Armonización entre la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química

Fabio Ernesto Capera Cárdenas

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Medellín, Colombia
2025

Armonización entre la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química

Fabio Ernesto Capera Cárdenas

Trabajo Final de Maestría presentado como requisito parcial para optar al título de: **Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales.**

Modalidad: Práctica docente en la Facultad de Ciencias

Daniel Barragán, Doctor en Ciencias-Química
Profesor Asociado
Departamento de Química

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Medellín, Colombia
2025

Dedicatoria o Lema

***A Dios**, por brindarme la fortaleza y claridad para culminar este proyecto, recordándome que cada desafío es una oportunidad para crecer en sabiduría y humildad.*

***A mis padres**, por ser mi soporte inquebrantable. Su amor, sacrificios y palabras de aliento transformaron cada obstáculo en un motivo para seguir adelante.*

***A Daniel Barragán,** director de trabajo de grado y profesor, por su paciencia, disposición y mentoría inspiradora. Sus enseñanzas no solo enriquecieron este trabajo, sino que moldearon mi visión de la investigación como un acto de servicio al conocimiento.*

La educación universitaria no es solo transmitir conceptos, sino encender la chispa de la curiosidad y el pensamiento crítico. Cada clase, cada práctica de laboratorio, es una semilla que puede germinar en soluciones innovadoras para los desafíos globales. Como docentes, tenemos el privilegio y la responsabilidad de evolucionar continuamente: adoptar metodologías activas, integrar tecnologías emergentes y, sobre todo, escuchar a los estudiantes para construir aprendizajes que trasciendan el aula. La enseñanza no es un fin, sino un viaje de mejora constante donde cada error es una lección y cada logro, un recordatorio de que estamos formando no solo profesionales, sino ciudadanos conscientes y creativos.

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica para la enseñanza de la estequiometría y la reactividad química, fundamentada en el modelo de aprendizaje significativo de Ausubel y diseñada para armonizar la conceptualización teórica con la experimentación práctica en estudiantes de la asignatura Química General de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. El trabajo se desarrolla en tres fases: (1) revisión crítica de marcos teóricos y experimentales, (2) diseño de actividades de aula-laboratorio basadas en el método de Job termométrico y (3) validación experimental en condiciones controladas en el laboratorio: determinación de la estequiometría de reacción a partir de mediciones del cambio en la temperatura. Las actividades propuestas demandan el anclaje de conocimientos previos a experiencias concretas, utilizando reactivos accesibles y protocolos seguros. La metodología propuesta, a parte de la factibilidad de implementación como práctica de laboratorio, tiene el potencial de aportar a transformar la estequiometría, de un tema abstracto a un proceso de indagación guiada, donde los estudiantes relacionan ecuaciones químicas con fenómenos observables.

Palabras Clave: Estequiometría, laboratorio, reactividad química, aprendizaje significativo de Ausubel, método de Job

Abstract

Harmonization between conceptualization and experimentation of stoichiometry and chemical reactivity.

This thesis presents a didactic proposal for the teaching of stoichiometry and chemical reactivity, based on Ausubel's significant learning model and designed to harmonize theoretical conceptualization with practical experimentation in students of General Chemistry courses at the National University of Colombia. The methodology consists of three stages: (1) critical review of theoretical and experimental frameworks, (2) design of classroom-laboratory activities based on the thermometric Job method and (3) experimental validation under controlled conditions in the laboratory: determination of reaction stoichiometry from temperature change measurements (ΔT). The proposed activities seek to promote previous knowledge to concrete experiences, using accessible reagents and safe protocols. The proposal proved to be feasible and replicable, highlighting its potential to transform stoichiometry from an abstract topic into a guided inquiry process, where students relate chemical equations to observable phenomena.

Keywords: Stoichiometry, laboratory, chemical reactivity, Ausubel's meaningful learning, Job's method.

Contenido

Dedicatoria o Lema III
Resumen IV
Abstract V
Contenido VI
Introducción 9
1. **DISEÑO TEÓRICO** 11
1.1 Selección y delimitación del tema 11
1.2 Planteamiento del Problema 11
1.2.1 Antecedentes 11
1.2.2 Descripción del problema 14
1.2.3 Formulación de la pregunta 17
1.3 Justificación 17
1.4 Objetivos 18
1.4.1 Objetivo General 18
1.4.2 Objetivos Específicos 18
2. **MARCO REFERENCIAL** 18
2.1 Referente Teórico 19
2.2 Referente Conceptual-Disciplinar 23
2.2.1 Análisis del material de aula y de las prácticas de laboratorio de la temática de interés en la asignatura Química General de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín 28
2.2.2 Método de Job para el diseño experimental. 32
2.3 Marco Legal 35
2.4 Referente Espacial 38
3. **DISEÑO METODOLÓGICO** 41
3.1 Investigación aplicada 41
3.2 Enfoque 41
3.3 Método 42
3.4 Delimitación y alcance 44

