



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DISEÑO, PUESTA EN PRÁCTICA Y EVALUACIÓN DE UN
TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO DE QUÍMICA
GENERAL II CON UN ENFOQUE DE INDAGACIÓN PARA EL
TEMA DE EQUILIBRIO HETEROGÉNEO**

TESIS

Que para obtener el título de

QUÍMICO

P R E S E N T A

ELÍAS JESIEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESORA DE TESIS

Q. Elizabeth Nieto Calleja



Ciudad Universitaria, CDMX., 2022



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesora: Nieto Calleja Elizabeth
VOCAL: Profesor: Sosa Fernandez Plinio Jesus
SECRETARIO: Profesor: Padilla Martínez Kira
1er. SUPLENTE: Profesor: Lechuga Uribe Patricia Alejandrina
2° SUPLENTE: Profesor: Catana Ramirez Carlos

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN QUÍMICA, EDIFICIO F, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

Q. Elizabeth Nieto Calleja

SUPERVISOR TÉCNICO (Si lo hay):

Dra. Kira Padilla Martínez

SUSTENTANTE (S):

Elías Jesiel Martínez Hernández

Agradecimientos

A la Facultad de Química de la UNAM por brindar todo lo necesario durante mi formación académica y titulación.

A la **DGAPA** por el apoyo económico mediante el proyecto **PAPIME PE207721** del cual se derivó esta tesis

A las profesoras Elizabeth Nieto Callejas y Kira Padilla Martínez por todo su asesoramiento y apoyo durante la realización del proyecto.

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN	5
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. LOS LABORATORIOS EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA	7
2.2. EL APRENDIZAJE BASADO EN INDAGACIÓN	9
2.3. ENSEÑANZA DEL EQUILIBRIO QUÍMICO EN EL LABORATORIO.....	16
2.4. BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TRABAJOS PRÁCTICOS BASADOS EN INDAGACIÓN.....	18
METODOLOGÍA DEL TRABAJO:.....	21
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
4.1. ANÁLISIS DE PREGUNTAS	24
4.2. ANÁLISIS DE RESPUESTAS	27
4.3. ANÁLISIS DE HIPÓTESIS.....	32
4.3. ANÁLISIS DE DIAGRAMAS DE FLUJO:.....	38
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y OBSERVACIONES.....	45
4.5. ANÁLISIS DE CONCLUSIONES.....	51
CONCLUSIONES	56
REFERENCIAS.....	59
ANEXO A. PROPUESTA DE PRÁCTICA	62
ANEXO B. INVESTIGACIÓN PREVIA.....	66
ANEXO C. DIAGRAMA HEURÍSTICO Y CARACTERÍSTICAS A EVALUAR DEL DIAGRAMA ...	68

Introducción

El presente trabajo de tesis se centra en la implementación de una práctica experimental en el laboratorio de Química General II, materia de tronco común que se imparte en el segundo semestre de las 5 licenciaturas de la Facultad de Química de la UNAM. El objetivo es evaluar en qué medida se puede promover el desarrollo de habilidades de pensamiento científico en los estudiantes al implementar una práctica relacionada al tema de equilibrios heterogéneos en un laboratorio con enfoque de indagación.

El cambio en el enfoque se fundamenta debido a que el estilo de enseñanza que se tiene en los laboratorios de Química General II tradicional, en la cual los alumnos siguen una metodología estipulada, generalmente por un manual de laboratorio, el cual, como un libro de recetas preestablecidas, indica punto por punto el procedimiento a seguir, hasta llegar a un resultado ya previsto. El problema presente en este estilo de enseñanza es que representa una forma pasiva de aprendizaje para el alumno, además que el objetivo del laboratorio es sólo confirmar los resultados establecidos en la metodología, este tipo de actividades no involucran a los estudiantes a nivel cognitivo ni intelectual.

Debido a lo anterior se replantea la práctica experimental de equilibrios heterogéneos hacia un enfoque de indagación, la cual tiene como propósito desarrollar habilidades de pensamiento científico, las cuales son fundamentales para la ciencia. En este estilo de enseñanza, el alumno es capaz de plantear preguntas e hipótesis a partir de las cuales puede generar una metodología experimental para resolver un problema; posteriormente, analizar resultados y compartirlos con sus compañeros permitiendo el intercambio de ideas. De manera general, el alumno es el protagonista de su propio aprendizaje y construye el conocimiento mediante actividades significativas.

Si bien el contar con laboratorios permite a los estudiantes trabajar en un ambiente adecuado para la experimentación; el uso del laboratorio quedó fuera del alcance debido al tipo de enseñanza a distancia que se implementó en la Facultad de Química de la UNAM como consecuencia de la pandemia de COVID-19, por lo

que toda la implementación del trabajo se realizó vía remota, manteniendo comunicación con los alumnos por medio de video llamada.

En el presente trabajo, se utiliza como formato de evaluación el diagrama heurístico, por lo que las habilidades que se evalúan en los alumnos son: elaboración de preguntas de indagación e hipótesis, diseño de una metodología experimental, análisis de resultados, conclusiones, y respuestas a las preguntas de indagación. Todos estos puntos se ligan para evaluar el grado de desarrollo de estas habilidades.

Marco Teórico

2.1. Los laboratorios en la enseñanza de la ciencia

Desde el siglo XIX, cuando las escuelas comenzaron a enseñar ciencias de forma sistemática, el laboratorio se convirtió en una característica distintiva de la educación científica. Las actividades realizadas en los laboratorios han tenido durante mucho tiempo un papel distintivo y central en la ciencia como un medio para dar sentido al mundo natural y desarrollar en los estudiantes habilidades prácticas y habilidades en la resolución de problemas (Hofstein, 2017).

Con la conclusión de la primera guerra mundial, y con el rápido aumento del conocimiento científico, el laboratorio se utilizó principalmente como un medio para confirmar e ilustrar la información aprendida del profesor o de los libros de texto, (lo que se conoce como un enfoque tradicional). Este tipo de enseñanza se mantuvo sin cambios en las escuelas hasta las reformas educativas de 1960 en Estados Unidos, donde John Dewey líder del movimiento de educación progresista abogó por un enfoque de investigación y “aprender haciendo”. En estos nuevos planes de estudio el laboratorio se convirtió en el núcleo del proceso de aprendizaje de las ciencias involucrando a los estudiantes con investigaciones científicas, descubrimientos, y actividades de resolución de problemas (Hofstein & Lunetta, 1982).

Después de las reformas en los planes de estudio para involucrar más a los estudiantes en investigaciones científicas, los laboratorios tradicionales siguen teniendo protagonismo en las universidades a pesar de que muchos profesores defienden ideologías de enseñanzas enfocadas en un aprendizaje significativo con más participación del alumno (Hofstein, 2017). Durante décadas, el enfoque tradicional de los laboratorios de química general (la primera experiencia de laboratorio de los estudiantes en la universidad) ha implicado una experiencia pasiva de realizar experimentos "probados y verdaderos". El resultado es que los estudiantes pueden no lograr una comprensión precisa de cómo se adquiere el

conocimiento en ciencias debido al bajo nivel de involucramiento del alumno en el desarrollo del experimento y toma de decisiones (Wheeler et al., 2017).

Por varios años, los educadores de ciencias han sugerido que muchos beneficios se derivan de involucrar a los estudiantes en actividades de laboratorio de ciencias, por ejemplo, Tobin (1990) escribió que: “Las actividades de laboratorio son una forma de permitir a los estudiantes adquirir conocimiento significativo y al mismo tiempo involucrarse en el proceso de construcción del conocimiento haciendo ciencia”. El aprendizaje de los estudiantes es notable siempre y cuando se le permita tener más protagonismo en el diseño de los experimentos e involucrarse en un proceso de investigación científica.

Sin embargo, el alumnado tiene una percepción distinta del propósito del laboratorio y los beneficios que éste tiene en su desarrollo académico. Un estudio con relación a la visión de los alumnos sobre el propósito y función de los laboratorios de ciencias concluyó que los estudiantes, de este estudio, indicaron que el único objetivo que perciben para el laboratorio es completar las actividades, pero sin mencionar ninguna integración de la comprensión teórica como un objetivo percibido. Al concluir que el propósito del laboratorio es realizar solamente procedimientos y no adquirir conocimientos, los estudiantes están describiendo sus perspectivas de las demandas de aprendizaje que se les imponen para el curso (Russell & Weaver, 2008). Las prácticas de laboratorio deben brindar a los estudiantes la posibilidad de entender cómo se construye el conocimiento dentro de una comunidad científica, cómo trabajan los científicos, cómo se llegan a acuerdos y cómo se reconocen los desacuerdos, qué valores mueven a la ciencia, y cómo se relaciona la ciencia con la sociedad y la cultura, promoviendo el pensamiento científico (Rua & Alzate, 2012).

Para el constructivismo, el conocimiento no se puede transmitir directamente de una persona a otra. En cambio, la construcción del conocimiento se produce a través del pensamiento activo del alumno (Schmidt & Bogner, 2015). Por lo tanto, desde un punto de vista constructivista, la actividad experimental cumple un papel importante dentro del proceso enseñanza–aprendizaje, si se dirige de manera

consciente e intencionada a lograr que las ideas previas de los estudiantes evolucionen a conceptos más elaborados y cercanos a los científicos (Rua & Alzate, 2012). Según Caamaño (2003), lo fundamental en las ciencias son las teorías y éstas se obtienen a partir de una conexión entre el modelo teórico y el dominio de los fenómenos. Para poder enseñar dichas teorías es imprescindible disponer de un “mundo” apropiado e intervenir en él de forma consciente y reflexiva, por estos motivos se necesitan los trabajos prácticos. Para entender la importancia de los trabajos prácticos, Caamaño (2003) presenta las siguientes razones:

<ul style="list-style-type: none"> ● Motivan al alumnado ● Permiten un conocimiento vivencial de muchos fenómenos. ● Permiten ilustrar la relación entre variables significativas en la interpretación de un fenómeno ● Pueden ayudar a la comprensión de conceptos. ● Permiten realizar experimentos para contrastar hipótesis emitidas en la elaboración de un modelo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Proporcionan experiencia en el manejo de instrumentos de medida y en el uso de técnicas de laboratorio y de campo. ● Permiten acercarse a la metodología y los procedimientos propios de la indagación científica. ● Constituyen una oportunidad para el trabajo en equipo y el desarrollo de actitudes y la aplicación de normas propias del trabajo experimental: planificación, orden limpieza, seguridad, etc.
--	--

Tabla 2.1 Importancia de los trabajos prácticos según Caamaño (2013).

Por otro lado, la experiencia y los resultados de diversas investigaciones muestran que no siempre los trabajos prácticos son efectivos, es decir no siempre se consiguen los resultados esperados. Gran parte de sus insuficiencias se atribuyen al carácter cerrado con que se plantean, es decir, a su presentación como un conjunto de instrucciones que los estudiantes deben seguir, sin darles tiempo ni ocasión para que aprecien cuál es el objetivo que persigue la tarea propuesta y qué resultados se pueden obtener, esto debido a que las actividades se ejecutan bajo perspectivas de enseñanza distintas (Caamaño, 2003).

2.2. El aprendizaje basado en indagación

La indagación es un proceso que se da en el pensamiento humano desde las primeras etapas de su desarrollo. Puede ser entendida como la habilidad para hacer

preguntas, habilidad que tiene su origen en las necesidades del ser humano, el cual se convierte en un medio o instrumento para comprender y aprehender el objeto de estudio (Camacho et al., 2008). La inclusión de la indagación en el currículo de ciencias fue recomendada por John Dewey en 1910, en respuesta a que el aprendizaje de la ciencia tenía un énfasis en la acumulación de información en lugar del desarrollo de actitudes y habilidades necesarias para la ciencia (Garritz, 2010). Desde entonces una diversidad de educadores e investigadores lo han utilizado, sin embargo, no existe una definición clara de lo que es indagación y tampoco se ha alcanzado un acuerdo sobre cómo definirla (Barrow 2006). En 1996, el National Research Council sugirió la siguiente definición para indagación (NRC, 1996: 23)

La indagación científica se refiere a las diversas formas en que los científicos estudian el mundo natural y proponen explicaciones basadas en la evidencia derivada de su trabajo. La indagación también se refiere a las actividades de los estudiantes en las que desarrollan el conocimiento y la comprensión de las ideas científicas, así como la comprensión de cómo los científicos estudian el mundo natural.

La indagación es una actividad multifacética que implica realizar observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver lo que ya se sabe; planificar investigaciones; revisar lo que ya se conoce a la luz de la evidencia experimental; usar herramientas para recopilar, analizar e interpretar datos; proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados (NRC, 1996: 23). Colburn (2000) confirma que lo más confuso acerca de la indagación es su definición, ya que el término se usa para describir ambos factores, “enseñanza y hacer ciencia”. Para este autor, la enseñanza basada en indagación es la creación de un aula donde los estudiantes participan en actividades prácticas, esencialmente abiertas, centradas en el estudiante. Fernández (2018) sostiene que la indagación hace referencia a las actividades que realizan los estudiantes para que adquieran conocimiento y comprensión de las ideas científicas; es un proceso intencional para diagnosticar problemas, criticar los experimentos, promover alternativas, planificar las investigaciones, buscar

información, construir modelos, debatir con los compañeros y formar argumentos coherentes.

En este sentido, los estudiantes que se comprometen en la indagación pueden describir objetos y fenómenos, elaborar preguntas, manipular equipos, construir y probar explicaciones, obtener evidencias y comunicarlas a otro; para lo cual identifican sus propuestas utilizando el pensamiento crítico, pero también considerando explicaciones alternativas lo que les permite desarrollar en forma activa su comprensión de la ciencia, combinando el conocimiento científico con habilidades y competencias de razonamiento (García, Quesada, Gallego, 2019: citado por Mariños Castillo & Apolaya Sotelo, 2021). Por lo tanto, la aplicación de un laboratorio enfocado en indagación que se planifica y realiza adecuadamente puede brindar a los estudiantes la oportunidad de practicar habilidades cognitivas de alto nivel las cuales se consideran importantes para la educación científica.

Daniel Domin (1999), retomó teorías pedagógicas de mediados del siglo XX para presentar en una escala las habilidades cognitivas empleadas por los alumnos en virtud de la demanda intelectual que representan (Balderrama, 2019). Dichas habilidades se explican en la tabla 2.2.1.

Tabla 2.2.1. Escala de habilidades cognitivas que emplean los estudiantes (Domin 1990)

Habilidad cognitiva	Definición	Situación en que se aplica
Conocimiento	Recordar los conceptos aprendidos previamente	Definir un concepto, identificar un objeto, indicar los pasos de un procedimiento.
Comprensión	Retener el significado de los conceptos	Explicar un concepto, interpretar una gráfica
Aplicación	Utilizar los nuevos conceptos en situaciones concretas	Resolver un problema, construir una gráfica, utilizar el concepto en una situación nueva
Análisis	Descomponer el concepto en sus componentes	Identificar información relevante, detectar inconsistencias, establecer relaciones entre los conceptos
Síntesis	Unir las partes para formar un nuevo concepto	Formular hipótesis, proponer un procedimiento experimental, plantear alternativas
Evaluación	Definir la calidad a partir de criterios definidos	Determinar el valor de los resultados experimentales, justificar conclusiones

Las habilidades presentadas en la tabla 2.2.1 pueden ser divididas en dos grupos, en primer lugar, las de bajo orden cognitivo, compuestas por conocimiento, comprensión y aplicación. Por el contrario, el análisis, la síntesis y la evaluación son consideradas habilidades de alto orden cognitivo (Domin, 1996: Balderrama, 2019), habilidades que son necesarias para el desarrollo de clases basadas en indagación.

El National Research Council, a fin de garantizar que las actividades que se desarrollan en una clase de laboratorio con enfoque de indagación efectivamente promuevan en los alumnos el desarrollo de habilidades de alto orden cognitivo, ha identificado una serie de etapas que deben formar parte de una clase basada en indagación. (NRC, 1996)

1. Identificar preguntas y conceptos que guíen las investigaciones (los estudiantes formulan una hipótesis probable y un diseño experimental apropiado para ser utilizado);
2. Diseñar y conducir investigaciones científicas (con el empleo de conceptos claros y bien definidos, el equipo apropiado, precauciones de seguridad, empleo de tecnologías, etc. los estudiantes deben buscar pruebas, aplicar la

lógica poner a prueba sus hipótesis y construir un argumento para las explicaciones propuestas);

3. Utilizar las tecnologías más apropiadas y la matemática para mejorar las investigaciones y su comunicación;
4. Formular y revisar las explicaciones y modelos científicos mediante el empleo de la lógica y las pruebas científicas (la indagación estudiantil debería resultar en una explicación o un modelo plausible o científico);
5. Reconocer y analizar explicaciones y modelos alternativos (revisar el entendimiento científico actual y reunir pruebas para determinar cuáles explicaciones del modelo son las mejores);
6. Comunicar y defender un argumento científico (los estudiantes deben refinar sus habilidades y reunir presentaciones orales y por escrito que involucren las respuestas a los comentarios críticos de sus pares).

