendo únicamente necesario actualizar el material de trabajo dependiendo del enfoque que se deba dar al curso de acuerdo con los requerimientos de cada grupo de alumnos y de los avances de la disciplina. A largo plazo, la implementación del uso de nuevas tecnologías facilita la docencia y por lo tanto el estudio de la disciplina.

El estudio realizado durante el semestre 2022-1 muestra que el uso de simuladores y herramientas digitales, en una situación en la que definitivamente no se tenía acceso a los laboratorios, ayudó a los estudiantes a tener una buena comprensión del trabajo que se realiza en el laboratorio así como a estar en posibilidad de participar en su proceso de enseñanza.

7. REFERENCIAS

Abbitt, J. (2011). Measuring technological pedagogical content knowledge in preservice teacher education: A review of current methods and instruments. *Journal of Research on Technology in Education*, 43(4), 281-300.

Adams, W., Alhadlaq, H., Malley, C., Perkins, K., Olson, J., Alshaya, F., & Alabdulkareem, S. y Wieman, C. (2010). Making On-line Science Course Materials Easily Translatable and Accessible Worldwide: Challenges and Solutions. *Journal of Science Education and Technology* 21, 1-10.
<https://doi.org/10.1007/s10956-010-9275-y>

Andaloro, G., Donzelli, V. y Sperandeo-Mineo R. (1991). Modelling in Physics Teaching: The Role of Computer Simulation. *International Journal of Science Education*, 13(3), 243-254

Avramiotis, A. y Tsaparlis, G. (2013). Using computer simulations in chemistry problem solving. *Chemistry Education Research and Practice*. 14, 297.
<https://doi.org/10.1039/C3RP20167H>

Baldwin, N., y Orgill, M.K. (2019). Relationship between teaching assistants' perceptions of student learning challenges and their use of external representations when teaching acid–base titrations in introductory chemistry laboratory courses. *Chemistry Education Research and Practice*. 20, 821-836.

Brown, T., LeMay, E., Bursten, B., Escalona y García, H. J., Escalona, M. C. R., y Doria Serrano, M. d. C. (2013). *Química: La ciencia central* (12a. ed.). Prentice Hall.

Calvo, I., Zulueta, E., Gangoiti, U. y López-Guede, J. (2022). Laboratorios remotos y virtuales en enseñanzas técnicas y científicas. *Ikastorrata, e-Revista de didáctica*. 3.

Campbell, Josephine. "Titration." *Salem Press Encyclopedia of Science*, 2022.

Carlton, T. (1997). Why and how to teach acid-base reactions without equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 74(8), 939-941.

Carrión-Paredes, F., García-Herrera, D., Erazo-Álvarez, C., y Erazo-Álvarez, J. (2020). Simulador virtual PhET como estrategia metodológica para el aprendizaje de Química. *CIENCIAMATRIA*, 6(3), 193-216. <https://doi.org/10.35381/cm.v6i3.396>

Castelazo, I. A. (2002). Incertidumbre en las mediciones: impactos económicos y sociales. In Simposio de Metrología. México: CENAM. 1-6.

Chang, R., Goldsby, K. A., Álvarez Manzo, R., y Ponce López, S. (2020). Química (13a. ed.). McGraw Hill.

Chittleborough, G. (2014) Learning How to Teach Chemistry with Technology: Pre-Service Teachers' Experiences with Integrating Technology into Their Learning and Teaching, Journal of Science Teacher Education, 25(4), 373-393, <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9387-y>

Clark, T. y Chamberlain, J. (2014). Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of the Hydrogen Atom. Journal of Chemical Education. 91(8), 1198-1202. <https://doi.org/10.1021/ed400454p>

De Manuel, E., Jiménez, M. R., y Salinas, F. (1998). Conceptos relacionados con los ácidos y las bases al nivel macroscópico: Evolución histórica e ideas de los alumnos en García, S., La Didáctica de las Ciencias. Tendencias Actuales. 359-368.

Díez, C. (2005). Una experiencia de comunicación a través de internet en el marco de la enseñanza de la física y química. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 2(2), 218- 233.

Facultad de Química (2021a) Condiciones de levantamiento de Paro FQ, Facultad de Química <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2021/05/condiciones-levantamiento-paro-fq.pdf>

Facultad de Química (2021b) Preguntas y aclaraciones, Facultad de Química <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2021/06/preguntas-y-aclaraciones.pdf>

Facultad de Química (2022) Cursos Química en moodle <http://cursos.quimica.unam.mx>

Frazer, M.J. y Servant, D. (1987), Aspects of stoichiometry, where do students go wrong? Education in Chemistry, 24(3), 73-75.