3.5. Diseño de los experimentos para una actividad de laboratorio 46
3.6. Pasos básicos para implementar el método de Job termométrico 50
3.7. Estructura de la actividad de aula-laboratorio. 51
4. **TRABAJO FINAL** 52
4.1. Resultados y Análisis 52
4.1.1. Resultados y análisis de los experimentos. 52
4.1.2. Integración entre aprendizaje significativo y los experimentos. 65
4.2. Actividad de aula-laboratorio sugerida 68
5. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA UNA FUTURA INTERVENCIÓN**..... 72
5.1. Evaluación de la Viabilidad (Equipos, Costo, Seguridad) 72
5.2. Estrategias de Adaptación a Diferentes Realidades 72
5.3. Valor Pedagógico en la Enseñanza de Estequiometría y Reactividad 73
5.4. Otras opciones para la Implementación del Método de Job 75
5.5. Acciones recomendadas para investigar la discrepancia entre datos experimentales y teóricos. 77
REFERENCIAS..... 78
Anexos. 86
Anexo A. Secuencia Didáctica 86
Anexo B. Cuestionario De Conocimientos Previos 92
Anexo C. Cuestionario Previo A La Fase Experimental 94
Anexo D. Cuestionario Posterior A La Fase Experimental 96
Anexo E. Rubrica Para Evaluar El Proyecto Final 98
Anexo F. Guía De Laboratorio Para Hacer La Práctica Experimental 102

Lista de figuras

Figura 1. Diagramas esquemáticos de Job para reacciones…….25
Figura 2. Articulación del referente espacial con el referente legal, disciplinar y teórico para el desarrollo de la propuesta …….……40
Figura 3. Planeación y ejecución del diseño experimental …….……..….……..….…...44
Figura 4. Materiales para llevar a cabo los experimentos propuestos.…….…….49
Figura 5. Resultados del diseño y simulación en Excel del Experimento 1……..…..53
Figura 6. Gráfica de Job de los resultados en el laboratorio del Experimento 1……....54
Figura 7. Resultados del diseño y simulación en Excel del Experimento 2..……58
Figura 8. Gráfica de Job de los resultados en el laboratorio del Experimento 2……...59

Lista de tablas

Tabla 1. Antecedentes……..……...11
Tabla 2. Normograma……..35
Tabla 3. Resultados del diseño del experimento 1 al realizarlo en el laboratorio…….53
Tabla 4. Resultados del diseño del experimento 2 al realizarlo en el laboratorio ……58

Introducción

La enseñanza de la temática de reactividad química y estequiometría en los programas profesionales de ingeniería en la Universidad Nacional de Colombia requiere de esfuerzos para armonizar la conceptualización de la actividad docente en el aula de clase con la experimentación en el laboratorio.

En este sentido se diseña y desarrolla una propuesta metodológica que parte de la revisión crítica de las prácticas de laboratorio tradicionalmente usadas en cursos de Química General, y a la que se integra un enfoque constructivista para plantear nuevas metodologías. Bajo el modelo de aprendizaje significativo de Ausubel, se diseñan actividades que vinculan conceptos previos con experiencias prácticas, con el objetivo de armonizar la estequiometría, como herramienta cuantitativa, con la reactividad como fenómeno dinámico, transformando la enseñanza tradicional en un proceso activo donde los estudiantes exploran, contrastan y aplican conceptos.

La propuesta está diseñada y organizada de la siguiente manera: primero se presenta un referente teórico fundamentado en el aprendizaje significativo, un referente conceptual donde se describen los contenidos del área de estudio sobre los cuales se realizaron las actividades, un referente legal y un referente espacial que incluyen la normativa vigente en los procesos de enseñanza a nivel superior y el lugar al que va dirigida la propuesta; segundo el diseño de las actividades y simulación de los experimentos que pretenden armonizar lo que se dicta en el aula y lo que se hace en el laboratorio; por último las conclusiones del trabajo realizado y la presentación de las referencias.

Para el desarrollo de esta propuesta de enseñanza se desarrollaron dos experimentos que involucran productos comerciales comunes del día a día. La enseñanza contextualizada permite al estudiante relacionar lo visto en el aula de clase con las experiencias prácticas en el laboratorio, promoviendo así un aprendizaje significativo, según Ausubel, (1978): la conexión entre la teoría y la práctica permite que los conceptos abstractos se asimilen a partir de experiencias reales. También es importante resaltar que los saberes adquiridos sean útiles y transferibles a diferentes contextos (Moreira, 2012), lo cual enriquece y consolida el proceso educativo de manera duradera. De esta

manera se pretende contribuir al diseño e implementación de estrategias didácticas que contribuyan a la enseñanza de la química para mejorar la comprensión de la temática de reactividad química y estequiometría.

1. DISEÑO TEÓRICO

1.1 Selección y delimitación del tema

Se seleccionó el área de la química y la temática de reactividad química y estequiometría por considerarla un tema fundamental para el aprendizaje y la comprensión de los conceptos disciplinares de la química, dirigida especialmente en los estudiantes que deben matricular la asignatura Química General en la Universidad Nacional de Colombia.