Promover actividades con un enfoque de indagación, promoverá una mejor comprensión de conceptos utilizados por parte de los alumnos, ya que las actividades que se realizan en la clase, y que los ayudan en la construcción del conocimiento, son de origen científico (Andrini, 2016). Al comenzar a implementar la indagación en los trabajos prácticos puede existir discrepancia respecto al tipo de indagación que se utilice, debido a esto se han propuesto distintas clasificaciones de las actividades de indagación, a continuación, se presentan algunas encontradas en la literatura (Buck, 2008).

La primera rúbrica en recibir un amplio reconocimiento por la caracterización de la indagación en los manuales de laboratorio fue presentada por Schwab (1962) y Herron (1971) la cual se divide en tres componentes de importancia, la pregunta, el desarrollo de la investigación, y la respuesta encontrada. El nivel de apertura en este modelo se basa en quien tiene el protagonismo en cada uno de los componentes de la actividad.

Tabla 2.2.2. Clasificación de los trabajos prácticos según Herron

Nivel cero	Se les da la pregunta, el método y la respuesta.
Nivel uno	Se da la pregunta y el método, y el estudiante tiene que hallar la respuesta.
Nivel dos	Se da la pregunta y el estudiante tiene que encontrar un método y una respuesta.
Nivel tres	Se le indica un fenómeno y tiene que formular una pregunta adecuada y encontrar un método y una respuesta a la pregunta.

Hegarty Hazel (1986) elaboraron aún más la escala para dividir el nivel 2 en los niveles 2a y 2b para aumentar la discriminación entre los niveles de apertura de modo que las actividades de laboratorio pueden ser clasificadas de acuerdo si el profesor asigna el problema, aparatos a utilizar, procedimiento a seguir y la respuesta esperada, o se requiere que los estudiantes tomen estas decisiones por sí mismos. (Staer et al., 1998) Tabla 2.2.3.

Tabla 2.2.3. Niveles de apertura de las actividades de laboratorio basadas en indagación (según Hergarty–Hazel 1986)

Nivel	Problema	Aparatos	Procedimiento	Respuesta	Nombre común
0	Profesor	Profesor	Profesor	Profesor	Verificación
1	Profesor	Profesor	Profesor	Alumno	Guiada
2a	Profesor	Profesor	Alumno	Alumno	Semiguiada
2b	Profesor	Alumno	Alumno	Alumno	Semiguiada
3	Alumno	Alumno	Alumno	Alumno	Abierta

Una clasificación más elaborada es presentada por Buck (2008) en la cual se consideró el nivel de indagación en los laboratorios evaluándolos a partir de seis elementos que conforman las investigaciones: la pregunta o problema, teoría o investigación previa, metodología, análisis de resultados, comunicación de resultados, y conclusiones. Donde el nivel cero corresponde a actividades de confirmación en las cuales los seis elementos son proporcionados al alumno. Y el nivel 3 en el cual todos los elementos son diseñados por el alumno (Buck et al., 2008). A continuación, se presenta dicha clasificación:

Tabla 2.2.4. Clasificación de la indagación según su apertura (Buck 2008)

Elemento	Nivel 0: confirmación	Nivel 1/2: indagación estructurada	Nivel 1: indagación guiada	Nivel 2: indagación abierta	Nivel 3: indagación auténtica
Problema/pregunta	Profesor	Profesor	Profesor	Profesor	Alumno
Teoría/antecedentes	Profesor	Profesor	Profesor	Profesor	Alumno
Metodología	Profesor	Profesor	Profesor	Alumno	Alumno
Análisis de resultados	Profesor	Profesor	Alumno	Alumno	Alumno
Comunicación de resultados	Profesor	Alumno	Alumno	Alumno	Alumno
conclusiones	Profesor	Alumno	Alumno	Alumno	Alumno

En estas categorizaciones las prácticas tradicionales corresponden con los niveles cero y uno, niveles que están enfocados a la adquisición de ciertas destrezas y habilidades por parte de los estudiantes, además de la comprobación de teorías vistas en el aula, descartando la posibilidad de usar el laboratorio como una herramienta valiosa para el planteamiento de preguntas y desarrollo de investigaciones. Por este motivo se busca realizar trabajos prácticos con un mayor nivel cognitivo, como las investigaciones. Según Lock (1990) (citado por Caamaño 2003) el grado de apertura de una investigación está en función de quién tenga el control sobre cada una de las etapas de dicha investigación.

Tabla 2.2.5. Grado de apertura de una investigación según Lock (1990)

Etapas	Grado de apertura de una investigación					
	1	2	3	4	5	6
Área de interés	P	P	P	P	P	A
Establecimiento del problema	P	P	P	P	A	A
Planificación	P	A	A	A	A	A
Determinación de la estrategia	P	P	A	A	A	A
Realización	A	A	A	A	A	A
Interpretación de los resultados	P/A	P/A	P/A	A	A	A

Las actividades basadas en indagación se consideran una herramienta muy beneficiosa para el aprendizaje del alumnado, tanto en contenidos y destrezas científicas como en el entendimiento de la ciencia. Existen numerosos estudios que demuestran que la indagación científica es la mejor manera de enseñar y aprender

ciencias; al hacer ciencia, los estudiantes aprenden mejor los conocimientos científicos; se evidencia que el uso de este enfoque promueve la capacidad de pensar, argumentar con evidencias; ayuda a la comprensión de las ideas científicas, especialmente cuando se busca profundizar en el tema (Florez–Nisperuza & De la Ossa Albis, 2018). Yildirim (2014) mostró que la instrucción basada en la indagación científica afectó las habilidades del proceso científico y mejoró el rendimiento académico mejor que el método tradicional. Además, los estudiantes en el proceso informaron que participaron con más entusiasmo y que la lección fue divertida para ellos (Utami & Sundari, 2019). Bopegedera y Coughenour, (2021) notaron que la implementación de un laboratorio, basado en indagación usado en el análisis de aguas, aumentó el interés en los alumnos hacia las ciencias, haciendo que varios de ellos se inscribieran en cursos de cálculo en sus cuatrimestres posteriores. Lo que se atribuye al modelo utilizado en la práctica, el cual usaba conceptos ya vistos en cálculo dándoles un uso además del visto en el aula.

No sólo en el ámbito emocional el uso de la enseñanza enfocada en indagación ha tenido resultados positivos. Schmidt & Bogner (2015) en un estudio a 138 estudiantes sometidos a prácticas experimentales basadas en un modelo de indagación mostraron una mayor retención de los conocimientos hasta 12 semanas después de realizado el estudio. Vanags (2013), no sólo confirmó que el uso de estrategias basadas en la indagación favorece una mayor retención del conocimiento, encontró que dicha afirmación se cumple independientemente de la experiencia docente siempre y cuando se tenga una buena estructura en el manual del laboratorio.

2.3. Enseñanza del equilibrio químico en el laboratorio

El desarrollo histórico del equilibrio químico se ha descrito en varias publicaciones (Berger, 1997; Laidler, 1985; Lindauer, 1962; Lund, 1965, 1968). El concepto de equilibrio químico se introdujo en la década de 1960 en el contexto de estudios empíricos de conversiones químicas incompletas y reversibles (Driel & Gräber, 2003). La complejidad en la enseñanza del equilibrio químico según Tyson (1999) tiene sus bases en el nivel de explicación que se le da a los alumnos sobre

el equilibrio químico. Los niveles existentes en la explicación inicial con el principio de Le Chatelier, una regla que es la primera aproximación de los estudiantes al entendimiento del equilibrio químico. Posteriormente se habla de la ley de acción de masas y el entendimiento de los cocientes de reacción, una explicación más compleja y de mayor grado de aplicación.

Sin embargo, una mayoría de profesores indican que prefieren enseñar el equilibrio químico mediante el principio de Le Chatelier debido a que es más fácil de explicar, es una regla directa, y no tiene gran complejidad para los alumnos (Tyson 1999). La aplicación del principio de Le Chatelier como única explicación del fenómeno del equilibrio químico tiene repercusiones en el aprendizaje significativo de los alumnos. Se ha encontrado que muchas veces los estudiantes sólo memorizan el principio e intentan aplicarlo sin haberlo entendido. Al ser un modelo de enseñanza tan criticado por las limitantes que presenta, no es extraño que más educadores se hayan interesado por la enseñanza mediante cocientes de reacción; la cual, aunque presente un nivel de dificultad mayor, permite a los alumnos un mejor entendimiento en la resolución de problemas. Sin embargo, cambiar el tipo de enseñanza no es una tarea simple. Quilez–Pardo & Solaz–Portolés (1995) (citado por Tyson 1999) estudiaron cómo los estudiantes españoles del primer año de universidad resolvían problemas sobre cambios en equilibrios homogéneos y heterogéneos. Encontraron que los estudiantes en general muestran resistencia al uso e interpretación de expresiones matemáticas, uso de la ley de acción de masas o cocientes de reacción. A su vez intentaban resolver las problemáticas aplicando el principio de Le Chatelier el cual los dirigía a resultados erróneos. Un estudio realizado por Özmen, (2008) determinó que sólo del 22 al 44 % de los estudiantes que cursaban el segundo semestre de química lograron tener un entendimiento correcto del equilibrio químico, sus resultados muestran deficiencias en el entendimiento de la dinámica de los equilibrios y errores en la aplicación del principio de Le Chatelier.

Debido a que el equilibrio químico tiene un contenido intelectual bastante específico no debemos de simplificar la explicación, ni simplemente dar reglas para

su comprensión en el laboratorio o el salón de clases. Y a pesar de la resistencia de los alumnos al uso de modelos matemáticos en la explicación del equilibrio químico y el hábito en la aplicación del principio de Le Chatelier, se debe proveer a los estudiantes con oportunidades de desarrollar concepciones adecuadas y más importantes en el dominio del equilibrio químico. No sólo eso, el desarrollar las habilidades cognitivas de los estudiantes en el área de la resolución de problemas con el uso del cociente de reacción y el entendimiento de la ley de acción de masas, ayuda a que se eviten los errores más comunes cuando se aplican reglas directas sobre ciertas problemáticas (Tyson 1999).

2.4. Beneficios de la implementación de trabajos prácticos basados en indagación

El dotar al alumnado con el ambiente adecuado para desarrollar habilidades en la resolución de problemas y lograr un mejor entendimiento del equilibrio químico tiene una barrera institucional y académica debido a la forma tradicional que se aborda el equilibrio químico en los laboratorios (Pozuelos, 2010). Para Cessna et al. (2009), una forma exitosa de promover el aprendizaje de conceptos científicos difíciles es proporcionar actividades que involucren completamente a los estudiantes en el aprendizaje, particularmente enseñando conceptos científicos dentro de un contexto del “mundo real” que se basa en que los estudiantes usen esos conceptos para resolver un problema. Las prácticas de equilibrio químico basado en investigaciones guiadas realizadas por Pamenang (2020) muestran cómo los estudiantes tienen la libertad de hacer y compilar sus propios procedimientos experimentales. A través de estas prácticas, los estudiantes no sólo se capacitan en habilidades y destrezas para realizar procedimientos experimentales, sino que también buscan conceptos y significados, además de construir conocimiento individual basado en la experiencia de su entorno.

Un estudio realizado por Awalin & Ismono (2021), en el cual se aplicó un modelo de indagación para la enseñanza del equilibrio químico, tuvo una gran aceptación por parte del alumnado, a pesar de que los alumnos mostraron dificultades debido al cambio de un sistema tradicional a uno basado en indagación,

dicho cambio tuvo una aceptación del 83 % entre los alumnos, y se determinó que el 90.5 % de las actividades realizadas durante la práctica fueron significativas. Además, se observó una mejora en la adquisición de conocimientos, este tipo de enseñanza trae consigo mejoras en el dominio cognitivo de los alumnos.

Diversos autores (Bopegedera, 2020; Kardena, 2021; Ismono, 2021) han reportado resultados en los que se concluye que al proporcionar a los estudiantes un ambiente adecuado donde puedan desarrollar habilidades en la resolución de problemas trae mejoras en la adquisición de conocimiento, además de una mejora en las habilidades cognitivas.

Sin embargo, algunas veces el proporcionar un ambiente adecuado para los alumnos se pueden presentar dificultades, que se salgan del control del docente, por ejemplo la pandemia de Covid-19, la cual considero causó estragos en muchos sectores de la población, uno de ellos fue el educativo, y como otros países a nivel mundial, México cambió su sistema de educación presencial por uno en línea, mediante el uso de plataformas de video-llamadas, para el trabajo síncrono, y de plataformas educativas de almacenamiento para el trabajo asíncrono; esto sin duda se convirtió en un reto para las áreas de la ciencia que requieren el uso de los laboratorios para proveer a los alumnos de un ambiente de experimentación

A pesar de las limitantes existentes, al no contar con laboratorios, se han realizado investigaciones sobre la implementación de modelos virtuales basados en investigaciones para llevar a cabo prácticas de laboratorio, uno de ellos presentado por Nirmala & Darmawati (2021), el cual demostró una buena efectividad en la aplicación de prácticas de laboratorio virtuales basadas en resolución de problemas e investigaciones. Este tipo de prácticas a pesar de llevarse a cabo de manera remota demostraron gran aceptación por parte del alumnado, y tuvo un gran resultado en la mejora de las habilidades de pensamiento científico en los alumnos, y una gran mejora en la adquisición de conocimientos.

Como se puede observar con los resultados de diversos autores, (Kardena, 2021; Ismono, 2021; Nirmala, 2021) la aplicación de modelos de enseñanza

basados en investigaciones, o resolución de problemas, tiene grandes beneficios en el entendimiento del equilibrio químico, un concepto de la química que durante muchos años ha presentado problema entre los estudiantes a nivel preparatoria y universidad, debido a esto, se toma toda la información recabada para implementar una metodología de trabajo fundamentada en la resolución de problemas, esto con el propósito de incorporar al alumnado en los problemas que se presentan en la sociedad donde vive, y de esta manera se puedan desarrollar una mejora en el entendimiento del equilibrio químico y proveer habilidades cognitivas en la resolución de problemas.

Dado lo anterior los objetivos que se proponen son:

Demostrar que es posible desarrollar trabajo experimental en casa con un enfoque de indagación.

Evaluar cómo una práctica sustentada, bajo un enfoque de indagación, permite el desarrollo de habilidades de pensamiento científico en el alumno.

Hacer uso del diagrama heurístico para coleccionar información relacionada con el desarrollo de dichas habilidades.

Metodología del trabajo:

El presente estudio se realizó en un grupo de laboratorio de Química General II, el cual cursan los estudiantes de segundo semestre en la Facultad de Química de la UNAM.

El trabajo se implementó durante el semestre 2022–1, entre los meses de agosto a diciembre, del 2021. Fue aplicado a un grupo de 18 alumnos, los cuales trabajaron en equipos de 2 a 4 integrantes. Es importante mencionar que debido a la pandemia de COVID–19 el curso de laboratorio fue completamente en una modalidad a distancia, por lo que la implementación de la propuesta de práctica se realizó sin utilizar las instalaciones de la facultad, y la obtención de los materiales y reactivos, quedó en la responsabilidad de los alumnos.

Es importante que el lector conozca que la práctica fue planteada inicialmente para llevarse a cabo en el laboratorio, el que se haya planteado de esta manera fue debido al optimismo con el que se analizaba el regreso a clases presenciales y el regreso escalonado a los laboratorios. Sin embargo, al no conseguir regresar a las aulas, la práctica sufrió cambios para adaptarse lo mejor posible a la situación individual de cada alumno. En el anexo A se presenta la propuesta de práctica inicial y se indican las correcciones que sufrió al momento de ser implementada.

Los alumnos en primera instancia realizaron una investigación previa de conceptos necesarios para comprender la problemática planteada. Dicha investigación previa se presenta en el anexo B, y se ejemplifica la investigación realizada por un alumno. Es importante destacar que la investigación se realizó de manera individual entre los alumnos por lo que existe disparidad entre el grado de investigación que se da en cada punto.

Una vez cubiertos los fundamentos teóricos sobre el tema de equilibrios de solubilidad se presentó la propuesta de práctica (Anexo A). Los estudiantes analizaron la problemática planteada e iniciaron con identificar el fenómeno de interés a estudiar para posteriormente elaborar las preguntas de indagación (se

presentan en el capítulo IV) que servirían para conducir la experimentación, de igual manera se plantearon las hipótesis iniciales que servirían como guía para conducir la investigación.

Una vez teniendo claro el fenómeno de interés (la precipitación química de iones metálicos en disolución) y las preguntas de indagación, se prosiguió a elaborar el diagrama de flujo o metodología, dicho diagrama fue realizado en equipo, de manera que los equipos mediante una discusión formularon una metodología final para trabajar. A pesar de que los alumnos ya estaban familiarizados con este tipo de trabajo en el que tuviesen que plantear un diagrama de flujo, no estuvo exento de la aparición de errores, los cuales fueron comentados a los equipos. En el momento que se aprobó la metodología los equipos comenzaron la experimentación. Debido a la modalidad a distancia, era difícil tener una comunicación adecuada con los alumnos durante las sesiones experimentales.