Frías, M. A., Arce, C., y Flores-Morales, P. (2016). Uso de la plataforma socrative.com para alumnos de Química General. Educación Química, 27(1), 59-66.

García, A., Martínez, A. y Marín, A. (2020). Los profesores de la Facultad de Química de la UNAM frente al cambio a la educación remota en emergencia. Educación Química, número especial. <http://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.5.76878>

Garriz, R., A., Gasque, L. y Martínez, A. (2005), Química Universitaria, Pearson Educación.

Hernández, D. y Saavedra, L. (2014). Titulaciones ácido-base con el empleo de software. Educación Química. 25(1). 42-45. [http://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70522-1](http://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70522-1)

Hodson D., (1986), The nature of scientific observation, Sch. Sci. Rev., 68 (242), 17-29.

Hurtado, S. (2016). Valoración ácido-base, Laboratorio virtual, https://labovirtual.blogspot.com/2016/03/valoracion-acido-base_5.htm

Infante, C. (2014). Propuesta pedagógica para el uso de laboratorios virtuales como actividad complementaria en las asignaturas teórico-prácticas. Revista mexicana de investigación educativa, 19 (62), 917-937.

Jiménez-Liso, M. y de Manuel, E. (2002). La neutralización ácido-base a debate. Enseñanza de las Ciencias, 20(3), 451-464.

Kind, V. (2004). Más allá de las apariencias. Ideas previas de los estudiantes sobre conceptos básicos de química. UNAM, Facultad de Química.

López, A. (2018). Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría en el bachillerato, una propuesta didáctica para enfrentarlas. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/94673>

López, M., López, G. y Rojano, S. (2018). Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las Reacciones de Óxido-Reducción. Estudio de caso, Universidad de Málaga, 29 (3), 79-98. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.63728>

Martínez, P., León, J. y Pontes, A. (1994). Simulación mediante ordenador de movimientos bidimensionales en medios resistentes. Enseñanza de las Ciencias, 12(1), 30-38.

Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017–1054.

Mishra, P. y Koehler, M. J. (2008). Introducing TPCK. En AACTE Committee on Innovation and Technology. The handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators, 3-29. Routledge.

Mishra, P., Koehler, M. J., y Shin, T. S. (2011). How do we measure TPACK? Let me count the ways. En R. N. Ronau, C. R. Rakes, & M. L. Niess (Eds.), Educational Technology, Teacher Knowledge, and Classroom Impact: A Research Handbook on Frameworks and Approaches, 16-31. Information Science Reference, Hershey, PA.

Mitchell, I. y Gunstone, R. (1984). Some student conceptions brought to the study of stoichiometry. Research in Science Education. 14, 78-88. <https://doi.org/10.1007/BF02356793>

Moore, E., Chamberlain, J., Parson, R y Perkins, K. (2014). PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. Journal of Chemical Education. 91(8). 1191-1197. <https://doi.org/10.1021/ed4005084>

Moore, E., Herzog, T y Perkins, K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry. Chemistry Education Research Practice. 14(3), 257-268. <http://dx.doi.org/10.1039/C3RP20157K>

Morales Erazo, L., González Cárdenas, I., Abella Gamba, J., y Ahumada Forigua, D. (2019). Técnicas de titulación ácido-base: consideraciones metrológicas. Revista Colombiana de Química, 48(1), 26-34.

Obando, S. (2013). Implementación de estrategias didácticas para la enseñanza de la estequiometría en estudiantes del grado once de enseñanza media. Tesis Magistral, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín. <http://www.bdigital.unal.edu.co/10308/1/36758490.2013.pdf>

Patsay, Ihor (2007), Acid-Base Titration (Version 5.0), Austrian-Ukrainian Centre for Science, Education and Culture. <acid_base_titration@ukr.net>

Petrucci, R.H., Herring, F. G., Madura, J.D., y Bissonnette, C. (2011). Química General. (10a. ed.) Pearson.

PhET. (2022). PhET. <https://phet.colorado.edu/es/>

Pontes, A. (2005a). Aplicaciones de las tecnologías de la Información y de la comunicación en la educación científica. Primera parte: funciones y recursos. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 2(1). 2-18.

http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i1.02.

Pontes, A. (2005b). Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. Segunda parte: aspectos metodológicos. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. 2(3). 330-343.

http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i3.03.