La estequiometría y la reactividad química son pilares fundamentales de la estructura conceptual de la química, inclusive alcanzando el estatus de conceptos estructurantes de la disciplina. En atención a los extensión y complejidad que pueden llegar a tener, en este trabajo se aborda específicamente como se puede determinar y/o verificar la estequiometría de una reacción química a partir de un experimento de laboratorio. Partiendo de lo tradicional, que es que en el aula de clase se enseñanza como balancear una ecuación de una reacción química, y que en el laboratorio se llevan a cabo experimentos que hacen uso de esa ecuación balanceada (por ejemplo, en una titulación), en este trabajo mostramos como se implementa una metodología para llevar a cabo la enseñanza partiendo desde la experimentación.

1.2 Planteamiento del Problema

1.2.1 Antecedentes

Tabla 1. **Antecedentes.**

Autor/año	Título	Resumen
Tatsuoka T. et al. (2015)	Utilización de una investigación de laboratorio con estudiantes de secundaria para determinar la estequiometría de reacción de la neutralización mediante un enfoque termoquímico.	Este trabajo presenta el diseño y la aplicación práctica de una indagación de laboratorio en el nivel de química de la escuela secundaria para el aprendizaje sistemático de la química, ejemplificado por un enfoque termoquímico de la estequiometría de reacción de la neutralización utilizando el método de Job de variación continua. En la investigación de laboratorio, se pide a los estudiantes que propongan los principios del método de Job y del análisis de datos para determinar la estequiometría de la reacción, además de la adquisición

		y el análisis de datos experimentales. (…) Esta actividad de laboratorio vincula estrechamente las diferentes unidades de aprendizaje y se espera que sea eficaz en las estrategias educativas que implican el aprendizaje sistemático de la química en los institutos (Tatsuoka T. et al. 2015).
Olasz M. et al. (2024)	Determinación de la estequiometría de reacción aplicando el método de Job y el procesamiento digital de imágenes para reacciones de precipitación.	Aquí se presenta un sencillo experimento en tubo de ensayo para demostrar la aplicación del método de Job para la determinación de la estequiometría de reacciones en las prácticas de laboratorio de estudiantes de bachillerato o universitarios. Se aplican varias reacciones de precipitación, todas las cuales producen precipitados blancos y, por tanto, sirven como sistemas desconocidos perfectos para los estudiantes, para observar diferentes relaciones estequiométricas. (…) Los experimentos son seguros, robustos y baratos, y las mediciones pueden llevarse a cabo utilizando una simple regla si no se dispone de procesamiento digital de imágenes (Olasz M. et al. 2024).
Tabares Ospina (2018)	Diseño e implementación de un proyecto de aula que contribuya al aprendizaje de la estequiometria a partir del aprendizaje basado en problemas y la experimentación.	En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos del diseño e implementación de una estrategia de aula dirigida al aprendizaje de la estequiometría en las estudiantes del grado décimo de la Institución Educativa Santa Juana de Lestonnac. (…) A partir del Aprendizaje Basado en Problemas, (ABP), se plantean prácticas de laboratorio haciendo uso de productos comerciales que se encuentran en el entorno, tales como el vinagre y bicarbonato para realizar una titulación ácido – base. El uso de éste tipo estrategias, donde las estudiantes manipulan un determinado material disponible en su entorno, permite potenciar habilidades y destrezas fundamentales para la construcción del conocimiento científico. Las alumnas participan activamente en la planeación y ejecución del experimento, logrando identificar los insumos y procedimientos necesarios para obtener un resultado satisfactorio (Tabares Ospina 2018).

Del Valle Montoya (2012)	Enseñanza de la estequiometria con un enfoque sistémico: estudio de casos	(…) El diseño de la propuesta pretende demostrar la asimilación de conceptos en un proceso enseñanza-aprendizaje usando un método basado en el estudio de casos con una postura constructivista, donde los estudiantes interiorizan los conceptos por medio de mapas conceptuales los cuales se comparan, se corrigen y socializan, para luego pasar a la aplicación de dichos conceptos en casos concretos donde el estudiante accede al laboratorio y aplica los conceptos ya aprendidos a través de prácticas bien documentadas y donde cada paso a realizar esta mediado por conocimientos previos articulados entre sí y no de forma aleatoria, al final se espera que los estudiantes entiendan y comprendan tanto el concepto macro como micro del tema propuesto (Del Valle Montoya 2012).
Sánchez Medina (2020)	Aprendizaje basado en problemas (ABP) como estrategia para el aprendizaje de la estequiometría.	En este trabajo se determinaron las ideas previas y las dificultades conceptuales que los estudiantes de grado undécimo de la Institución Educativa San Pablo del municipio de Pueblo Rico, Risaralda poseen frente a la comprensión de la estequiometría y conceptos subyacentes; (…) La dinámica interna de la secuencia didáctica bajo el enfoque ABP, ofrece grandes posibilidades para el mejoramiento del proceso de aprendizaje de la estequiometría debido a que, al emplear problemas contextualizados y estudiarlos en un orden lógico, secuencial y coherente, contribuye al aprendizaje significativo de los conceptos al mostrarle al estudiantado la utilidad e importancia de la información que se brinda y al promover el desarrollo de habilidades de pensamiento mediante la activación de procesos cognitivos que generan acción intelectual (Sánchez Medina 2020).
Henao Valencia (2019)	Estrategia para el aprendizaje significativo de la estequiometría química	Diferentes estudios han demostrado la dificultad que representa para los estudiantes de Educación Media el aprendizaje de la química, debido a su lenguaje abstracto y a la complejidad en la solución de problemas que implican el uso de cálculos matemáticos. De ahí, que esta investigación presenta una estrategia para el aprendizaje significativo de la estequiometría química en