Al concluir la sesión experimental realizada por los alumnos y habiendo recabado los datos necesarios, los equipos generaron sus respectivos análisis, conclusiones y dieron respuestas a sus preguntas iniciales. Además, elaboraron presentaciones donde se reportaron mediante fotos, todas las observaciones y resultados que obtuvieron.

Como ya se mencionó antes, debido a la situación de salud en el país, se tuvieron limitantes al momento de realizar la experimentación. Desde los materiales y reactivos que cada equipo pudo conseguir, hasta el asesoramiento en tiempo real que los alumnos pudiesen necesitar durante la experimentación. A pesar de los inconvenientes que se presentaron, los alumnos entregaron resultados, los cuales se presentan en el capítulo siguiente, toda la información que se mostrará en el siguiente capítulo fue recabada a partir del diagrama heurístico, herramienta que utilizaron para elaborar sus informes. En el anexo C, se presenta la estructura del diagrama heurístico utilizado en este trabajo.

Presentación y Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados del trabajo realizado por 18 alumnos que cursaron el laboratorio de Química General II durante el semestre 2022–1. Es importante hacer mención que los resultados mostrados se extrajeron del diagrama heurístico, herramienta que se utilizó para realizar la evaluación de las prácticas científicas, así como elementos específicos relacionados con el desarrollo de la práctica, entre los que se encuentran: elaboración de preguntas e hipótesis, el procedimiento experimental planteado por los alumnos, análisis de resultados, conclusiones, y respuestas a las preguntas iniciales.

Los resultados que se presentan son aquellos relacionados directamente con el desarrollo del trabajo experimental, dejando de lado la investigación de antecedentes que cada alumno realizó previo a efectuar el trabajo de indagación. Se decide dejar fuera del análisis de resultados la investigación previa debido a que los conceptos a investigar se integran de forma individual al conocimiento con el que cada alumno ingresa al laboratorio y es excluyente a los resultados obtenidos en la implementación de un trabajo de indagación.

Durante el semestre se trabajó en equipos de 2 a 3 integrantes, debido a esto los resultados que se mostrarán son la consecuencia de un trabajo colaborativo entre los integrantes de cada equipo. Además, es preciso señalar que toda la información escrita en las tablas de resultados no se sometió a ninguna modificación de redacción por parte del autor, las únicas modificaciones realizadas fueron aquellas relacionadas con la puntuación, y errores ortográficos que los alumnos tuvieron al escribir. La decisión de no modificar la redacción es para mostrar al lector una imagen real del trabajo de los alumnos.

Siguiendo el orden antes mencionado del diagrama heurístico, a continuación, se presentan los resultados relacionados a las preguntas planteadas por los equipos para comenzar con la elaboración de su plan de trabajo.

4.1. Análisis de preguntas

En la tabla 4.1, que se presenta a continuación, se aglomeran las preguntas realizadas por cada equipo. Como se puede observar existe disparidad en la cantidad de preguntas elaboradas por cada equipo, esto debido a que no se solicitó un número específico de preguntas para realizar el trabajo. A pesar de ello, los estudiantes pueden plantear las que consideren apropiadas, teniendo como objetivo que las preguntas planteadas conduzcan a la realización de un experimento para contestarlas.

Tabla 4.1. Preguntas elaboradas por cada equipo

Equipo	Pregunta(s)
1	¿Se pueden separar una disolución que contiene diferentes metales?
3	De acuerdo con la solubilidad del hierro (III), del cobre (II) y del aluminio (III) ¿Cómo y cuál de estos precipita primero y a qué concentración?
5	¿Cuál de las tres sustancias precipita primero?
	¿Cuáles son los iones que están presentes en la muestra problema?
6	¿Será posible separar estos metales por medio de la precipitación?
	¿Los metales precipitarán al mismo tiempo o lo harán en distinto orden?
	¿Cuál precipitará primero?
	¿Hay alguna excepción?
8	¿Qué factores pueden influir en los resultados?
	¿Qué es la precipitación fraccionada?
	¿Cómo afecta el producto de solubilidad a la solubilidad?
9	¿Cuáles son los factores que afectan la solubilidad?
	¿Podré separar cada uno de los componentes?
	¿Qué metal podré separar primero?
	¿Por qué un metal se precipita primero que otro y de qué depende?
10	¿Cuáles son las reacciones químicas de interés?
	¿Qué precipitado se formará primero?
	¿A qué se debe esto?
	¿Es un buen método de separación la precipitación fraccionada para este problema?

Debido a lo anterior las preguntas se evalúan según su grado de apertura, las cuales según la clasificación de Chamizo & Izquierdo (2007) pueden catalogarse en 3 tipos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4.1.2. Grados de apertura en una pregunta, según Chamizo (2018).

Preguntas cerradas	Preguntas semicerradas	Preguntas abiertas
Se contestan en una o dos palabras y la respuesta está en una determinada página de un libro	La pregunta requiere una o dos oraciones para contestarla. La respuesta no está en cualquier libro, pero puede ser encontrada extendiendo el material	La pregunta requiere para ser contestada al menos, un párrafo, la respuesta no está en un solo libro.

Tomando como base la clasificación anterior es posible evaluar cada pregunta asignándole la denominación de: Cerrada, semicerrada o abierta. En la tabla 4.1.3 se muestra la clasificación (según esta categorización) de las preguntas elaboradas por los alumnos según su grado de apertura.

Tabla 4.1.3. Clasificación de las preguntas según su grado de apertura.

Grado de apertura	Número de preguntas (%)
Cerradas	4 (21.05)
Semicerradas	8 (42.10)
Abiertas	7 (36.84)

Al revisar los resultados se observa que un error se torna recurrente en la redacción de las preguntas, un error relacionado con el mal uso del lenguaje, como se puede observar en las preguntas planteadas por los equipos 1, 6 y 9, los cuales utilizan el término “metal” para referirse a los iones metálicos disueltos en disolución, este tipo de errores pueden estar relacionados con deficiencias en la investigación previa, y pueden ser corregidos mediante una discusión más extensa y relacionada con el lenguaje químico, sin embargo, este tipo de errores pueden persistir si no se realiza una mejora continua durante la formación académica de los estudiantes.

A pesar de haber presentado errores en el lenguaje, es importante evaluar cómo estas preguntas se clasifican dentro de la categorización de Chamizo (2018). Como se puede observar se plantean pocas preguntas cerradas, las cuales sólo representan un 21 % del total de preguntas realizadas, seguido por las preguntas abiertas, las cuales tienen una presencia del 36 %, y finalizando con un alto porcentaje de preguntas semicerradas, representando el 42 % del total de preguntas presentadas por los equipos. El haber tenido bajo porcentaje de

preguntas del tipo cerradas y no abiertas es alentador para este tipo de prácticas basadas en indagación. Es importante mencionar que para el momento que los alumnos realizaron esta práctica ya habían realizado 5 prácticas más con un enfoque de indagación, si bien podemos decir que no es suficiente para lograr un completo desarrollo de esta habilidad, en algunos casos se logró el objetivo de formular preguntas que condujeran a la realización de una experimentación para contestarlas.

El contraste entre la diversidad de preguntas se observa entre los equipos 6 y 8, donde el equipo 6 realizó preguntas que podemos considerar como abiertas, las cuales conducen a la elaboración de un procedimiento experimental para poder resolverlas. Por el contrario, el equipo 8 realiza preguntas del tipo cerradas. Las cuales son preguntas completamente conceptuales, cuya respuesta se encuentra fácilmente en los libros de texto. La diversidad en el grado de apertura de las preguntas elaboradas por los equipos es debido a diversos factores individuales de los integrantes de los equipos, se pueden considerar los antecedentes académicos relacionados al entendimiento de la química, el interés hacia la actividad (principalmente considerando que se realizó vía remota y no en las instalaciones adecuadas de un laboratorio de ciencias), y los precedentes enfoques de enseñanza–aprendizaje a los cuales se sometió en su desarrollo académico, ya que como lo indica Chamizo (2007):

La sociedad en que viven día a día la comunidad científica, los docentes y el alumnado determina o limita el tipo de preguntas que se hacen o que puede responder (...) las preguntas que la comunidad científica, los docentes y el alumnado se hacen corresponden a las que tradicionalmente las sociedades o las escuelas aceptan (p. 13).

Si bien la elaboración de preguntas es uno de los pilares fundamentales dentro de la indagación, no es una habilidad que se desarrolla de manera sencilla en los estudiantes que se adentran en este tipo de prácticas. Como lo indica Lombard & Schneider (2013), la elaboración de preguntas es una habilidad que conduce de lo vago a lo complejo y adecuado, sin embargo, muchas veces para

que esto suceda debe pasar mucho tiempo en una mejora constante de la relación de enseñanza–aprendizaje entre el profesor y el alumno. A pesar de la disparidad en los resultados es ideal distinguir la presencia de preguntas de un alto orden cognitivo en las que fuese necesario realizar una experimentación para llegar a una respuesta. Si bien existen distintos factores que pueden obstaculizar el planteamiento de mejores preguntas, es alentador tener presencia de preguntas abiertas, ya que nos permite pensar que una implementación temprana de este tipo de prácticas en los laboratorios les permitirá a los alumnos desarrollar este tipo de habilidades, las cuales son un pilar fundamental en el desarrollo académico y científico.

4.2. Análisis de respuestas

Retomando las preguntas iniciales que los equipos plantearon, es importante ahora revisar las respuestas que fueron dadas a las preguntas planteadas. En este caso, cada equipo presentó respuestas asociadas a sus respectivas preguntas, por lo que existe una diferencia entre los enunciados elaborados por los alumnos. La discusión se centrará en la estructura de las respuestas, el contenido intelectual y su relación directa con la pregunta inicial. A continuación, se presentan las respuestas elaboradas por los distintos equipos, para tener un mayor entendimiento, se presentan tanto la pregunta inicial como su respectiva respuesta, esto con el motivo de tener un orden y el lector tenga presente la pregunta planteada por cada equipo.

Equipo 1:

Tabla 4.2.1. Respuestas elaboradas por el equipo 1 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
1	¿Se pueden separar una disolución que contiene diferentes metales?	Es posible separar estos compuestos, y para un mejor resultado se deben conocer las cantidades correctas de NaOH agregado para que se formen los precipitados.

La respuesta elaborada por los integrantes del equipo contesta a su pregunta inicial, sin embargo, la respuesta no presenta una explicación detallada de los hechos, a su vez el equipo analiza el procedimiento considerando mejorar la

manipulación de NaOH lo que conduciría a una mejor obtención de los precipitados. Por otro lado, no se presentan las limitantes del método para resolver el problema planteado.

Equipo 3:

Tabla 4.2.2. Respuestas elaboradas por el equipo 3 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
3	De acuerdo con la solubilidad del hierro (III), del cobre (II) y del aluminio (III) ¿Cómo y cuál de estos precipitará primero y a qué concentración?	El Hierro precipita primero, el aluminio y por último el cobre

La respuesta planteada por el equipo 3 responde a su pregunta inicial de manera concisa, sin embargo, carece de una explicación detallada, no se incluyen aspectos teóricos, metodológicos, ni existe una interrelación entre las observaciones y resultados. De igual forma que el equipo 1 no se consideran las limitantes del método en la aplicación del problema actual.

Equipo 5:

Tabla 4.2.3. Respuestas elaboradas por el equipo 5 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
5	¿Cuál de las tres sustancias precipita primero? ¿Cuáles son los iones que están presentes en la muestra problema?	Por una diferencia muy pequeña el reactivo que primero precipita fue el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e inmediatamente después el $\text{Al}(\text{OH})_3$ esto a causa de que el primer reactivo tiene una solubilidad menor que el segundo reactivo.

Las respuestas planteadas por el equipo 5 responden a las preguntas elaboradas al inicio de la actividad. Además, la respuesta realizada se respalda utilizando los conceptos de solubilidad, y de esta forma se relacionan las observaciones con los fundamentos teóricos. Sin embargo, en la respuesta no se consideran aspectos metodológicos relacionados al desempeño del método en la resolución del problema.

Equipo 6:

Tabla 4.2.4. Respuestas elaboradas por el equipo 6 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
--------	----------	-----------

6	¿Será posible separar estos metales por medio de la precipitación?	Si es posible separar los metales presentes en la disolución, esto mediante la formación de hidróxidos y la filtración de los mismos una vez aparezcan en la disolución.
	¿Los metales precipitarán al mismo tiempo o lo harán en distinto orden?	El orden en el que aparecerán cada uno de los precipitados es de acuerdo con su K_{ps} y la solubilidad molar, a menor K_{ps} , mayor insolubilidad y viceversa
	¿Cuál precipitará primero?	De acuerdo al criterio de K_{ps} , el primer precipitado en aparecer es el del $Fe(OH)_3$, seguido del $Al(OH)_3$ y del $Cu(OH)_2$, sin embargo, experimentalmente, el orden de los últimos dos compuestos fue invertido, debido a la formación de complejos y a la adición de ácido acético para la obtención del $Al(OH)_3$.
	¿Hay alguna excepción?	
¿Qué factores pueden influir en los resultados?	Uno de los principales factores observados fue la concentración de las disoluciones iniciales, el pH de la disolución y también se le puede atribuir la temperatura y el efecto del ion común.	

El equipo 6 plantea las respuestas correspondientes a las preguntas planteadas inicialmente, las respuestas elaboradas presentan una adecuada correlación entre los aspectos teóricos y metodológicos, los cuales funcionan para explicar los resultados obtenidos por el equipo. A su vez, se plantean las problemáticas que el método presentó durante el procedimiento experimental.

Equipo 8:

Tabla 4.2.5. Respuestas elaboradas por el equipo 8 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
8	¿Qué es la precipitación fraccionada?	Consiste en una disolución en la que se vea involucrada más de una sal disuelta los cuales deben contener un ion común, el método consiste en comparar y obtener las concentraciones de cada especie en disolución de los dos compuestos contenidos, de modo que la disolución esté saturada (esto con respecto al valor de K_{ps}), una vez conocida la concentración del ion común al equilibrio, se utilizará una cantidad mayor de este ion que a la de la concentración calculada del compuesto menos soluble, y menor a la concentración calculada a la del compuesto más soluble.
	¿Cómo afecta el producto de solubilidad a la solubilidad?	Es una constante de equilibrio que describe el producto de las concentraciones molares de los iones que se disuelven en una reacción de precipitación a una temperatura determinada.

	¿Cuáles son los factores que afecta la solubilidad?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ion común: este efecto se describe en una disolución que tenga dos compuestos que comparten el mismo ión, lo que causará un incremento en la concentración de ese ion y por lo tanto el producto iónico que se describe por $Q_o = M^+X^-$ tendrá un valor numérico más grande que K_{ps} y por lo tanto disminuirá la solubilidad de la reacción y por ende habrá más cantidad de precipitado. 2. pH: cuando a una disolución básica agregamos iones OH^-, su pH aumenta lo que genera que disminuya la solubilidad (se desplaza a reactivos) esto es parte del efecto ion común; pero al añadir iones H^+, su pH disminuye y aumenta la solubilidad de la reacción (el equilibrio se desplaza a productos). 3. Temperatura: cuando la temperatura baja disminuirá la solubilidad y habrá mayor formación del precipitado; por el contrario, cuando aumenta la temperatura favorece el movimiento de las moléculas en disolución y aumentará la solubilidad.
--	---	--

El equipo 8, plantea la explicación teórica de las preguntas elaboradas por el equipo. Sin embargo, no considera los aspectos metodológicos correspondientes para realizar un análisis de los resultados obtenidos durante la experimentación.

Equipo 9:

Tabla 4.2.6. Respuestas elaboradas por el equipo 9 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
9	¿Podré separar cada uno de los componentes?	Es una técnica en la que dos o más iones en disolución, todos ellos capaces de precipitar con un reactivo común, se separan mediante reactivo: un ion precipita mientras que el otro o los otros, con propiedades semejantes, permanecen en disolución.
	¿Qué componente (metal) podré separar primero?	El valor de K_{ps} indica la solubilidad de un compuesto iónico, es decir, cuanto menor sea su valor menos soluble será el compuesto.
	¿Por qué un metal se precipita primero que otro y de qué depende?	También es fácilmente observable que si aumentamos la concentración de uno de los componentes o iones y alcanzamos de nuevo el estado de equilibrio de solubilidad.
	¿Cuáles son las reacciones químicas de interés?	Factores que afectan la solubilidad: Estos factores son: superficie de contacto, agitación, temperatura y presión. Superficie de contacto: Al aumentar la superficie de contacto del soluto con el solvente, las interacciones soluto-solvente aumentarán y el soluto se disuelve con mayor rapidez.

Para el caso del equipo 9, no se realizan las respuestas correspondientes a las preguntas planteadas al inicio. Se desconocen los motivos por el cual el equipo

no realiza las respuestas correspondientes a sus preguntas. Sin embargo, plantea la explicación teórica del método utilizado y los fenómenos observados en la precipitación de los compuestos.

Equipo 10:

Tabla 4.2.7. Respuestas elaboradas por el equipo 10 para contestar su pregunta de indagación.