Raviolo, A. y Lerzo, G. (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. Educación Química. 27(3), 195-204.

<https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003>

Raviolo, A y Farré, A. (2017). Una evaluación alternativa del tema titulación ácido-base a través de una simulación. Educación Química. 28(3), 163-173.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2017.01.003>

Reyes-Cárdenas, F., Ruiz-Herrera, B., Llano-Lomas, M., Lechuga-Uribe, P., Mena-Zepeda, M. (2021) Percepción de los alumnos de química sobre el cambio de modalidad educativa en la pandemia por COVID-19, Educación Química, 32(4), 127-141.

<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.78240>

Ross, B. and Munby, H. (1991). Concept mapping and misconceptions: a study of high-school students' understandings of acids and bases. International Journal of Science Education, 13(1), 11-23.

Sánchez, C. (2018). Diseño y aplicación de una secuencia de actividades para el aprendizaje de ácidos y bases. (Tesis de Maestría). UNAM, México. Recuperado de

<https://repositorio.unam.mx/contenidos/219749>

Seery, M. y McDonnell, C. (2013). The application of technology to enhance chemistry education. Chemistry Education Research Practice. 14(3), 227-228.

<https://doi.org/10.1039/C3RP90006A>

Sheppard, K. (2006). High school students' understanding of titrations and related acid-base phenomena. Chemistry Education Research and Practice, 7(1), 32-45.

Silberberg, M. S. (2019). Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change (6a. ed.). McGraw-Hill.

Sterner, R. W., Small, G. E. & Hood, J. M. (2011) The Conservation of Mass. Nature Education Knowledge 3(10):20

Sweeder, R., Herrington, D. y VandenPlas, J. (2019). Supporting students' conceptual understanding of kinetics using screencasts and simulations outside of the classroom. Chemistry Education Research and Practice. 20(4), 685-698.

<https://doi.org/10.1039/C9RP00008A>.

Talanquer (2011) Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet", International Journal of Science Education, 33(2), 179-195.

<https://doi.org/10.1080/09500690903386435>

Torres, F. (2018). Simulador virtual model chemlab como estrategia para la enseñanza de la química inorgánica. Colombia.

<https://repositorial.cuaed.unam.mx:8443/xmlui/handle/20.500.12579/5262>

Vygotsky, L. (1998) El Desarrollo de los Procesos Psicológicos Superiores. Crítica. Barcelona.

Watson, S., Dubrovskiy, A. y Peters, M. (2020). Increasing chemistry students' knowledge, confidence, and conceptual understanding of pH using a collaborative computer pH simulation. Chemistry Education Research and Practice. 21(2), 528-535.

<https://doi.org/10.1039/C9RP00235A>.

Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., y Stanley, G. G. (2015). Química (10a. ed.). Cengage Learning.

Yarroch, W. L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing. Journal of Research in Science Teaching, 22(5), 449-459 <https://doi.org/10.1002/tea.3660220507>

Entregable 1

Nombre de alumno (Primer apellido, segundo apellido y nombre)

Actividad 2. Elige un “indicador” de pH

Para el simulador 2 diseña un experimento que te ayude a elegir uno de los indicadores para continuar con las siguientes actividades. Descríbelo.

Escribe tus resultados.

¿Qué indicador vas a usar? ¿Qué características te hicieron elegirlo?

Para trabajar con el simulador 1 elige un indicador del mismo.
Considera el rango de pH de vire de las 10 opciones que te da el simulador 1 para elegir uno que se parezca al que has elegido para el simulador 2.

Entregable 2

Nombre del alumno (apellidos, nombre(s)): _____

Actividad 3. Reto

Acabas de entrar a un laboratorio, encuentras 6 frascos de 6 diferentes ácidos que dicen qué sustancia son pero no viene la concentración anotada. Tu necesitas un ácido con una concentración 0.1 mol/L. **Encuentra el o los ácidos que te servirán DEL SIMULADOR 2.**

- Completa la tabla
 - La foto es una captura de pantalla con el punto final de la valoración para cada ácido.
- Escribe las observaciones que realizaste en el experimento.