		estudiantes de grado décimo, que promueve el interés por construir el conocimiento científico; a partir del uso del laboratorio como experiencia real y establecimiento de la relación sinérgica entre la proporcionalidad directa y la estequiometría (Henao Valencia 2019).
Martínez B. y Pulgarín M. (2021)	La enseñanza de las reacciones químicas y la estequiometria mediadas por tic y la experimentación.	En este artículo se describe una experiencia de aula con los contenidos curriculares asociados a las reacciones químicas y la estequiometría en la educación media vocacional del Colegio Salesiano Maldonado de Tunja. La propuesta se fundamentó desde la perspectiva del aprendizaje significativo asociado a la resolución de problemas, el uso de la experimentación en ciencias y la mediación con herramientas TIC; (…) La experiencia permitió que los estudiantes generaran relaciones entre el estudio cuantitativo de reactivos y productos de reacciones químicas caseras con el desarrollo de materias primas, medicamentos y otros procesos químicos que requieren de dicho estudio para su fabricación y funcionamiento (Martínez B. y Pulgarín M. 2021).

Nota: tabla adaptada de: (Del Valle Montoya, 2012; Henao Valencia, 2019; Martínez B. y Pulgarín M., 2021; Olasz M. et al., 2024; Sánchez Medina, 2020; Tabares Ospina, 2018; Tatsuoka T. et al., 2015)

1.2.2 Descripción del problema

La estequiometría, entendida como las relaciones cuantitativas entre entidades químicas –*cálculos con ecuaciones químicas*- es el eje transversal que articula el conocimiento en química: cantidad de sustancia, preparación de disoluciones, diluciones, tránsito entre unidades de concentración, reactividad y equilibrio químico. Tradicionalmente la estequiometría se presenta en el aula de clase como el planteamiento de relaciones cuantitativas o factores de conversión que se aplican a la resolución de problemas. Para el tema de la reactividad química, la estequiometría establece las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos. Algunos de los aspectos de interés en el tratamiento cuantitativo de las reacciones química son: reactivo límite, reactivo en exceso, rendimiento de reacción y equivalencia estequiométrica. Sin embargo, en el laboratorio, en el estudio y

trabajo experimental de la química, algunas de las relaciones estequiométricas de interés no se consideran. Tal vez una de las razones para esto es que usualmente en los niveles de escolarización de bachillerato la experimentación en química tiene un enfoque ilustrativo y cualitativo.

La enseñanza de la química en Colombia ha sido objeto de análisis por varios años, las políticas educativas colombianas han buscado mejorar la calidad de la enseñanza, en general de las ciencias, aunque persisten dificultades relacionadas con la falta de recursos, la formación docente y la integración de metodologías innovadoras. Por ejemplo, el uso de prácticas de laboratorio, esenciales para la comprensión de conceptos como la estequiometría y la reactividad química, se ha visto limitado en muchas instituciones debido a la escasez de infraestructura y materiales. Además, la enseñanza de la química en la educación media en Colombia es una disciplina básica en el currículo que se ha caracterizado por estar lleno de contenidos; como producto un aprendizaje sin sentido, ni una aplicabilidad en contextos reales. Para que la enseñanza de las ciencias, y en particular de la química, sea significativa y pertinente, se han llevado a cabo investigaciones que buscan contextualizar los contenidos educativos, estas iniciativas pretenden demostrar a los estudiantes la relevancia de la química desde una perspectiva sociocultural y ambiental, presentándola como una disciplina cercana a su realidad y que responde a sus inquietudes y necesidades cotidianas (Piñeros, Y. y Parga, D., 2014). Por ejemplo, en contextos rurales, las estrategias didácticas deben adaptarse a realidades específicas, lo que ha llevado a docentes a implementar enfoques creativos para superar las barreras geográficas y socioeconómicas.