Equipo	Pregunta	Respuesta
10	¿Qué precipitado de formará primero?	El primero en formar el precipitado ha sido la disolución de que contiene hierro, debido a su baja constante de solubilidad.
	¿A qué se debe esto?	
	¿Es un buen método de separación la precipitación fraccionada para este problema?	Se considera este procedimiento como un buen método de separación para compuestos con una baja constante de solubilidad y que su exponente sea diferente por 3 o más números.

Las respuestas elaboradas están respaldadas mediante la constante de solubilidad, misma explicación es una tendencia que se observa en las respuestas elaboradas por otros equipos. El equipo 10 además, analiza la metodología experimental y concluye con la aceptación del método para el problema planteado.

Las múltiples repuestas elaboradas por los equipos de trabajo tienen variaciones en cuanto a su estructura y contenido, esto debido a que contesta de forma individual la pregunta de indagación inicial de los equipos. Sin embargo, algunos equipos muestran puntos semejantes en el contenido de las respuestas, como es el caso de los equipos 10, 9, 6, 8 y 5, en los cuales el entendimiento del fenómeno estudiado se fundamenta utilizando la constante de solubilidad, y los factores que alteran el equilibrio. Es alentador que en la mayoría de los equipos se planteen explicaciones teóricas que se relacionen con los resultados observados.

En contraste, los equipos 1 y 3 no realizan una relación entre los resultados y la fenomenología que pudiese explicar lo que observaron, esto puede ser por diversos motivos en los que se incluyen un bajo interés en la actividad o la incomprensión del objetivo de la actividad.

A pesar la disparidad entre el contenido de las respuestas, los equipos: 10, 8, 6, 5, 3 y 1 elaboraron respuestas a sus respectivas preguntas de indagación iniciales. Al tener la respuesta a dichas preguntas es un indicativo que la metodología que siguieron fue la adecuada para contestar dichas incógnitas planteadas inicialmente.

Se observa que los estudiantes fundamentan sus respuestas utilizando conceptos teóricos para explicar, no obstante, pocos equipos relacionan sus resultados con las metodologías empleadas, o mencionando las razones por las cuales el experimento pudo haber fallado. Si bien para los alumnos puede resultar complicado reunir conceptos, procedimiento, y errores, es alentador revisar las respuestas del equipo 6 y 10, los cuales incluyen factores metodológicos al responder sus preguntas de indagación.

4.3. Análisis de hipótesis

Cuando se habla del método científico, la hipótesis es la brújula que guía la generación de conocimiento científico. De tal manera que cualquier investigador está obligado a plantear o formular una o varias hipótesis que, una vez contrastadas, le permitirán generar conocimiento científico mediante la comprobación pertinente de dichas hipótesis, esto le permitirá aceptar o rechazar los planteamientos iniciales (Pájaro, 2002). Dentro de las prácticas basadas en indagación, la hipótesis forma un componente principal que sirve como pauta inicial para la experimentación. Debido a esto, se solicitó a los alumnos elaborar hipótesis respecto a la problemática presente. En la tabla 1, se presentan agrupadas las hipótesis que cada equipo elaboró.

Tabla 4.3. Hipótesis elaboradas por los equipos

Equipo	Hipótesis
1	Sera posible separar estos metales conociendo sus constantes de solubilidad y con esto sabremos cual precipita primero si le agregamos OH^- .
3	Tomando en cuenta las constantes del hierro(III), del cobre(II) y del aluminio(III) primero precipitará el hierro ya que tiene una K_{ps} de 4×10^{-38} , después precipitara el aluminio con K_{ps} 1.3×10^{-33} y por último el cobre con K_{ps} de 2.2×10^{-20}
5	La sustancia que precipitará primero es aquella que tenga solubilidad molar menor, ya que esta dará paso a las siguientes sustancias para que precipiten

6	Si a la disolución de los metales le agregamos NaOH, éste reaccionará con cada uno de los metales presentes para formar hidróxidos, sustancias que son insolubles y que por tanto van a precipitar de acuerdo con K_{ps} y su solubilidad molar. El hidróxido con menor K_{ps} será el primero en precipitar, de tal manera que se obtendrá primero $Fe(OH)_3$ característico de un color rojizo, posteriormente $Al(OH)_3$ en color blanco y finalmente $Cu(OH)_2$ de un color azul. Sin embargo, mediante el exceso de NaOH en la disolución, el aluminio formará complejos, los cuales serán revertidos mediante la adición de ácido acético.
8	Se puede hacer uso del producto de solubilidad de un equilibrio para hacer precipitar uno o varios compuestos (separar) presentes en una reacción, y no solo hacerlo precipitar, sino recuperar el sólido.
9	Relacionar el producto de solubilidad para los metales que incorporamos a una disolución, tomando en cuenta el equilibrio de precipitados que obtendremos al final de las reacciones.
10	A partir de la idea de quien tenga un K_{ps} más bajo, sin embargo, de manera teórica y por relación estequiométrica junto con la solubilidad molar, se podrá determinar cuál será el primero en precipitar

En principio existe una diferencia en la extensión de dichas hipótesis, sin embargo, este no es un factor clave al momento de analizarlas, lo realmente importante es analizar la estructura de la hipótesis, por ejemplo, que presente una base teórica del fenómeno estudiado, que presente una solución provisional al problema, y sirva para pronosticar los resultados al someter la hipótesis a un proceso de experimentación. A continuación, se presenta el análisis individual de las hipótesis planteadas por cada equipo.

Tabla 4.3.1. Hipótesis elaborada por el equipo 1

Equipo	Hipótesis
1	Será posible separar estos metales conociendo sus constantes de solubilidad y con esto sabremos cual precipita primero si le agregamos OH^- .

El equipo 1 presenta un enunciado que se aleja del objetivo fundamental de la actividad, ya que explica de manera muy escasa el aspecto metodológico en la resolución del problema planteado. De igual forma no se describen los fenómenos que se presentan en el sistema de estudio, ni los resultados visibles que se esperan al realizar la experimentación correspondiente. Por otro lado, el enunciado presenta ambigüedad al mencionar simplemente “constantes de solubilidad”, sin especificar la solubilidad del tipo de compuestos que formarían los metales presentes en disolución.

Tabla 4.3.2. Hipótesis elaborada por el equipo 3

Equipo	Hipótesis
3	Tomando en cuenta las constantes del hierro(III), del cobre(II) y del aluminio(III) primero precipitará el hierro ya que tiene una K_{ps} de 4×10^{-38} , después precipitará el aluminio con K_{ps} 1.3×10^{-33} y por último el cobre con K_{ps} de 2.2×10^{-20}

Las predicciones presentadas en la hipótesis del equipo 3 muestran un adecuado manejo de los resultados esperados al especificar el orden en que los compuestos metálicos precipitarán, fundamentado sus predicciones con base a las constantes de solubilidad. Sin embargo, dicha fundamentación se puede considerar como incierta debido a que no se especifica el tipo de compuestos que se formarán por lo que los valores de K_{ps} presentados no sirven para confirmar los resultados que el equipo propone. Por demás, la hipótesis no menciona la metodología propuesta para la solución de la problemática.

Tabla 4.3.3. Hipótesis elaborada por el equipo 5

Equipo	Hipótesis
5	La sustancia que precipitará primero es aquella que tenga solubilidad molar menor, ya que ésta dará paso a las siguientes sustancias para que precipiten

El equipo 5 inicia su hipótesis planteando los resultados esperados fundamentados en la solubilidad, y en la precipitación fraccionada. Sin embargo, no se presentan los aspectos metodológicos correspondientes a la solución del problema. Además, considerando que la formulación de hipótesis tiene fundamento en las observaciones realizadas, se puede notar cierta deficiencia en el planteamiento del equipo 5, al no tener una relación clara con los iones metálicos presentes en el problema planteado.

Tabla 4.3.4. Hipótesis elaborada por el equipo 6

Equipo	Hipótesis
6	Si a la disolución de los metales le agregamos NaOH, éste reaccionará con cada uno de los metales presentes para formar hidróxidos, sustancias que son insolubles y que por tanto van a precipitar de acuerdo con K_{ps} y su solubilidad molar. El hidróxido con menor K_{ps} será el primero en precipitar, de tal manera que se obtendrá primero $Fe(OH)_3$ característico de un color rojizo, posteriormente $Al(OH)_3$ en color blanco y finalmente $Cu(OH)_2$ de un color azul. Sin embargo, mediante el exceso

	de NaOH en la disolución, el aluminio formará complejos, los cuales serán revertidos mediante la adición de ácido acético.
--	--

El planteamiento inicial elaborado por el equipo 6 muestra una hipótesis considerando los aspectos metodológicos a realizar (agregar NaOH), explicando el fundamento de la metodología mediante el planteamiento del fenómeno que representa la poca solubilidad de los hidróxidos metálicos con los que se trabajó. Al hacer este planteamiento posteriormente el equipo propone los resultados esperados mediante el planteamiento del orden de precipitación que presentarán los iones metálicos presentes en la muestra problema. Cumpliendo con el propósito de la actividad el equipo 6 plantea de manera eficaz una hipótesis considerando aspectos metodológicos, fenomenológicos y una predicción de resultados esperados.

Tabla 4.3.5. Hipótesis elaborada por el equipo 8

Equipo	Hipótesis
8	Se puede hacer uso del producto de solubilidad de un equilibrio para hacer precipitar uno o varios compuestos (separar) presentes en una reacción, y no solo hacerlo precipitar, sino recuperar el sólido.

La hipótesis planteada por los integrantes del equipo 8 presenta deficiencias en lo que consideramos como una hipótesis. A pesar de que se utiliza el concepto de la solubilidad como el fenómeno que explica y fundamenta al enunciado, la propuesta presentada por el equipo no contempla aspectos metodológicos ni posibles resultados. Además, la información presentada no tiene relación alguna con el problema inicial planteado que es la separación de iones metales específicos.

Tabla 4.3.6. Hipótesis elaborada por el equipo 9

Equipo	Hipótesis
9	Relacionar el producto de solubilidad para los metales que incorporamos a una disolución, tomando en cuenta el equilibrio de precipitados que obtendremos al final de las reacciones.

Para el equipo 9, el planteamiento de su hipótesis se basa inicialmente en la fenomenología a utilizar para llevar a cabo una metodología, sin embargo, a pesar de que la hipótesis tiene un planteamiento general al considerar el producto de

solubilidad para los metales incorporados en la disolución, no se presenta ningún procedimiento específico, ni se mencionan los posibles resultados esperados al utilizar el producto de solubilidad para la resolución del problema.

Tabla 4.3.7. Hipótesis elaborada por el equipo 10

Equipo	Hipótesis
10	A partir de la idea de quien tenga un K_{ps} más bajo, sin embargo, de manera teórica y por relación estequiométrica junto con la solubilidad molar, se podrá determinar cuál será el primero en precipitar

La hipótesis planteada por el equipo 10 no presenta aspectos metodológicos que ayuden a resolver el problema, sin embargo, presenta un fundamento fenomenológico el cual sirve como explicación para entender el orden de precipitación de los compuestos metálicos. La presencia de resultados y posibles observaciones al igual que la metodología no forman parte de la estructura de la hipótesis planteada.

Las hipótesis presentadas por los equipos son variadas respecto al contenido y a la estructura, sin embargo, en su mayoría tienen deficiencias análogas. En el caso de los equipos 3, 5, 8, 9, 10, ninguno menciona la metodología que podría ser aplicada para la solución del problema, en contraste el equipo 6 y el equipo 1, son claros en su hipótesis al mencionar que su metodología se basa en agregar una disolución de NaOH a la muestra problema, lo cual sirve como guía para la metodología experimental. De igual manera otro ámbito en el que la mayoría de los equipos tuvo carencias fue en incluir posibles resultados, los equipos 1, 5, 8, 9, 10, no incluyen en sus hipótesis los resultados que esperan obtener al llevar a cabo la experimentación, ni realizan afirmaciones relacionadas a la conclusión del experimento, como si las hace el equipo 6 el cual señala que se obtendrán hidróxidos insolubles de colores característicos.

Dentro de las hipótesis formuladas todos los equipos hacen mención de la constante de solubilidad y a la solubilidad molar, por lo que el trasfondo teórico no es la problemática en la actividad. Los alumnos son capaces de entender qué fenómenos se aplican al problema planteado; sin embargo, la dificultad de lograr el

éxito en la formulación de hipótesis radica principalmente en realizar una proposición que comprenda tanto los factores teóricos, como los metodológicos y los posibles resultados o predicciones. Todo esto para que la hipótesis desarrollada sirva inicialmente como una guía para guiar el proceso de la elaboración de una metodología experimental. Posteriormente, durante la experimentación, la hipótesis sirve de guía para la recolección y observación de datos, y finalmente ayude en la interpretación y formulación de conclusiones.

Al igual que la formulación de preguntas, la elaboración de hipótesis representa una de las características más importantes en el aprendizaje por indagación, ya que tienen la función de guiar todo el proceso de experimentación, sin embargo, son las habilidades más difíciles de desarrollar en los alumnos.

Si bien varios autores (Oh, 2010, Kuang et al., 2020, Lawson, 2000) consideran a la deficiencia de conocimientos teóricos como una causa importante por la cual los estudiantes no generan buenas hipótesis, no es el caso presentado por los alumnos de este estudio. En las hipótesis generadas que se presentaron, las deficiencias más importantes se basan en la estructura, ya que uno de los principales problemas de los alumnos es formular enunciados lo suficientemente elaborados que sirvan para conducir una investigación, de manera que se integren eficientemente factores teóricos y procedimentales.

De igual manera a los estudios realizados por Jong & Joolingen, 1998, la principal problemática es que los alumnos desconocen la estructura de una hipótesis comprobable, por lo que resulta difícil generar un buen enunciado a partir de la información que se les proporciona.

4.3. Análisis de Diagramas de flujo:

Para poder realizar la solución del problema planteado, se pidió a los alumnos que explicaran la metodología a seguir, tratando que fuese lo más detallada posible. Dicha metodología se presenta mediante diagramas de flujo, es importante que el lector sepa que los diagramas no presentan cambios o correcciones relacionadas al diseño, cada metodología se reporta tal y como los equipos lo plantearon. A continuación, se presentan los diagramas correspondientes a cada equipo.

Equipo 1:

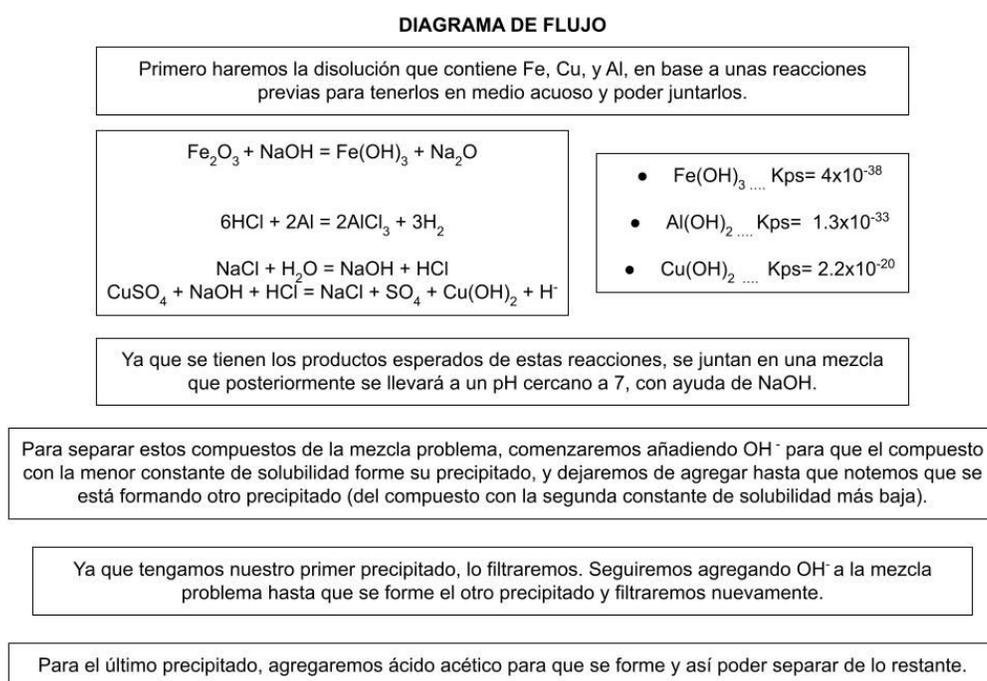


Figura 4.3.1. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 1 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

El equipo 1 inicia su metodología con la preparación de las disoluciones de los iones metálicos, para posteriormente realizar la mezcla y su posterior separación. El diagrama de flujo muestra como reactivo principal al hidróxido de sodio, y mediante la diferencia de los valores de K_{ps} es que se realiza la separación. En un último paso se reporta la utilización de ácido acético para separar un último metal que aún se encuentra en disolución. Para la metodología planteada por el equipo, resultan ambiguos los pasos debido a que no se especifica que catión metálico se estará

separando en cada paso, debido a esto, el último procedimiento de agregar ácido acético resulta confuso ya que no se especifica qué catión se precipitará, ni en qué forma.