		Foto	Relación molar ácido:base	mL gastados	Concentración del ácido (mol/L)	Observaciones
1	HCl					
2	HNO ₃					
3	H ₃ PO ₄					
4	H ₂ SO ₄					
5	C ₂ H ₂ O ₄					
6	CH ₃ COOH					

- Completa la tabla. Presenta todas las curvas de titulación, agrupando por renglones las curvas que consideres que se parecen.
 - La curva de titulación deberás obtenerla con el SIMULADOR 1 (captura de pantalla), poniendo los datos del titulante que te da el simulador 2 y las concentraciones del ácido que tú calculaste.
 - Anota tus observaciones y justifica tu agrupación.

Agrupación 1	
Agrupación 2	
Agrupación 3	

A partir de tus observaciones y la información dada en clase ¿cómo podrías explicar CON TUS PALABRAS la técnica de titulación?

Utiliza lenguaje químico.



Entregable 3

Nombre del alumno (apellidos, nombre(s)): _____

Grupo: _____

Actividad 4. Resolver problemas sin el simulador (titulación y concentraciones).

En el mismo laboratorio encuentras una botella de ácido muriático la cual está etiquetada por el laboratorista indicando que al ácido muriático se le realizó una dilución 1:25.

Recuerda que no es correcto realizar “sumas con las pipetas volumétricas.

¿Cómo se preparó la dilución si en el laboratorio se tiene el material de las imágenes de abajo?

- Redacta el procedimiento en forma de prosa



Pipetas volumétricas: 1, 4, 10, 15, 20 y 25 mL

Matraces aforados: 1000, 500, 250, 100, 50 mL

Para conocer su concentración titulaste una alícuota de 15 mL con una disolución de NaOH valorada, de concentración 0.35 mol/L, gastando 12.7 mL.

- Recuerda que el ácido muriático es una disolución acuosa de HCl.

¿Qué consideraciones y/o planteamiento usaste para resolver el problema?

Anota tus cálculos (puede ser una foto o los cálculos directamente en el archivo)

¿Cuál es la concentración del ácido muriático comercial, en mol/L, antes de que se hiciera la dilución?

Si el fabricante indica que la concentración del ácido muriático es entre 15 y 36% m/v

¿La muestra comercial cumple con lo que dice el fabricante?

Anota tus cálculos (puede ser una foto o los cálculos directamente en el archivo)

Entregable 4

Nombre del alumno (apellidos, nombre(s)): _____

Grupo: _____

Actividad 5. Resolver problemas sin el simulador (titulación y tablas de variación de especies).

Estás titulando 12 mL de una disolución de ácido clorhídrico 5 mol/L con NaOH 2 mol/L usando como indicador fenolftaleína.

Completa la tabla de resumen (Tabla 2) considerando que se agregan 5 mL de NaOH en cada renglón y terminando la valoración gastando los 50 mL de NaOH de la bureta.

Tabla 1. ANTES DEL PUNTO DE EQUIVALENCIA

Esta tabla deberás completarla para cada una de las adiciones. Se ha completado a manera de ejemplo el agregado de 0.01 mol de HCl. Deberás llevar a la tabla de resumen (Tabla 2) únicamente el renglón final y continuando con el ejemplo se presenta el primer renglón en donde se resalta en verde en donde se completan los datos.

Ecuación molecular	HCl (ac)	+	NaOH (ac)	→	H ₂ O (l)	+	NaCl (ac)	Color del indicador
Ecuación iónica	H ⁺ (ac)	+	OH ⁻ (ac)	→	H ₂ O (l)			
	η (mol)		η (mol)		η (mol)		η (mol)	
Inicio	0.06							
Agregado	0		0.01					
Reacciona	0.01		0.01					
Produce					0.01		0.01	
Final	0.05		0		0.01		0.01	

Ecuación molecular	HCl (ac)	+	NaOH (ac)	→	H ₂ O (l)	+	NaCl (ac)	Color del indicador
Ecuación iónica	H ⁺ (ac)	+	OH ⁻ (ac)	→	H ₂ O (l)			
	η (mol)		η (mol)		η (mol)		η (mol)	
Antes del punto de equivalencia	0.05		0		0.01		0.01	

Tabla 2. RESUMEN (Concentraciones finales para cada alicuota)

Ecuación molecular	HCl (ac)	+	NaOH (ac)	→	H ₂ O (l)	+	NaCl (ac)	Color del indicador
Ecuación iónica	H ⁺ (ac)	+	OH ⁻ (ac)	→	H ₂ O (l)			
	η (mol)		η (mol)		η (mol)		η (mol)	
Antes de iniciar la valoración			0					
Antes del punto de equivalencia								
Punto de equivalencia								
Después del punto de equivalencia								

Llenar los cuadros color naranja