La integración de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha emergido como una alternativa prometedora para dinamizar el aprendizaje de la química, permitiendo a los estudiantes interactuar con simulaciones, laboratorios virtuales y recursos multimedia que facilitan la comprensión de conceptos abstractos. Sin embargo, su implementación efectiva enfrenta desafíos, como la falta de motivación por parte de algunos docentes, lo cual puede estar relacionado con factores generacionales o con la resistencia al cambio frente a nuevas metodologías. Esta brecha generacional y la necesidad de capacitación continua en el uso de herramientas digitales son aspectos clave que deben abordarse para garantizar que las TIC se conviertan en un apoyo real y no en una barrera para la enseñanza de la química. Un estudio publicado por Martínez L. et al. (2018), investiga sobre cómo los profesores de química de seis instituciones públicas de Bucaramanga-

Colombia se integran a la nueva cultura digital en sus clases, los maestros manifestaron que nunca habían planeado clases que involucraran el uso de programas, tutoriales o simuladores para química, el estudio concluye que hay un limitado uso de las TIC en la enseñanza de la química. Según Salcedo, L. (2008), la integración de las TIC en la enseñanza de la química crea un entorno familiar para el estudiante, facilitando la conexión entre esta disciplina, la tecnología y la sociedad de la información, así mismo, contribuye a la formación de ciudadanos con alfabetización científica.

La enseñanza de la química en las universidades debe abordar tanto su utilidad en la comprensión del mundo natural como su relevancia para distintas disciplinas. Aunque muchos estudiantes reconocen el valor de la química, no siempre sienten la necesidad de profundizar en su estudio, sino más bien de aplicarla para entender fenómenos naturales. Por ello, es fundamental adaptar los enfoques educativos a las necesidades específicas de cada profesión, evitando una enseñanza homogénea que no responda a los intereses de todos los estudiantes. Lo que para un químico resulta esencial puede no serlo para un profesional de otra área, por lo que es clave contextualizar los contenidos y mostrar su aplicación en diferentes campos del conocimiento. Esta idea se reafirma en el estudio realizado por Molina M. F. et al (2011), donde se encuestan 769 estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con el fin de evidenciar sus actitudes hacia la química. Los encuestados tomaron el curso de Química General en el segundo semestre de 2010 y pertenecían a 17 cursos con diferentes profesores. El estudio concluye señalando que los estudiantes pueden poseer mejores desempeños si se atiendes esas categorías actitudinales, realizando propuestas que tengan en cuenta la mayor parte de los intereses involucrados. Para esa fecha, según este estudio, era elevado el porcentaje de pérdida en los cursos de química general de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales pueden oscilar entre 10-60% (por profesor o curso), con una población de estudiantes heterogénea por estar compuesta por personas de varias carreras.

Otra investigación en el área de la enseñanza de la química en la educación superior fue la realizada por Sandoval et al. (2013), en donde se diseñaron y aplicaron estrategias didácticas orientadas a fomentar una mejor comprensión y asimilación del conocimiento, entre ellas, había una llamada “Experimentando la química” en donde los alumnos realizaban experimentos sencillos en el aula/laboratorio. En este estudio los autores, que son docentes, consideran que la estrategia demostró ser efectiva en el desarrollo de competencias como la planificación, la investigación, la experimentación, el análisis y la

interpretación de resultados. Además, destacan la integración entre creatividad y experimentación como una estrategia de aprendizaje poderosa, ya que facilita la interconexión, permanencia y transferencia del conocimiento desde esta asignatura hacia otras áreas del saber.

Al revisar los planes de estudio de los programas curriculares de la Universidad Nacional Sede Medellín se puede observar que la asignatura Química General se oferta de manera obligatoria para 14 programas de los 27 que tiene la Universidad hasta esta fecha, en algunos de estos se debe matricular el Laboratorio de Química General, hay ciertos programas curriculares que permiten matricular ambas asignaturas como optativas. Toda este escenario sugiere que son muchos los estudiantes que requieren los conocimientos básicos de química para afrontar otras asignaturas posteriores del área o de otra en especifica. Si se revisan las prácticas del laboratorio de Química General se observa que no hay experimentos dirigidos especialmente a la estequiometría y los que hay de reacciones químicas son ejemplos ilustrativos y reacciones de titulación, esto genera dificultades en el proceso de aprendizaje de las temáticas de interés y no se aprovecha el potencial apoyo que la asignatura de laboratorio puede brindar a la asignatura química general que se dicta en clases magistrales.

1.2.3 Formulación de la pregunta

De acuerdo con las consideraciones mencionadas anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación, **¿Es posible potenciar el aprendizaje significativo de la química, específicamente de la estequiometría y la reactividad, a partir del diseño de actividades de laboratorio que armonicen la conceptualización con la experimentación?**

1.3 Justificación

Este trabajo se plantea con el propósito de examinar alternativas para potenciar la enseñanza en el área de la química específicamente en los conceptos de estequiometría y reactividad, armonizándolos en el aula y en el laboratorio mediante el desarrollo de una experiencia de aula. Esto conducirá al estudiante a la aprehensión de esos conceptos, permitiendo así una comprensión adecuada de los mismos en la asignatura de Química General ofertada en el primer semestre a diversas carreras universitarias por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

En algunas carreras no asociadas a la Facultad de Ciencias los estudiantes solo ven la asignatura Química General como la única asignatura del área de química, por eso es importante mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos temas que representan una base fundamental en la ciencia química y en general en las ciencias naturales.