Equipo 3:

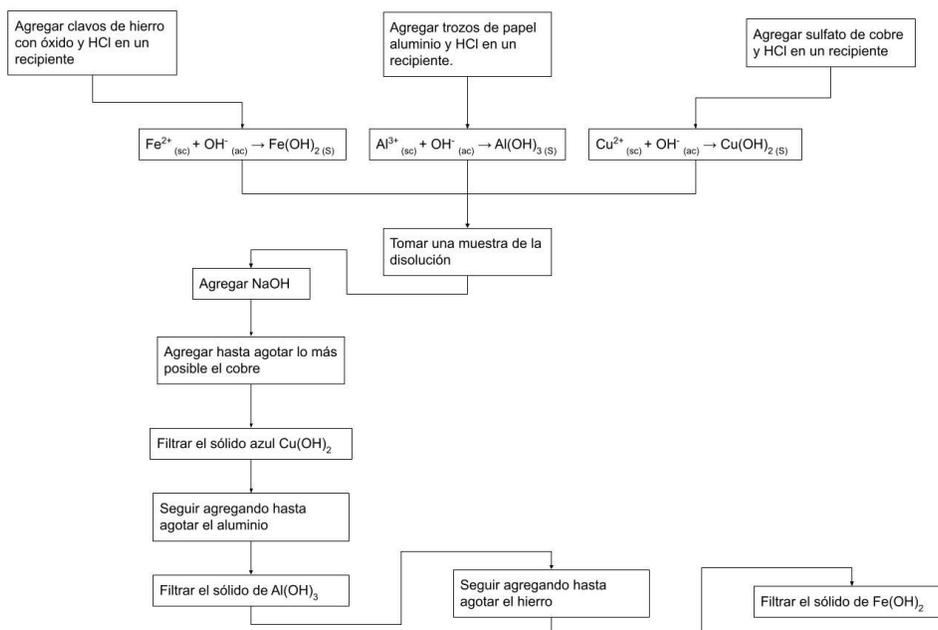


Figura 4.3.2. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 3 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

De la misma manera, el equipo 3 decide usar como reactivo al hidróxido de sodio para realizar la precipitación de hidróxidos metálicos. Incluso menciona el orden de precipitación de éstos, sin embargo, el orden es contrario al que se esperaría según las constantes de producto de solubilidad. En contraste con el equipo 1, no se menciona la utilización de ácido acético u otro reactivo. Si bien el equipo sabe que la separación se realiza mediante la obtención de hidróxidos, la confusión en el orden de precipitación puede conducir a una identificación incorrecta de los cationes.

Equipo 5

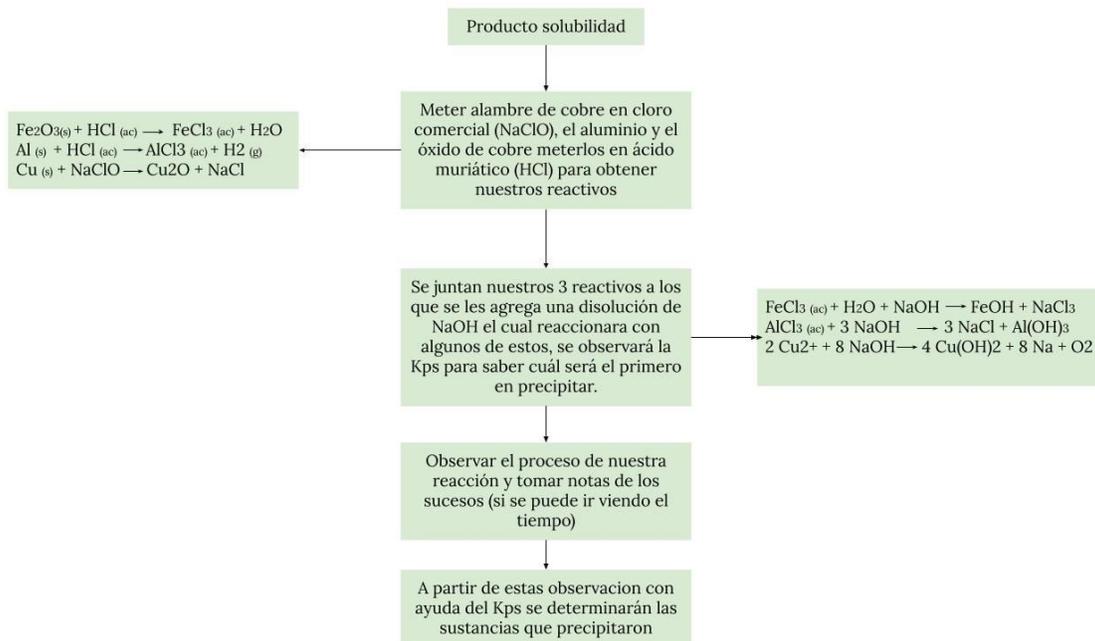


Figura 4.3.3. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 5 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

El equipo 5 de forma sencilla plantea una separación utilizando hidróxido de sodio, esperando la separación de los cationes metálicos mediante la solubilidad de sus hidróxidos. Indica además la recopilación de notas sobre las transformaciones que se observen durante el procedimiento.

Equipo 6:

En este procedimiento el equipo 6 utiliza el mismo fundamento ya visto de la separación mediante hidróxidos. Se indica además los posibles colores que tendrán los precipitados y el orden que se espera que aparezcan, y de igual manera que el equipo 1, menciona la utilización de ácido acético para la precipitación de un último catión metálico presente al final de la separación.

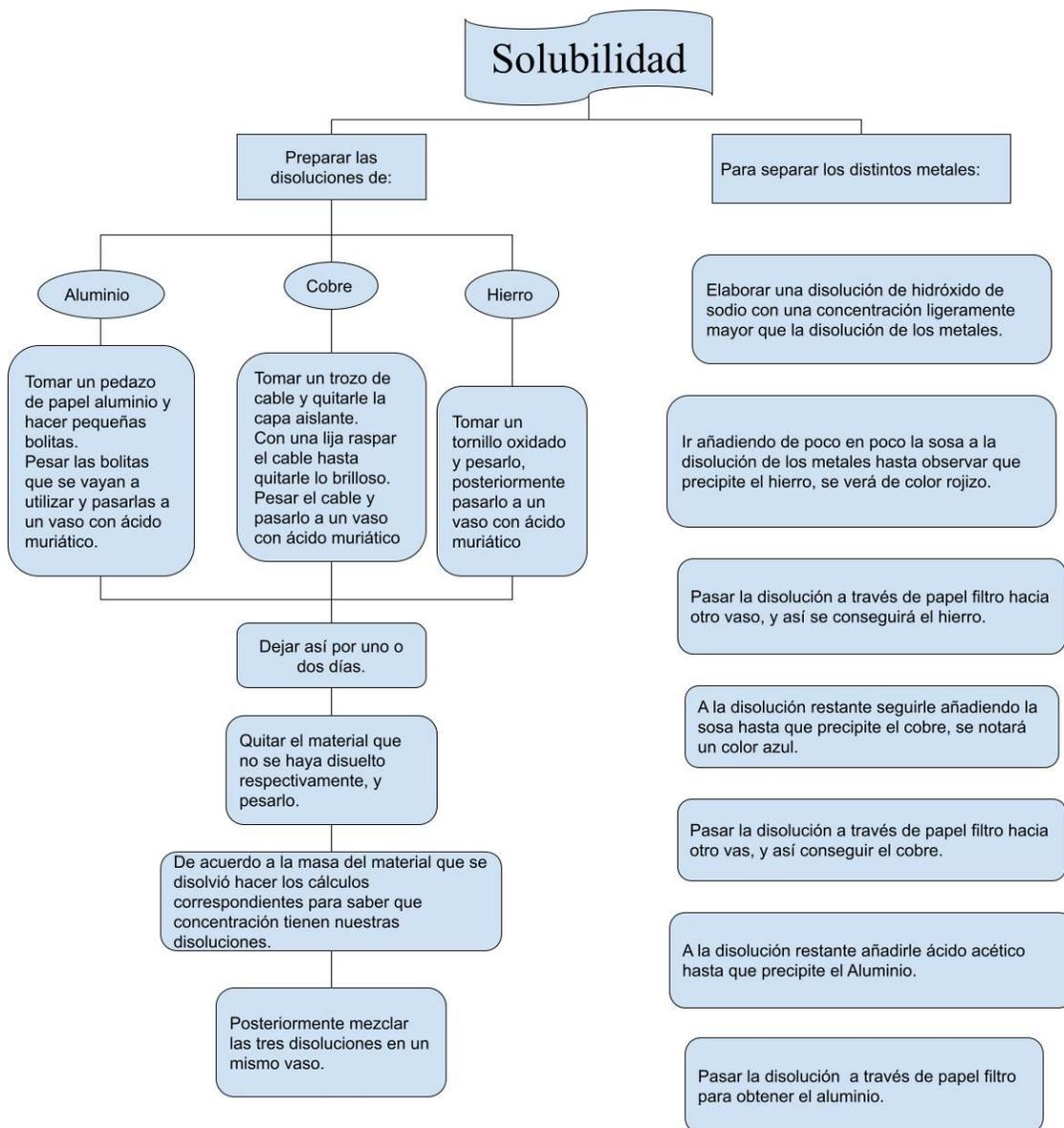


Figura 4.3.4. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 6 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

Equipo 8:

Luego de preparar la muestra problema el equipo 8 realiza la separación agregando hidróxido de sodio, indicando que se anotarán los cambios observados durante el procedimiento (cambios de color, aparición de precipitados, o presencia de gases).

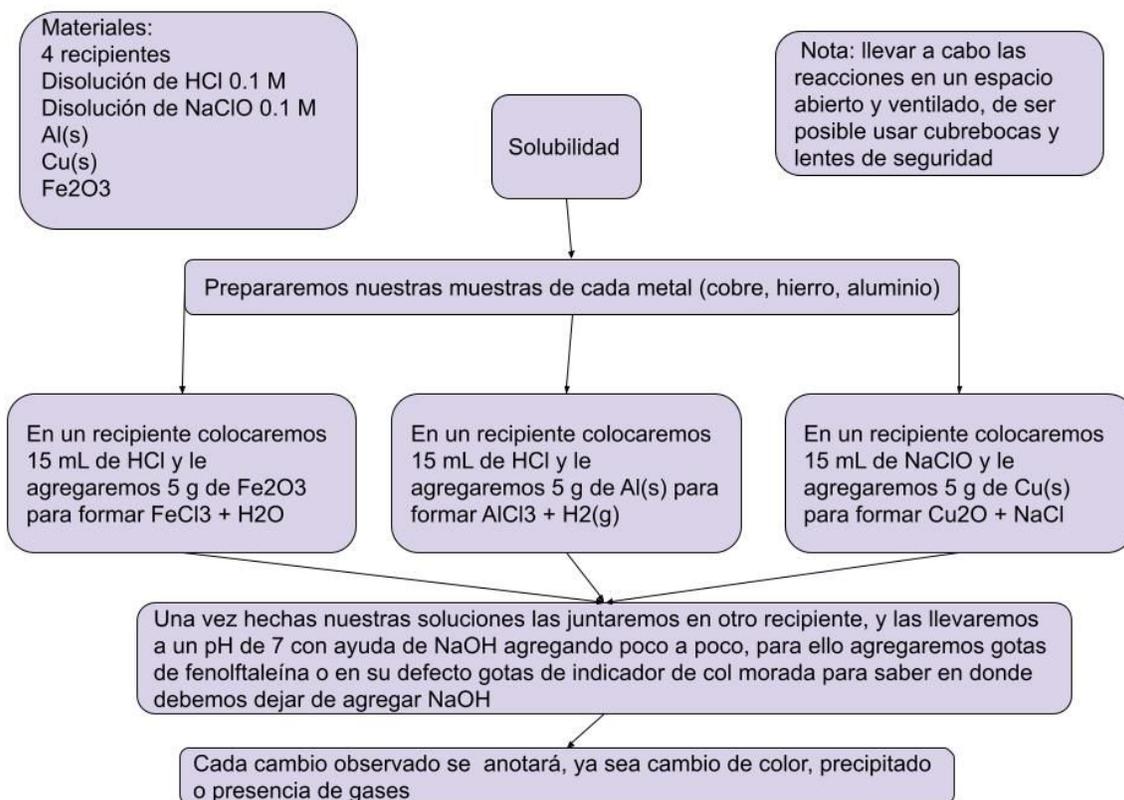


Figura 4.3.5. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 8 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

Equipo 9:

Para el equipo 9, la precipitación de los hidróxidos está fundamentada en los valores del producto de solubilidad, se repite la utilización de una disolución de hidróxido de sodio, además que como los equipos 1 y 6, utiliza ácido acético para la formación de un último precipitado.

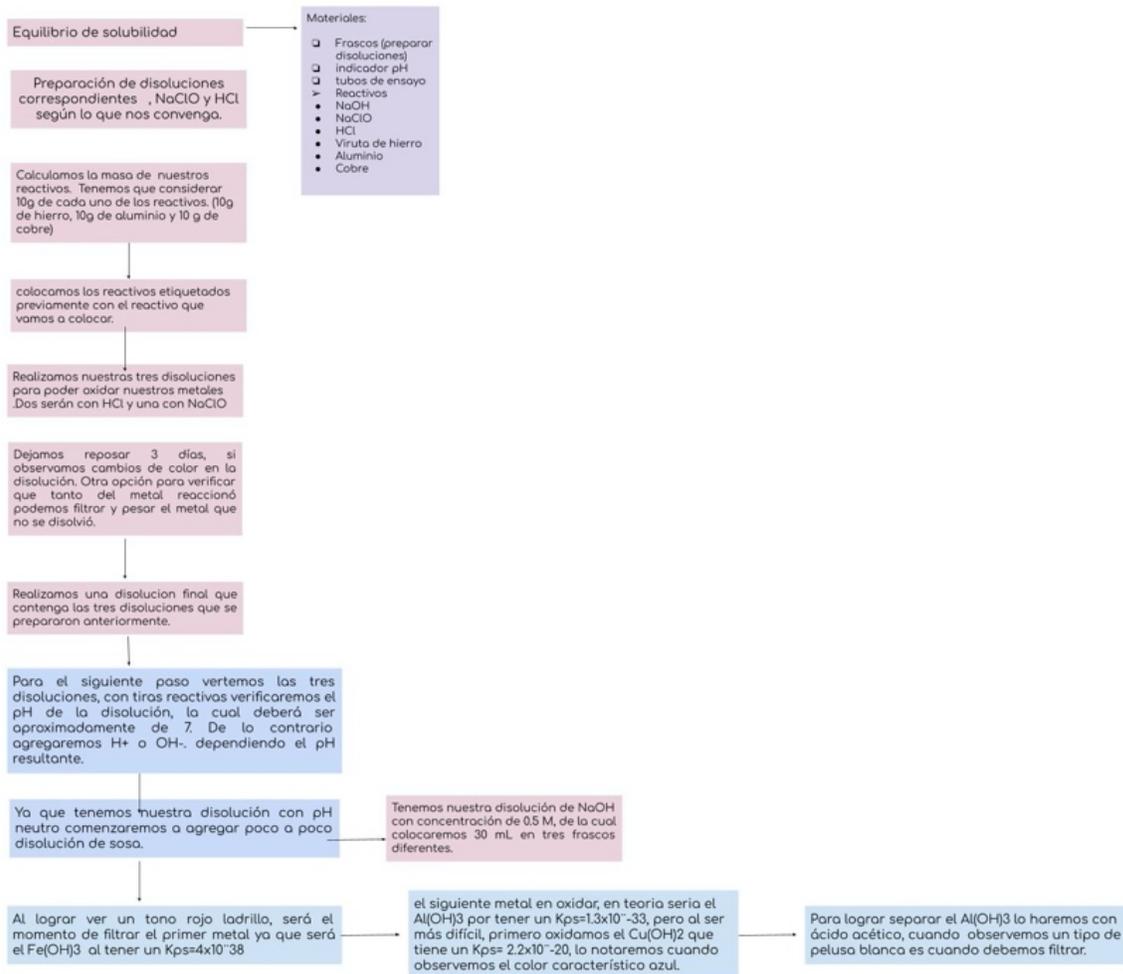


Figura 4.3.6. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 9 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

Equipo 10

El procedimiento se repite al utilizar el hidróxido de sodio como contraión para la separación de cationes metálicos en disolución. sin embargo, no se indica el orden en el que se espera que los precipitados aparezcan lo cual puede conducir a una mala interpretación de los resultados.