Se pretende que los estudiantes alcancen una mejor apropiación de estos conceptos que son fundamentales para la comprensión de esta área, ya que según fuentes profesorales más del 50% de los estudiantes que matriculan la asignatura Química General en el primer semestre la reprueban, siendo una de las principales causas, el grado de complejidad o de abstracción con la que perciben el proceso de enseñanza y de aprendizaje.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar actividades de aula y laboratorio orientadas a armonizar la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar críticamente el material de clase y de laboratorio usado en Química General para la enseñanza de la estequiometría y las reacciones químicas.
- Elaborar un campo conceptual para la armonización entre la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química.
- Diseñar actividades que armonicen la conceptualización y la experimentación en el aula y el laboratorio.

2. MARCO REFERENCIAL

El marco referencial constituye los fundamentos teóricos, conceptuales, legales y espaciales que son necesarios para realizar un análisis exhaustivo y lograr los objetivos establecidos. En este sección se realizará una descripción concisa de varios conceptos, teorías, antecedentes, reglamentaciones y de la ubicación espacial, todo esto relacionado directamente con los temas de interés en este trabajo.

2.1 Referente Teórico

Los estudiantes suelen valorar los contenidos científicos por su utilidad para comprender fenómenos cotidianos, aunque muestran resistencia a profundizar en su estudio si no perciben una conexión clara con sus intereses o proyectos de vida. Ausubel, (1978) advirtió que este desfase surge cuando los contenidos se presentan de manera descontextualizada, priorizando la memorización sobre el aprendizaje significativo. Por ejemplo, conceptos abstractos como la estequiometría pueden ser percibidos como "ajenos" si no se vinculan con aplicaciones prácticas (ej: cálculo de dosificaciones en medicamentos o impacto ambiental de reacciones químicas). En un estudio de la percepción de los estudiantes sobre la química realizado por Suárez, A. G. et al., (2019) se observa una clara tendencia de los estudiantes a vincular la química con algunos elementos del contexto inmediato de los estudiantes al reconocer su relación con los medicamentos, los productos de limpieza, las drogas ilegales como así también su influencia en los conflictos bélicos, el cambio climático y el desarrollo sostenible. Ausubel, (1978) afirmaba que el aprendizaje significativo se da cuando los estudiantes pueden relacionar la información nueva con conceptos y experiencia previas, esto hace relevante el nuevo conocimiento ya que puede relacionarlo con algo que él ya sabe, con esa misma idea Moreira, (2012) dice que, el estudiante se interesará por estudiar si lo que va a aprender es relevante para él. Es fundamental comprender las percepciones y concepciones de los estudiantes, ya que esto permite mejorar la práctica educativa y, en consecuencia, favorecer un aprendizaje integral (Hidalgo y Murillo, 2017).

La armonización es una estrategia metodológica en la didáctica de la química que busca integrar sistemáticamente enfoques, temas y habilidades tradicionalmente fragmentados en la enseñanza, con el fin de construir una comprensión holística y aplicada de los fenómenos químicos. Frente a la práctica común de tratar conceptos como la estequiometría, la reactividad, la termodinámica o la cinética de manera aislada (lo que genera visiones reduccionistas y desconectadas de la realidad), la armonización propone tejer conexiones significativas entre estos dominios. Por ejemplo, al estudiar una reacción redox no solo como un balance de electrones, sino como un sistema donde la estequiometría determina las proporciones, la reactividad explica la viabilidad, y la termoquímica cuantifica la energía intercambiada. Este enfoque trasciende la simple acumulación de conocimientos, ya que fomenta el aprendizaje significativo (Ausubel) al anclar nuevos conceptos a estructuras cognitivas previas mediante experiencias

concretas, por ejemplo, medir ΔT en el método de Job para validar simultáneamente cálculos molares y el comportamiento químico de los reactivos. El objetivo principal de “armonizar“ es superar la fragmentación educativa, en este caso, transformando la química en un lenguaje unificado que prepare a los estudiantes para resolver problemas complejos en contextos diversos. La armonización convierte la química en una disciplina activa, donde los estudiantes dejan de ser espectadores pasivos para convertirse en investigadores que exploran, relacionan y aplican. Al desdibujar las fronteras entre "teoría" y "práctica", entre "cálculo" y "observación", se construye un aprendizaje perdurable y transferible, capaz de responder a los desafíos científicos del siglo XXI con rigor y creatividad.