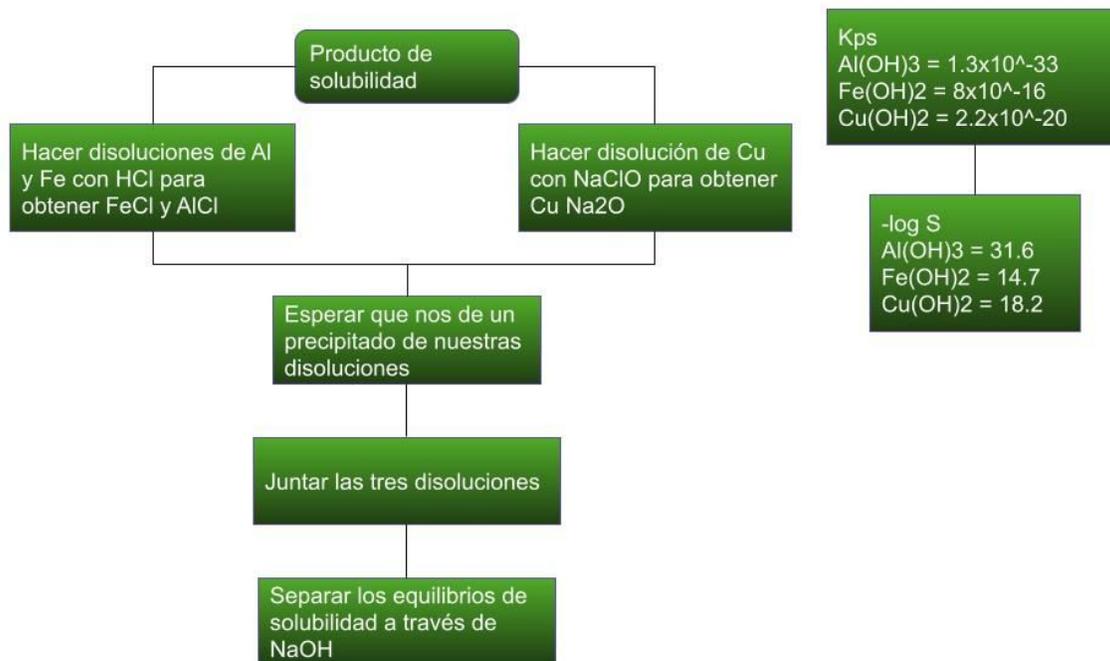


Figura 4.3.7. Diagrama de flujo elaborado por el equipo 10 para la preparación y posterior separación de cationes metálicos en disolución.

Está claro que el procedimiento utilizado por todos los equipos es la separación de cationes metálicos mediante la precipitación de sus hidróxidos insolubles esto debido a que el reactivo que resultaba más fácil de conseguir para los alumnos era el hidróxido de sodio, el cual al utilizarse en disolución proporciona hidróxidos que sirven como contraión para favorecer la precipitación de hidróxidos metálicos. Si bien la metodología es correcta y fundamentada mediante la teoría, se pueden destacar puntos importantes en los diagramas elaborados. Tan solo los equipos 3, 6 y 9, indican un posible orden para la aparición de los precipitados, además que en esos casos solo los equipos 6 y 9, señalan un color para identificarlos.

Otro punto importante en la presentación de los diagramas es que los equipos 3, 5, 8 y 10 los equipos no consideran la posible formación del complejo soluble de aluminio $[Al(OH)_4]^-$ la cual se forma al existir un exceso de hidróxido en el medio. El cual puede generar problemas al momento de realizar la separación

4.4 Análisis de resultados y observaciones

Luego de la realización del procedimiento experimental y recabar la información necesaria, los alumnos realizaron el respectivo análisis de los resultados. A continuación, se presentan los análisis de cada equipo. Algunos equipos presentaron fotografías de los precipitados que obtuvieron las cuales también se anexan a continuación.

Equipo 1.

Tabla 4.4.1. Análisis elaborado por el equipo 1

Equipo	Análisis
1	<p>En nuestro proceso experimental, logramos llevar la mezcla al pH neutro y obtuvimos el primer precipitado, para el segundo, que debía tratarse del $\text{Al}(\text{OH})_3$, se observaron unas tipo pelusitas de color azul, y luego de filtrar observamos que se trataba del precipitado de $\text{Cu}(\text{OH})_2$.</p> <p>Se precipitó primero el $\text{Cu}(\text{OH})_2$, debido a que al agregar el NaOH para que se formara el primer precipitado, se formó un complejo con el $\text{Al}(\text{OH})_3$ ($\text{Al}(\text{OH})_4^-$), por lo que no se formó el precipitado de Aluminio esperado.</p> <p>Previamente se debió haber tomado esta consideración con el complejo $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, y se debieron haber hecho los cálculos correspondientes para saber que tanto NaOH agregar entre cada ácido y así no se siguiera formando el complejo de Aluminio en exceso.</p>



a)



b)



Ilustración 4.4.1. Fotografías tomadas por el equipo 3 durante la experimentación. a) precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3$ b) precipitado $\text{Cu}(\text{OH})_2$

El equipo inicia con la precipitación de un compuesto color ladrillo, el cual corresponde al compuesto $\text{Fe}(\text{OH})_3$, posteriormente indica que el segundo

compuesto que separaron fue el hidróxido de cobre, $\text{Cu}(\text{OH})_2$. El análisis del equipo señala que la anticipada precipitación del compuesto de cobre se debe a la formación del complejo soluble de aluminio, por lo que no ocurrió lo esperado, que era observar la precipitación del compuesto de aluminio antes que el hidróxido de cobre. Debido a esto el equipo indica la necesidad de realizar los cálculos correspondientes para saber con exactitud la cantidad a agregar de la disolución de hidróxido de sodio.

Equipo 3:

Tabla 4.4.2. Análisis elaborado por el equipo 3

Equipo	Análisis
3	Con los datos experimentales podremos saber si los cálculos que se realizaron y los resultados fueron los mismos que se obtuvieron en el experimento

Desafortunadamente el equipo 3 no realiza un análisis de resultados conveniente y más bien, señala una propuesta de análisis.

Equipo 5:

Tabla 4.4.3. Análisis elaborado por el equipo 5

Equipo	Análisis
5	<p>En la primera prueba no se pudo llevarse a cabo la reacción de $\text{Cu} + \text{NaClO}$, debido a que no se limpió de manera correcta el alambre de cobre para quitar el plástico que lo rodea, lo que impide que se forme un precipitado al momento de añadir NaOH.</p> <p>Al realizar la reacción de Fe_2O_3 y HCl se formó una disolución verdosa que al hacerla reaccionar con OH se forma un sólido blanco, lo cual no es lo que se esperaba, esto debido a que el metal de donde se secó el óxido de hierro puede tener una aleación con zinc o cobre. En cambio, al efectuarse la reacción de $2 \text{Al}(\text{s})$ y $6 \text{HCl}(\text{ac})$ se formó $2 \text{AlCl}_3(\text{ac})$ y $3 \text{H}_2(\text{g})$, esta reacción fue muy exotérmica y se desprendió hidrogeno gaseosos y al agregar NaOH se observó un sólido café rojizo que después paso a ser café, el resultado de esta prueba no fue lo esperado ya que hubo muchos errores cometidos al realizar las reacciones. Se realizo una segunda prueba tomando en cuenta los errores experimentales de la primera, aquí solo se ocuparon los reactivos obtenidos de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ y $\text{Al}(\text{s})$ con HCl para reaccionar con el NaOH. Se ocupó óxido de hierro de otra pieza de metal, este obtuvo una coloración amarilla al agregar HCl y para el caso del aluminio primero tuvo coloración algo blanquecina que con el tiempo pasó a un amarillo tenue. Al hacerlas reaccionar por separado con NaOH se obtuvieron los resultados esperados, para el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se obtuvo un sólido café-rojizo y para el $\text{Al}(\text{OH})_3$ se formó sólido blanco.</p>

	<p>Al juntarse nuestros dos reactivos y agregarles NaOH también se vio la formación del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y casi inmediatamente la del $\text{Al}(\text{OH})_3$ las cuales si fueron algo distinguibles entre sí.</p> <p>Para esta prueba al parecer sí se obtuvieron los resultados esperados</p>
--	---

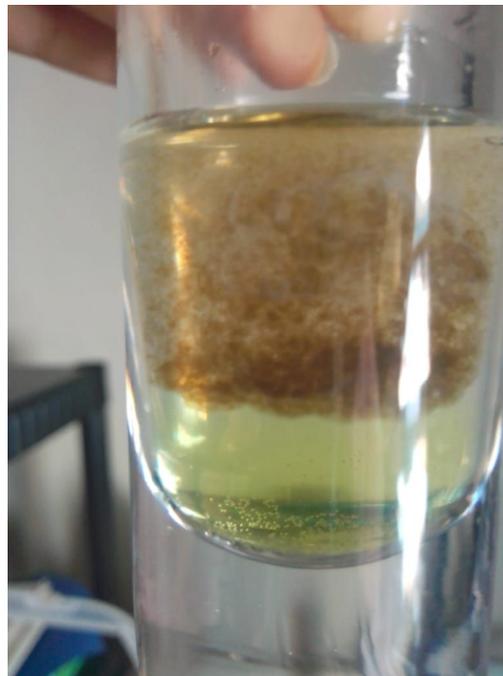


Ilustración 4.4.2. Fotografías tomadas por el equipo 5 durante la experimentación. Muestra la formación simultánea de los precipitados $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y $\text{Cu}(\text{OH})_3$.

El equipo 5 antes de realizar la separación de la mezcla problema decidió hacer reacciones individuales de cada metal para así tener conocimiento de cómo se veía cada precipitado. Sin embargo, presentó problemas en la preparación de la disolución de cobre, como lo indican en su análisis, debido a esto, sólo realizaron la separación de dos cationes metálicos, $\text{Fe}(\text{III})$ y $\text{Al}(\text{III})$, para la separación el equipo logró obtener la precipitación de ambos como se ve en la segunda imagen, sin embargo, al tener los dos precipitados no se logra realizar la precipitación. En contraste con el equipo 1, en este caso no se considera la formación del complejo soluble de aluminio.

Tabla 4.4.4. Análisis elaborado por el equipo 6

Equipo	Análisis
6	A pesar de que los tres integrantes del equipo realizaron el mismo experimento, no fue posible llegar a los mismos resultados, dado que se presentaron diversos

inconvenientes al momento de la obtención de los precipitados y en la preparación de las disoluciones.

El integrante 3, en un principio empleo sulfato de cobre “para peces”, el cual contenía una concentración muy baja y por ello es que después preparó una disolución de sulfato de cobre 0.5 mol/L.

En cuanto a la obtención de los tres precipitados mediante la adición de NaOH y ácido acético, no fue posible para todos los integrantes. El integrante 1 únicamente pudo obtener el precipitado café rojizo, es decir $\text{Fe}(\text{OH})_3$. El integrante 2, no pudo obtener nada.

Finalmente, el integrante 3 logró separar el Fe^{3+} y el Cu^{2+} de la disolución a partir del precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y de $\text{Cu}(\text{OH})_2$, al momento de filtrar el $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ya se notaba un tono azul en la disolución, el cual se intensificó una vez que se le agregó más NaOH. No se pudo observar el precipitado blanco, correspondiente al $\text{Al}(\text{OH})_3$, ni al momento de adicionar ácido acético, ni al probar con ácido clorhídrico, por lo que se piensa que la concentración era muy baja, por lo que no fue posible observar el precipitado.

Entonces el orden en el que se pensaba que iban a precipitar (acorde a su solubilidad molar), no se comprobó, en su lugar, los dos precipitados obtenidos se dieron de acuerdo al K_{ps} de cada compuesto.



a)



b)

Ilustración 4.4.3. Fotografías tomadas por el equipo 6 durante la experimentación. a) precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3$ b) precipitado $\text{Cu}(\text{OH})_2$

El equipo 6 reporta sus resultados con fotos, en las cuales se aprecian los precipitados de hierro y cobre, sin embargo, presenta el mismo problema que el equipo 1 al no poder precipitar el compuesto de aluminio. La ausencia del precipitado de aluminio es fundamentada por una baja concentración, lo cual deriva en que sea muy difícil percibir el precipitado.

Equipo 8:

Tabla 4.4.5. Análisis elaborado por el equipo 8

Equipo	Análisis
8	La relación entre la solubilidad molar obtenida con cuál compuesto precipitó primero, ya que a en este caso como el hidróxido de hierro(III) tiene un menos valor de

	solubilidad éste precipitará primero, seguido del hidróxido de aluminio(III) y por último el hidróxido de cobre(II). A demás de eso, haciendo uso del cambio de pH se pudo predecir que compuesto se puede obtener antes que otro y en qué proporción
--	---

En el caso del equipo 8 no se presenta un análisis detallado de los fenómenos observados durante la experimentación, y de igual manera que el equipo 3, presenta una propuesta de análisis, más no un análisis de sus resultados.

Equipo 9:

Tabla 4.4.6. Análisis elaborado por el equipo 9

Equipo	Análisis
9	No reporta análisis de resultados



Ilustración 4.4.4. Fotografías tomadas por el equipo 9 durante la experimentación. Muestra la formación del precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Desafortunadamente el equipo 9 no realiza un análisis de los resultados. Se desconoce la causa por la cual no se hizo dicho análisis.

Equipo 10:

Tabla 4.4.7. Análisis elaborado por el equipo 10

Equipo	Análisis
10	Que el cobre cuando se parte de cobre elemental se tardará más en formar el precipitado, sin embargo, si se parte del CuSO_4 la reacción de precipitado será más rápida y en ese caso el primero de las disoluciones en obtener esta reacción.



Ilustración 4.4.5. Fotografías tomadas por el equipo 10 durante la experimentación. Muestra la formación del precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_3$

El equipo 10 no realiza un análisis relacionado con la separación de los cationes, por lo que no es un análisis que sirva para entender el proceso de separación. Sin embargo, reporta la foto de la precipitación de los hidróxidos metálicos insolubles.

Al revisar en conjunto los análisis presentados por los equipos, se observan ciertos patrones en los cuales se puede hacer énfasis. Para la separación del hierro en disolución, ningún equipo tuvo problemas para obtener el compuesto insoluble $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Considerando la constante del producto de solubilidad este es el primero en precipitar tal como se observa en los análisis y fotos reportadas por los alumnos.

El siguiente metal a precipitar según su constante de producto de solubilidad es el $\text{Al}(\text{III})$, sin embargo, ésta no fue una tarea fácil para los equipos, ya que sólo el equipo 5 logró obtener el precipitado $\text{Al}(\text{OH})_3$ pero sin lograr separarlo. Todos los equipos esperaban que el hidróxido insoluble de aluminio fuese el segundo en precipitar, no obstante, la mayoría de los equipos no obtuvo este resultado. Los equipos plantean dos explicaciones posibles a esta situación:

- 1) La concentración de aluminio en disolución era lo suficientemente baja para no percibirse la precipitación del hidróxido de aluminio.
- 2) Y no se observa la precipitación del hidróxido de aluminio, debido a la formación de un complejo soluble de aluminio. Esta última explicación fue considerada en algunos diagramas de flujo, sin embargo, presentó un reto complicado para los alumnos.

Como último paso de la separación, la precipitación de hidróxido de cobre no presentó problemas en los alumnos. y los problemas relacionados radican en la preparación de la disolución que cada equipo realizó al inicio de la práctica.

En forma general se puede observar que existe disparidad entre los análisis realizados por los equipos, como un extremo tenemos el caso del equipo 9 en el cual la ausencia de un análisis es desconcertante. Y en otros casos como los equipos 3, 8 y 10, muestran análisis que se alejan del objetivo de la actividad, esto puede ser por diversos motivos entre los que se puede encontrar un bajo interés del alumno y un malentendido en la indicación de la actividad.

A pesar de la diferencia entre los análisis presentados, es alentador que los equipos 1, 5 y 6, presentan buenos análisis los cuales tienen una estructura en la cual las observaciones se respaldan con fenómenos y conceptos estudiados, e incluso se presentan propuestas de mejora para evitar los problemas que se tuvieron al realizar la metodología.

Es importante hacer mención que la mayoría de los problemas que los equipos presentaron están relacionados al uso de materiales caseros, de baja exactitud y calidad. En dos casos, los problemas estuvieron relacionados con un pobre sistema de filtración, en otros casos, la baja calidad de los reactivos iniciales afectó la preparación de la disolución problema. Estos son puntos importantes que considerar al revisar el desempeño de los alumnos, ya que la falta de material de laboratorio juega un papel importante en la realización de la práctica.

4.5. Análisis de conclusiones

Posterior a la experimentación, los alumnos recabaron la mayor información posible, realizaron un análisis y, por último, se les pidió que elaboraran conclusiones. Se espera que las conclusiones se fundamenten en los datos obtenidos durante la experimentación, la metodología aplicada y de ser necesario se presenten propuestas de mejora, todo esto fundamentado del análisis de los datos recabados. A continuación, se presentan las conclusiones elaboradas por los equipos.

Tabla 4.5.1. Conclusiones elaboradas por el equipo 1

Equipo	Conclusiones
1	<p>El valor de la K_{ps}, no siempre nos asegurara que compuesto precipitaría primero dentro de una mezcla, mucho menos si se encuentra con más compuestos.</p> <p>Se debieron establecer correctamente las reacciones que iban a suceder dentro de la mezcla para poder predecir correctamente lo que ocurriría.</p> <p>Para lograr que se forme el precipitado del complejo de aluminio que queda en el restante de la mezcla debe hacerse uso de un ácido</p>

El equipo 1 realiza la observación que para realizar la separación más óptima es necesario establecer correctamente todas las posibles reacciones que ocurren, en el procedimiento, además de considerar otros factores al momento de analizar el orden de precipitación además del valor de la constante de solubilidad. De igual forma proporciona una solución a un problema que tuvieron en la precipitación del aluminio en disolución.