Díaz Barriga, (2005) plantea que, en el contexto educativo actual, la labor del profesor debe centrarse en diseñar entornos que propicien oportunidades de aprendizaje activo, donde el estudiante reflexione sobre sus conocimientos previos, explore información relevante y participe en dinámicas colaborativas para resolver problemas o tomar decisiones fundamentadas. Esta perspectiva exige que el docente no solo domine los contenidos disciplinares, sino que también maneje estrategias pedagógicas innovadoras que promuevan la construcción autónoma del conocimiento (Marcelo et al., 2016). En este sentido, el educador se convierte en un guía que facilita el acceso a recursos, herramientas y experiencias significativas, estimulando en los estudiantes el desarrollo de habilidades críticas, creativas y sociales.

El aprendizaje significativo basado en la recepción se fundamenta en la adquisición de nuevos significados a partir del material educativo presentado. Para que este proceso ocurra, requiere una actitud de aprendizaje significativa, así como la presentación al estudiante de un material potencialmente significativo, el cual debe poder vincularse de manera lógica, coherente y no literal con cualquier estructura cognitiva apropiada (que posea un significado lógico), además, el aprendiz debe contar con conceptos previos pertinentes que sirvan como base para relacionar y asimilar el nuevo contenido (Ausubel, 2002). A partir de lo mencionado, una opción considerable son los experimentos químicos con materiales de uso diario, ya que, al ser materiales cotidianos los estudiantes ya conocen su uso en limpieza o desinfección, lo que proporciona una idea de anclaje en su estructura cognitiva (por ejemplo, saben que el Clorox "blanquea" o han escuchado algo de la vitamina C), además, la actividad experimental fomenta una actitud hacia el

aprendizaje significativo ya que promueve una disposición activa generando curiosidad e indagación en el estudiante.

Según Coll, (1990) y Zarzar, (2000) para que el aprendizaje significativo se materialice, es necesario que los estudiantes desplieguen un conjunto de procesos cognitivos y conductuales orientados a la integración de nuevos conocimientos, estos procesos son denominados dimensiones del aprendizaje significativo. La primera dimensión es *la motivación*, y se refiere a compromiso real con el proceso de aprendizaje por parte del estudiante (Zarzar, 2000)., la segunda dimensión es *la comprensión* y es entendida como la actividad en la que se fijan relaciones entre el nuevo contenido y los elementos ya disponibles en su estructura cognitiva (Coll, 2007), la tercera es *la funcionalidad*, que pretende que los conocimientos adquiridos puedan ser verdaderamente empleados (Coll, 2014), la cuarta dimensión es *la participación activa*, asociada al estudiante, la cual conlleva el estudio, análisis, discusión y elaboración de la información recibida (Zarzar, 2000) y la quinta dimensión, que se refiere al uso de la información recibida para la solución de problemas reales o posibles (Zarzar, 2000).

En el contexto de un entorno educativo dinámico y globalizado, las instituciones universitarias tienen la responsabilidad de evolucionar continuamente para garantizar que los procesos de aprendizaje sean efectivos, inclusivos y relevantes. Esto implica no solo innovar en metodologías pedagógicas como la integración de enfoques activos (aprendizaje basado en proyectos, gamificación o aulas invertidas), sino también evaluar críticamente las prácticas tradicionales para identificar limitaciones y adaptarlas a las necesidades actuales de los estudiantes. El Ministerio de Educación Nacional lo resalta en el Artículo 1, Ley 1740 de 2014, esta ley tiene como propósito garantizar el cumplimiento de los objetivos inherentes a la educación superior, los cuales están vinculados, a su vez, con la optimización de las prácticas educativas mediante la innovación pedagógica, la evaluación continua y la adecuación de metodologías a las demandas formativas contemporáneas (MEN, 2014).

En el área de la química, la enseñanza en el aula y la enseñanza en el laboratorio deben complementarse de manera equilibrada para fortalecer el aprendizaje de los estudiantes, mientras que en el aula se abordan los conceptos teóricos, principios y fundamentos de la química, en el laboratorio estos conocimientos se aplican de manera práctica, permitiendo una comprensión más profunda y significativa. Aunque hoy en día es impensable enseñar

química sin un componente de laboratorio, esto no siempre fue así, en los siglos XVIII y XIX, la enseñanza de la química no incluía necesariamente el uso del laboratorio como parte fundamental del aprendizaje, fue con el desarrollo de la química moderna que el laboratorio se convirtió en una parte integral de la educación química, su inclusión ha sido un proceso gradual, impulsado por la necesidad de una enseñanza más práctica y basada en la experimentación para mejorar el aprendizaje y la comprensión de los principios químicos (Elliott, M. J. et al., 2008). Las actividades de laboratorio fomentan el desarrollo de habilidades críticas, como el pensamiento analítico, la resolución de problemas y la capacidad de trabajar de manera metódica y precisa, sin embargo, la simple realización de experimentos no garantiza el aprendizaje significativo; es esencial que las actividades estén bien diseñadas y alineadas con los objetivos educativos, además, se requiere una formación adecuada de los docentes para guiar eficazmente a los estudiantes en el entorno del laboratorio y maximizar los beneficios educativos de estas experiencias prácticas (Hofstein & Hugerat, 2021). Carnduff y Reid, (2003) estructuraron la relevancia de las prácticas de laboratorio en química para la educación superior a través de tres dimensiones fundamentales:

1. Habilidades prácticas (incluyendo seguridad, peligros, evaluación de riesgos, procedimientos, instrumentos, observación de métodos);
2. Habilidades transferibles (incluido el trabajo en equipo, la organización, la gestión del tiempo, la comunicación, la presentación, la recuperación de información, el procesamiento de datos, la aritmética, el diseño de estrategias y la resolución de problemas).
3. Estimulación intelectual: conexiones con el «mundo real», aumento del entusiasmo por la química.