Tabla 4.5.2. Conclusiones elaboradas por el equipo 3

Equipo	Conclusiones
3	<p>Obteniendo la solubilidad y comparándola con la constante de producto de solubilidad podemos notar que no nos podemos confiar al 100 de la K_{ps}, además de que se debe tomar en cuenta que concentración será la adecuada para poder precipitar lo que se quiere sin pasarse como en el caso del aluminio en $Al(OH)_3$.</p>

De la misma manera el equipo 3 decide no confiar en los valores de la constante de solubilidad para realizar las separaciones. Como punto extra el equipo propone realizar el cálculo de las concentraciones para saber cómo solucionar el problema de la precipitación del aluminio en disolución.

Tabla 4.5.3. Conclusiones elaboradas por el equipo 5

Equipo	Conclusiones
5	<p>A causa del mal tratamiento de los reactivos se tuvieron fallas para la última parte de las reacciones, pues no obtuvimos los resultados que se deben tener, para el caso del óxido de hierro la posibilidad más grande es que el material ocupado fuera de una aleación y que el segundo material para la prueba 2 si fuese enteramente de hierro.</p> <p>El cobre no reaccionó con el hipoclorito de sodio debido a que no se le quito la película protectora, por lo cual al final solo había $NaClO$ en el vaso.</p> <p>Según lo visto en los cálculos de la solubilidad molar, si se llevó a cabo la predicción, pues ambos hidróxidos precipitaron casi al mismo tiempo (observado en la cercanía de su solubilidad molar)</p>

El equipo 5 reporta, que el mal tratamiento de los reactivos fue el principal causante de la falta de resultados correctos. Además, reportan que los cálculos realizados sobre la solubilidad molar sirvieron como una guía para predecir el orden de precipitación de los compuestos.

Tabla 4.5.4. Conclusiones elaboradas por el equipo 6

Equipo	Conclusiones
6	<p>El factor importante para la obtención de los precipitados es la concentración que hay de cada disolución, el pH en el cual se está dando la reacción y el efecto del ion común, así como la formación de los complejos.</p> <p>La determinación de cada uno de los precipitados, la solubilidad molar, la concentración de los iones y el K_{ps} se encuentran relacionados y nos permiten describir esta relación mediante el producto de solubilidad de un compuesto.</p> <p>Esta práctica no se logró llevar a cabo por completo debido a los inconvenientes en la preparación de las disoluciones, así como en las concentraciones de las mismas. Sin embargo, pensamos que la solubilidad molar nos permitiría predecir de una mejor manera cuales compuestos precipitarían primero y cuales después, esto en lugar de recurrir al valor de K_{ps}.</p>

El equipo 6 con base en todas sus observaciones destaca cuales fueron los errores experimentales que desencadenaron una mala obtención de los resultados, entre los que destaca la concentración de las disoluciones iniciales. Y para finalizar el equipo establece como diversos factores como: la concentración, pH, ion común y la formación de complejos, se relacionan para poder entender como ocurre la obtención de precipitados y predecir el orden de precipitación en caso de tener una mezcla.

Tabla 4.5.5. Conclusiones elaboradas por el equipo 6

Equipo	Conclusiones
8	<p>El producto de solubilidad es una buena herramienta que puede predecir que compuesto precipita primero en una disolución que tenga varios compuestos disueltos, pero en algunos casos depende mucho de la estequiometría de la reacción. Para esta predicción de precipitación fraccionada es mejor utilizar el valor de solubilidad molar obtenida del producto de solubilidad, además que estas predicciones se pueden modificar por ciertos factores, ya sea por la temperatura, ion común y el pH.</p>

Los integrantes del equipo 8 reconocen que existen distintos factores que afectan la precipitación como lo son la temperatura, ion común y el pH. Para el caso de la separación de una mezcla de cationes metálicos el equipo concluye el producto de solubilidad permite predecir el orden de precipitación de los

compuestos, además que la estequiometría es un factor determinante en la precipitación fraccionada.

Tabla 4.5.6. Conclusiones elaboradas por el equipo 8

Equipo	Conclusiones
9	Al nosotros tener un problema con el cobre, realizamos el experimento solo con dos metales. Los cuales logramos separar. Pero sin antes tener ciertas dificultades en cuanto a la obtención de estos. Ya que fue algo difícil recolectarlos (filtro deficiente)

El equipo 9 menciona principalmente que tuvo problemas en la preparación de las disoluciones iniciales, sin embargo, lograron la precipitación de los compuestos sin lograr la correcta separación, esto lo atribuyen a un filtro deficiente en su proceso de filtrado.

Tabla 4.5.7. Conclusiones elaboradas por el equipo 10

Equipo	Conclusiones
10	<p>El primero en formar el precipitado ha sido el hierro, seguido por el aluminio y en último lugar el cobre después de haber hecho los cálculos de solubilidad molar y de iones OH^- producidos.</p> <p>Al final de la práctica no se formó precipitado dado que se implementaron erróneamente las servilletas en sustitución del papel filtro, lo que hizo que toda está absorbiera la disolución muestra.</p> <p>Se hipotetiza que se hubiese conseguido el papel filtro la disolución y la precipitación fraccionada hubiera tenido éxito; ya que por lo visto la práctica se realizó correctamente hasta ese punto y se precipitaron de la manera estipulada por los cálculos de solubilidad molar.</p>

El equipo 10 inicia su conclusión planteando el orden de los precipitados que obtuvieron en la práctica. Sin embargo, no lograron realizar la separación debido al uso de servilletas de papel como papel filtro. El equipo asegura que, al contar con los materiales adecuados, la separación podría llevarse a cabo de manera correcta.

A pesar de que en las conclusiones planteadas por los alumnos presentan diferencias en el contenido y estructura, es importante resaltar aquellos puntos en los que varios equipos muestran el mismo interés al analizar los datos obtenidos durante la experimentación, esto nos indica cuales fueron los rubros en los que se mostró más interés para lograr el entendimiento del fenómeno estudiado.

En primera instancia los equipos mencionan el uso de la constante de producto de solubilidad y la solubilidad molar para lograr predecir el orden de precipitación de los cationes metálicos, si bien existen disparidad en los comentarios se tiene claro que la constante de solubilidad en relación con otros factores como la temperatura, efecto del ion común, pH guardan una conexión importante al momento de realizar la separación de cationes metálicos mediante equilibrios de solubilidad.

Los equipos 5, 6, 9 y 10, realizan una retroalimentación relacionada a los problemas metodológicos que se presentaron durante la práctica, donde gana protagonismo la preparación de las disoluciones y la calidad de la filtración durante la separación. Si bien el éxito de la práctica depende de muchos otros factores, el equipo 10 realiza la hipótesis que al tener un buen sistema de filtración la práctica se hubiese llevado con éxito.

Si bien, aunque se hayan presentado conclusiones con ciertas deficiencias en tanto a la estructura y contenido, es alentador que algunos equipos (1, 5, 6 y 10) realizan conclusiones fundamentadas en fenómenos estudiados de igual manera que incluyen al proceso experimental como parte de la explicación de los resultados observados.

Conclusiones

Con base en los resultados reportados por los equipos en el capítulo anterior, se demuestra que, implementar trabajos prácticos con un enfoque de indagación en el laboratorio de Química General II fomenta en los alumnos el desarrollo de habilidades de pensamiento científico; sin embargo, estas habilidades se desarrollan de forma irregular entre los estudiantes, como se puede observar en el análisis de cada una de las secciones del capítulo anterior.

El desarrollo de las habilidades de pensamiento científico en los alumnos obedece diversos factores, entre los que se encuentran: la comprensión del objetivo de cada actividad durante la experimentación, y el interés del alumno en la realización de las actividades, esto a la par que la experimentación fue realizada vía remota sin contar con el ambiente adecuado de un laboratorio de enseñanza. Se observa que un aspecto importante la calidad del trabajo de los alumnos está relacionada con el interés que estos tuvieron durante la implementación, aquellos equipos que presentaron un trabajo más cercano a los objetivos de cada actividad fueron aquellos que presentaron el mayor interés, durante el trabajo experimental, también abordan de forma notable el planteamiento de preguntas, hipótesis, metodología, análisis, conclusiones y respuestas.

Al considerar que el interés es un factor importante en el desarrollo de las habilidades científicas es importante también considerar los retos que representó la implementación en línea. La falta de comunicación en tiempo real con cada uno de los equipos de trabajo es un factor importante en el éxito o fracaso de las actividades realizadas esto debido a la seguridad con la que cada alumno trabaja en el experimento, y el surgimiento de dudas que no pueden ser contestadas exactamente al momento de su aparición.

A su vez los alumnos deben ser los responsables en todo momento de conseguir los insumos necesarios para elaboración de la experimentación, algo que fue un factor importante en los resultados obtenidos por los equipos, en los cuales se mostraba gran disparidad entre los materiales que cada uno disponía para

trabajar. Si bien la práctica se adaptó en la medida de lo posible para que pudiese ser realizada en casa, los materiales utilizados por los equipos difieren en gran medida, desde aquellos que no tenían una balanza para realizar mediciones, hasta aquellos que no disponían de recipientes adecuados para trabajar. La suma de falta de comunicación y falta de insumos adecuados generaron un reto para los alumnos y el docente, un reto que puede ser atendido realizando las modificaciones pertinentes a cada experimentación. Sin embargo, existen factores externos personales que cada alumno tiene que enfrentar, factores en los que no se puede tener un control o hacer modificaciones, como lo son: contar con un ambiente adecuado para el manejo de sustancias químicas, el espacio para trabajar sin interrupciones, y contar con los medios para mantener comunicación con la clase sin intermitencias.

En conjunto, todas estas limitantes supusieron un desafío para la realización de este trabajo, por lo que dotar a los alumnos de un ambiente adecuado para la experimentación elimina ciertos obstáculos que pueden afectar el desempeño académico durante su formación.

A su vez, la implementación de una práctica con enfoque de indagación representa un reto en sí mismo para el alumno, ya que lo vuelve el protagonista de su propio aprendizaje, mientras que el profesor funciona como una guía para la adquisición del conocimiento. Este cambio de enseñanza puede ser un elemento ambivalente en la formación del estudiantado; por un lado, puede favorecer que algunos estudiante pierdan el interés en las actividades a realizar, debido a que representa un gran cambio en la formación académica a la que están acostumbrados durante toda su educación, y se les proporciona una mayor responsabilidad; por otro lado, estas mismas razones llevan a los estudiantes a involucrarse más y estar más comprometidos con su propio aprendizaje. Debido a esto la implementación de actividades basadas en indagación supone un desafío para los profesores ya que estos deben ser capaces de abordar los temas de una forma creativa para evitar la pérdida de interés en los alumnos, a su vez que realiza las evaluaciones de estas habilidades de pensamiento científico.

El trabajo realizado por los alumnos demuestra que se puede desarrollar habilidades como plantear preguntas, hipótesis, generar metodologías experimentales y realizar análisis de resultados que deriven en conclusiones científicas, por lo que implementar este tipo de enfoque desde los primeros semestres de la carrera y continuar su aplicación durante todo el mapa curricular, puede generar grandes beneficios en el desarrollo de estas habilidades necesarias para una formación profesional orientada a las ciencias.

Referencias

- Awalin, N. A., & Ismono, I. (2021). The implementation of Problem based learning model with stem (science, technology, engineering, mathematics) approach to train students' science process skills of xi graders on chemical equilibrium topic. *INSECTA: Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.21154/insecta.v1i2.2496>
- Bopegedera, A. M. R. P., & Coughenour, C. L. (2021). An Interdisciplinary, Project–Based Inquiry into the Chemistry and Geology of Alkaline Surface Lake Waters in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1352–1360. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00315>
- Camacho, H., Casilla, D., & de Franco, M. F. (2008). La indagación: una estrategia innovadora para el aprendizaje de procesos de investigación. *Revista de Educación*, 24.
- Cessna, S. G., Kishbaugh, T. L. S., Neufeld, D. G., & Cessna, G. A. (2009). A Multiweek, Problem–Based Laboratory Project Using Phytoremediation To Remove Copper from Soil. General Chemistry Labs for Teaching Thermodynamics and Equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 86(6), 726. <https://doi.org/10.1021/ed086p726>
- Chamizo, J. A., & Izquierdo Aymerich, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Educación Química*, 18 (1), 6. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2007.1.65971>
- De Jong, T., & Van Joolingen, W. R. (1998). *Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. doi:10.3102/00346543068002179
- Driel, J. H., & Gräber, W. (2003). The Teaching and Learning of Chemical Equilibrium. En J. K. Gilbert, O. Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research–based Practice* (Vol. 17, pp. 271–292). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_12
- Florez–Nisperuza, E. P., & De la Ossa Albis, A. F. (2018). La indagación científica y la transmisión–recepción: Una contrastación de modelos de enseñanza para el aprendizaje del concepto densidad. *Revista científica*, 1(31), 55–67. <https://doi.org/10.14483/23448350.12452>
- Garritz, A. (2010). Indagación: Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106–110. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30159-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30159-9)
- Hofstein, A. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. En K. S. Taber & B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 357–368). Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_26

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201–217. <https://doi.org/10.3102/00346543052002201>

Kuang, X., Eysink, T.H.S., & Jong, T. (2020). Effects of providing partial hypotheses as a support for simulation–based inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(4), 487–501. <https://doi.org/10.1111/jcal.12415>

Lawson, A. E. (2000). *Managing the Inquiry Classroom: Problems & Solutions*. *The American Biology Teacher*, 62(9), 641–648. doi:10.2307/4451002

Lombard, F. E., & Schneider, D. K. (2013). Good student questions in inquiry learning. *Journal of Biological Education*, 47 (3), 166–174. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.821749>

Mariños Castillo, G. A., & Apolaya Sotelo, J. P. (2021). Learning of physical sciences in university students: Contributions of scientific inquiry in the development of competences. *SCIÉENDO*, 24(1), 17–25. <https://doi.org/10.17268/sciencdo.2021.002>

Nirmala, W., & Darmawati, S. (2021). The Effectiveness of Discovery–Based Virtual Laboratory Learning to Improve Student Science Process Skills. *Journal of Education Technology*, 5(1), 103. <https://doi.org/10.23887/jet.v5i1.33368>

Oh, P. S. (2009). How can Teachers Help Students Formulate Scientific Hypotheses? Some Strategies Found in Abductive Inquiry Activities of Earth Science. *International Journal of Science Education*, 32(4), 541–560. doi:10.1080/09500690903104457.

Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: A review of research and the case of Turkey. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9(3), 225–233. <https://doi.org/10.1039/B812411F>

Padilla Martínez, K., & Balderrama Campos, J. L. (2019). Developing scientific thinking skills through teaching chemical reaction with inquiry–based teaching. *Educación Química*, 30(1), 93. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.64614>

Pamenang, F. D. N., Harta, J., Listyarini, R. V., Wijayanti, L. W., Ratri, M. C., Hapsari, N. D., Asy'ari, M., & Lee, W. (2020). Developing chemical equilibrium practicum module based on guided inquiry to explore students' abilities in designing experiments. *Journal of Physics: Conference Series*, 1470(1), 012097. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1470/1/012097>

Reyes–Cárdenas, F., & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415–421. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30129-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30129-5)

Rua, A. M. L., & Alzate, Ó. E. T. (2012). *Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales*. 23. 145–166.

Russell, C. B., & Weaver, G. (2008). Student Perceptions of the Purpose and Function of the Laboratory in Science: A Grounded Theory Study. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 2(2). <https://doi.org/10.20429/ijsotl.2008.020209>

Schmid, S., & Bogner, F. X. (2015). *Does Inquiry–Learning Support Long–Term Retention of Knowledge?* *International Journal of Learning Teaching and Educational Research*. 10 (4), 51–70.

Tyson, L., Treagus, D. F., & Bucat, R. B. (1999). The complexity of teaching and learning chemical equilibrium. *Science and Education*, (5), 554–558.

Utami, S., & Sundari, S. (2019). Inquiry–Based Learning for Improving Student Learning Outcomes: Literature Review. *Journal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 5(1), 49–62. <https://doi.org/10.21009/1.05106>

Vanags, T., Pammer, K., & Brinker, J. (2013). Process–oriented guided–inquiry learning improves long–term retention of information. *Advances in Physiology Education*, 37(3), 233–241. <https://doi.org/10.1152/advan.00104.2012>

Wheeler, L. B., Clark, C. P., & Grisham, C. M. (2017). Transforming a Traditional Laboratory to an Inquiry–Based Course: Importance of Training TAs when Redesigning a Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 94(8), 1019–1026. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00831>

Anexo A. Propuesta de práctica

Laboratorio de Química General II | **Equilibrios de solubilidad**

Introducción:

El día 06 de agosto de 2014 se derramaron al Arroyo Tinajas del Municipio de Cananea, Sonora, unos 40,000 m³ de disolución ácida enriquecida con cobre, hierro y otros metales pesados disueltos (disolución ácida ferro–cuprífera).

Esta disolución ácida ferro–cuprífera fue derramada del represo de “solución preñada” denominado “Tinajas 1”, que se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Empresa Buenavista del Cobre (BVC), subsidiada de Grupo México (GM).

Hasta a la fecha se han hecho estudios para valorar la calidad de los cuerpos de aguas, sedimentos y suelos, asociados al derrame. De acuerdo con los resultados reportados por CONAGUA y de los resultados del muestreo orientativo realizado por el grupo de la UNAM, se puede afirmar:

- La disolución derramada no contiene mercurio, bario, ni antimonio.
- La carga contaminante asociada al derrame y vertida a los arroyos de la cuenca del río Sonora es en orden descendente: 43,200 kg de hierro, 19,440 kg de aluminio, 4,560 kg de cobre, 3,924 kg de manganeso.

Problema:

Tu trabajo como estudiante de química es corroborar la información sobre la presencia de los iones metálicos presentes en el agua. Para ello, deberás diseñar una estrategia experimental que te permita separar los iones e identificarlos utilizando tus conocimientos en equilibrios de solubilidad.

Tu profesor te proporcionará una disolución que contiene de dos a cuatro de los metales que se reportaron como presentes en el derrame.

Elabora un diagrama de flujo en donde muestres los procedimientos que llevarás a cabo, así como los reactivos que utilizarás recuerda que lo más simple es lo mejor. Consúltala con tu profesor para que la apruebe.

Una vez que tengas la aprobación del profesor, redacta el desarrollo experimental, indicando los materiales, las sustancias, los procedimientos a seguir y las precauciones que debes tener en cuenta para llevarlo a cabo.

Recomendaciones para resolver el (los) problemas

- a) Escribe cuál sería la pregunta que estarías respondiendo para cada uno de con tus procedimientos experimentales. Para plantear tus preguntas es necesario que pienses en el fenómeno, los conceptos y el problema.
- b) Escribe cuál (o cuáles) serían una las posibles hipótesis que te ayuden a contestar tus preguntas
- c) Escribe a detalle los procedimientos experimentales que seguirán para resolver sus problemas
- d) Diseña una manera de registro de tus datos experimentales que sea claro y sencillo.
- e) ¿Podrías hacer uso de un modelo representacional antes y/o después de obtener tus datos?
- f) Haz un análisis de tus datos y escribe la respuesta a tu pregunta. Especifica el razonamiento que utilizaste para llegar a ella.

Reflexiones sobre la solución al problema

- a) ¿Consideras que con tu propuesta experimental estás contestando tu pregunta? Justifica tu respuesta
- b) ¿Cuál es el grado de precisión de tus mediciones? ¿Por qué?
- c) ¿A qué dificultades experimentales te enfrentaste? ¿Cómo las resolviste?
- d) ¿Estas dificultades hicieron que llegarás a una solución y no a otra? Justifica tu respuesta.
- e) Dentro de todo el proceso que seguiste, ¿qué argumentos/ parámetros/ elementos/ te ayudaron a contestar tu pregunta? ¿Por qué?

- f) ¿Qué fue lo más importante que aprendiste al resolver el problema central de esta práctica?
- g) ¿Podrías solucionar este problema de alguna otra forma? Justifica tu respuesta.

Para dicha metodología se tenía planeado la utilización del laboratorio para contar con todo el material y un lugar seguro para trabajar, por lo que se planteó la siguiente posible solución al problema, en la cual los estudiantes, haciendo uso de sus conocimientos previos pueden lograr la separación de los iones metálicos en disolución.

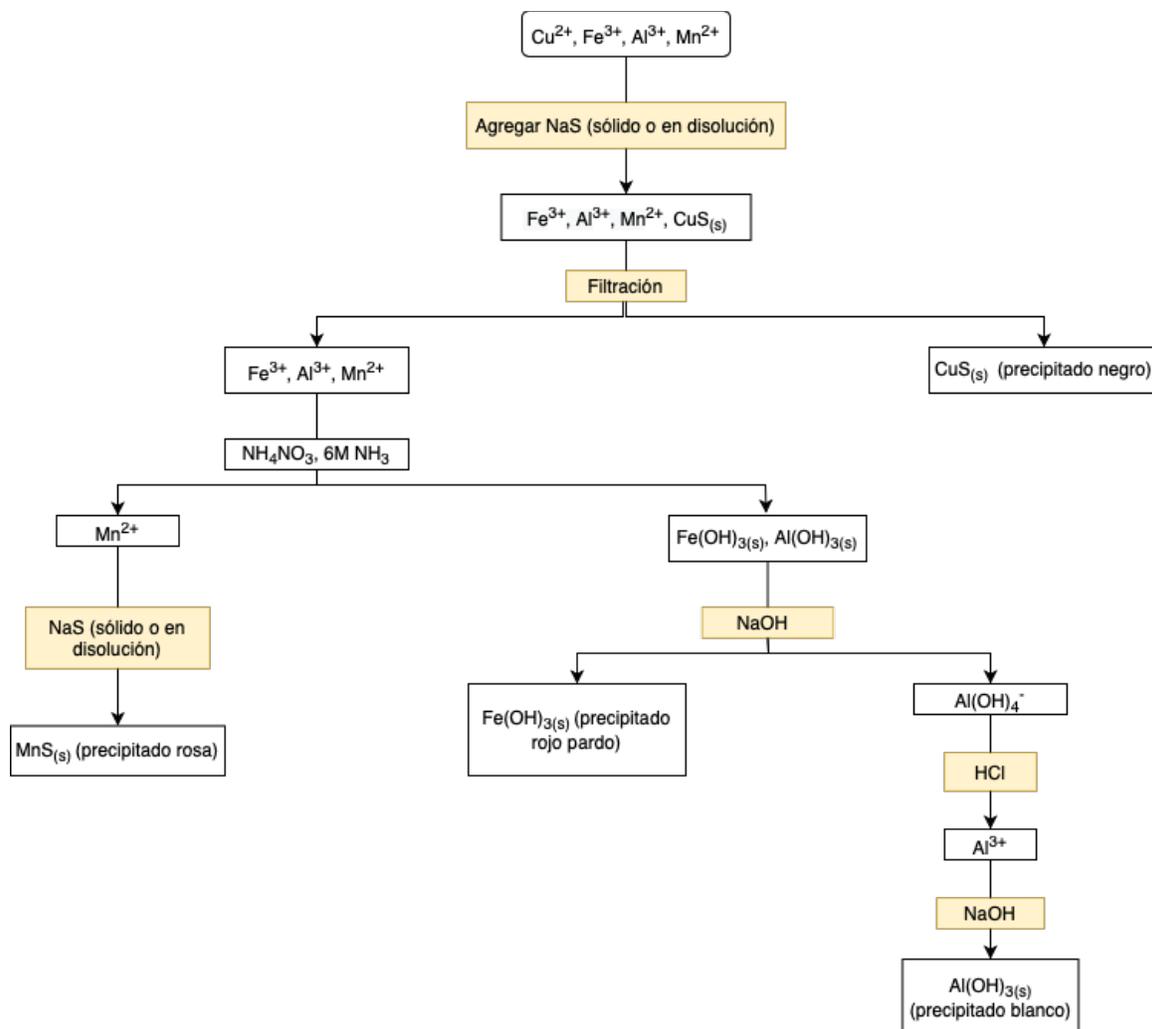


Diagrama A.1. Metodología propuesta para la resolución de la problemática planteada

Modificaciones realizadas a la práctica:

Debido a que la práctica fue realizada por los alumnos en sus respectivas casas, el problema sufrió una modificación, en la cual se elimina al manganeso como contaminante de la muestra problema. Esta decisión se toma respaldada con la dificultad para conseguir una sal soluble de manganeso de bajo costo que fuese accesible para todos, a su vez, el uso de reactivo se vio limitado por lo que se decidió trabajar únicamente con hidróxido de sodio como agente precipitante, esto debido a la facilidad que se tiene de conseguir este reactivo en comparación con otros utilizados en el problema original, por lo que se propone la siguiente metodología para la separación de la muestra problema.

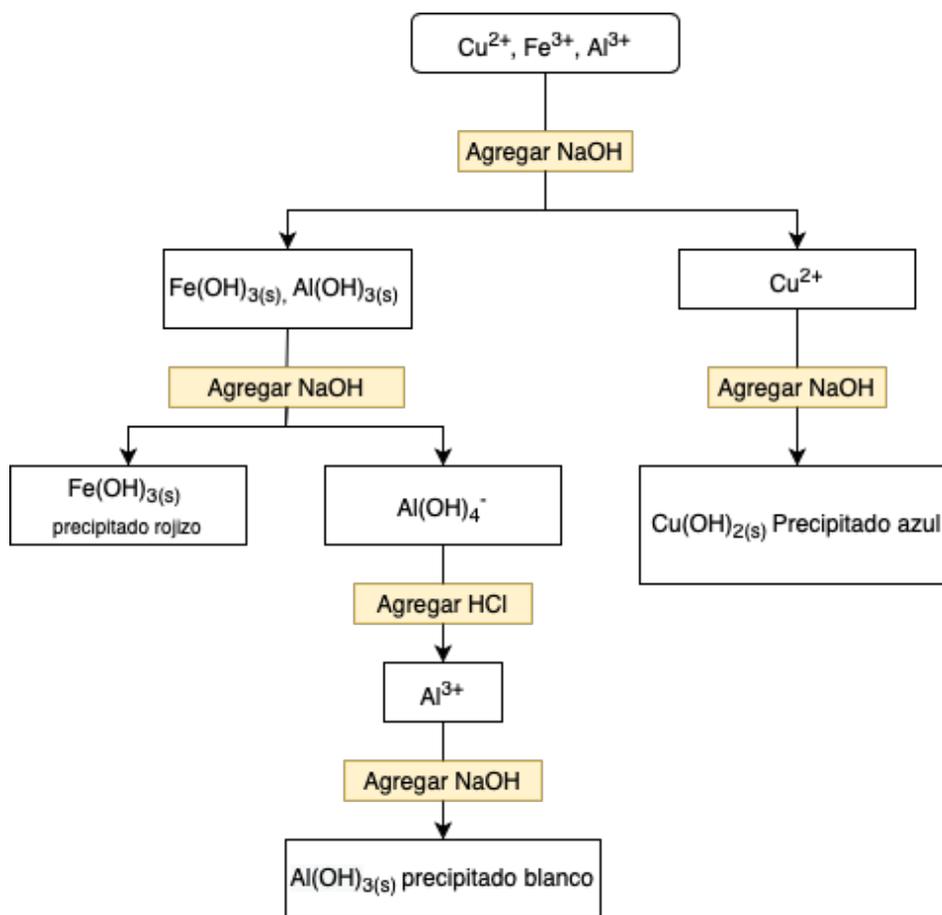


Diagrama A.2. Metodología propuesta para la resolución del problema modificado

Si bien, el problema plantea que el profesor asignará una mezcla problema esto no se pudo llevar a cabo al no contar con la disponibilidad de los laboratorios de la facultad, por lo que los alumnos prepararon sus propias muestras problema.

Anexo B. Investigación previa

Investigación previa:

1. Investiga qué son los equilibrios heterogéneos
2. Investiga cómo puedes determinar la solubilidad de una sustancia a partir de la constante de equilibrio
3. Investiga qué factores pueden afectar a los equilibrios de solubilidad y cuál es la implicación para el sistema químico.
4. Investiga cómo puedes precipitar iones en disolución de manera selectiva.

Ejemplo de investigación previa realizada por un alumno del grupo de laboratorio.

Investiga qué es el producto de solubilidad y cómo afecta a la solubilidad de las sales

En los compuestos iónicos el producto de solubilidad es el producto de la concentración molar de los iones resultante del equilibrio, donde se eleva cada uno a una potencia dependiendo del número de su coeficiente estequiométrico.

Hay sales más solubles que otras, mediante la constante de solubilidad podemos observar cuál es más soluble que otra que se esté comparando, pues entre más pequeña sea, menos soluble es la sal.

Identifica cómo se determinan la solubilidad molar y solubilidad

**Ambas se refieren a una disolución saturada.*

**Será la cantidad de sustancia disuelta en cierta cantidad de agua para producir una disolución saturada.*

La solubilidad (g/L) gramos de soluto en un 1 L de disolución.

Solubilidad molar (mol/L) mol de soluto en 1 L de disolución

Describe cuáles son los factores que afectan a la solubilidad (ion común, pH, temperatura)

La solubilidad es afectada por la temperatura, al aumentar hace que la solubilidad también aumente y al decrecer la solubilidad se haga menor.

**La presión tiene un mayor impacto en la solubilidad de gases, donde al aumentar la presión aumenta la solubilidad.*

En una disolución con varias especies interactuando, se incrementa la concentración de cualquiera de los iones disociados, mediante la adición de otra sustancia que contenga el mismo ion, al modificar la concentración en productos el

desplazamiento se irá a reactivos lo que producirá mayor precipitado y disminuirá la solubilidad de la sal en la disolución.

El pH depende de los iones disociados en las soluciones, la solubilidad de las sales que contienen aniones básicos se hace más grande mientras el pH disminuye.

Describe qué es y cómo se aplica la precipitación fraccionada en la separación de sales.

Para que se presente una precipitación fraccionada tiene que haber dos o más iones en disolución, todos ellos capaces de precipitar en un reactivo común, mientras que un ion precipita (reactivo), otros dos aún siguen en la disolución.

Una de las principales condiciones es que haya una diferencia significativa en la solubilidad de las sustancias a utilizar.

A partir del producto de solubilidad, se puede decir cuál de los iones precipita primero, si es completa o cuando precipita el segundo ion, en otras palabras, es posible saber si pueden separarse cuantitativamente dos iones por precipitación fraccionada.

Anexo C. Diagrama Heurístico y características a evaluar del diagrama

Práctica No.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA. LABORATORIO DE QUIMICA GENERAL I
NOMBRE
Diagrama heurístico
A) ¿qué fenómeno (s) me interesa estudiar?
B) ¿Cuál(es) es la(s) pregunta(s) que me interesa responder sobre ese fenómeno?
C) ¿Cuáles son las hipótesis que me ayudarán a contestar mi pregunta?
D) CONCEPTOS
D1) ¿Qué conceptos me ayudarán a comprender el fenómeno?
D2) ¿Qué otros fenómenos puedo comprender con estos conceptos? (Aplicaciones)
D3) i. ¿Es posible construir un modelo teórico con lo que encontré de mis datos experimentales? ¿por qué?
E) METODOLOGÍA
E1) ¿Qué procedimiento experimental me ayudará a contestar mi(s) preguntas (as)?
E2) ¿Cómo proceso mis datos experimentales?
E3) ¿Cuál es el análisis que puedo hacer derivado de mis datos experimentales?
F) ¿Cuáles son mis Conclusiones?
G) ¿Cuál es la respuesta (as) a mi (s) pregunta (as)?
H) Referencias Bibliográficas
<i>De los hechos:</i>
<i>De los conceptos:</i>
<i>De la metodología:</i>
Autoevaluación (total de puntos)/33 puntos posibles

Tabla C.1. Diagrama Heurístico para evaluar prácticas científicas

a) PREGUNTA	
0	No hay pregunta
1	Hay una pregunta cerrada basada en los fenómenos
2	Hay una pregunta semiabierta basada en los fenómenos y que incluye conceptos
3	Hay una pregunta semiabierta o abierta basada en los fenómenos, que incluye conceptos y que sugiere aspectos metodológicos.
b) HIPÓTESIS	
0	No hay hipótesis
1	Se plantea una frase, pero no tiene estructura de hipótesis
2	Se plantea una hipótesis, pero no considera aspectos metodológicos
3	Se plantean hipótesis y se relacionan con aspectos metodológicos, fenómeno y resultados.
c) PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	
0	No hay procedimiento experimental
1	Hay un procedimiento que no da una respuesta satisfactoria a la pregunta
2	Hay un procedimiento experimental basado en el fenómeno, pero no permite contestar la pregunta
3	Hay un procedimiento experimental basado en el fenómeno y permite contestar la pregunta
d) ANÁLISIS DERIVADO DE LOS DATOS	
0	No hay análisis
1	El análisis no incorpora a los datos experimentales
2	El análisis incorpora a los datos experimentales y hace una relación con los conceptos
3	El análisis incorpora a los datos experimentales, además de la reacción con los conceptos y el modelo
e) CONCLUSIONES	
0	No hay conclusiones
1	Las conclusiones no involucran los datos, ni la metodología
2	Las conclusiones involucran datos y metodología, pero no se mencionan los límites derivados de la experimentación.
3	A partir de los datos, modelos y metodología se determinan los límites y alcances de la investigación, así como las posibles rutas de estudio.
f) ¿CUÁL ES LA(S) RESPUESTA(S) A MI(S) PREGUNTA(S)?	
0	No hay respuesta
1	Hay respuesta y se identifican los errores
2	Hay respuesta y se identifican y explican los errores
3	Hay respuesta y se identifican y explican los errores y se propone una alternativa razonable de solución

Tabla C.2. Formato de evaluación del diagrama heurístico