La escasa evolución en el diseño de las actividades experimentales en el ámbito universitario podría atribuirse a que los docentes priorizan, predominantemente, la selección de experimentos a ejecutar y las restricciones temporales del curso, relegando a un segundo plano la adopción de metodologías pedagógicamente efectivas para alcanzar los objetivos formativos (Meester y Maskill, 1995), es decir, demasiado énfasis en los experimentos que hay que realizar y poco énfasis en lo que los alumnos deberían aprender. Sin embargo, muchas veces los estudiantes no están bien preparados para percibir los propósitos del trabajo práctico o bien tienen una experiencia limitada o nula en este tipo de ejercicios, el método tradicional de preparación para las sesiones de

laboratorio suele limitarse a la revisión de manuales instructivos, los cuales, sin embargo, tienden a sobrecargar a los estudiantes con contenidos excesivos que deben memorizar de manera simultánea. Esta saturación de información, lejos de facilitar la comprensión, genera una fragmentación cognitiva que dificulta la integración de conceptos y la secuenciación lógica de procedimientos, lo que ocasiona que los alumnos utilicen estos recursos como “recetarios”, reduciendo la experimentación a una serie de pasos mecánicos (Johnstone & Letton, 1990). La experiencia tradicional de laboratorio en la enseñanza superior puede mejorarse situando el aprendizaje de laboratorio en un contexto de preaprendizaje, para aprovechar mejor el tiempo en el laboratorio y postaprendizaje, para reflexionar y aplicar ideas (Reid & Shah, 2007).

La revisión crítica, y si es necesario, la reestructuración del material didáctico utilizado en el laboratorio es un paso fundamental para garantizar que exista una armonización efectiva entre la teoría y la práctica. Como señalan Hofstein y Lunetta (2004), las actividades experimentales deben diseñarse intencionalmente para que los estudiantes no solo reproduzcan procedimientos, sino que relacionen fenómenos observables con conceptos abstractos (por ejemplo, en temas como estequiometría o reactividad química), por lo que debe existir coherencia entre el material de laboratorio y los contenidos teóricos para transformar la experimentación en una herramienta de construcción activa de conocimiento, y no en una rutina operativa desprovista de contextualización pedagógica.

2.2 Referente Conceptual-Disciplinar

El estudio de la estequiometría y la reactividad química adquiere relevancia fundamental para fomentar en los estudiantes el desarrollo de capacidades científicas integrales, así como para potenciar la adquisición de habilidades prácticas y analíticas. A través de la comprensión de las proporciones cuantitativas en las reacciones químicas y el análisis de la transformación de sustancias, los estudiantes no solo internalizan principios teóricos, sino que también ejercitan su capacidad para diseñar experimentos, interpretar datos y resolver problemas de manera sistemática. Dado que en esta propuesta se abordarán varios aspectos conceptuales de estequiometría y reactividad química para el posterior diseño de actividades de aula y de laboratorio, es fundamental plantear algunos conceptos que servirán de base para relacionar el trabajo a realizar.

La estequiometría es el estudio cuantitativo de reactivos y productos en una reacción química. El reactivo que se consume primero en una reacción se denomina *reactivo*

limitante, ya que la máxima cantidad de producto que se forma depende de la cantidad original de este reactivo, cuando este reactivo se consume, no se puede formar más producto. Los *reactivos en exceso* son los reactivos presentes en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad de reactivo limitante, la cantidad de este último reactivo presente al inicio de una reacción determina el *rendimiento teórico de la reacción*, es decir, la cantidad de producto que se obtendrá si reacciona todo el reactivo limitante. Por lo tanto, *el rendimiento teórico* es el rendimiento máximo que se puede obtener, que se calcula a partir de la ecuación balanceada. En la práctica, *el rendimiento real,* es decir, la cantidad de producto que se obtiene en una reacción casi siempre es menor que el rendimiento teórico (Chang 2007).

Diversos estudios evidencian que la comprensión conceptual constituye un factor determinante en la resolución efectiva de problemas y en el desarrollo del pensamiento cualitativo en esta disciplina. Los autores Harmon (1993) y Niaz (1995) coinciden en señalar que el conocimiento conceptual fragmentado o erróneo en los estudiantes se traduce en dificultades para la resolución correcta de problemas de estequiometría, limitando su capacidad para interpretar relaciones cuantitativas, predecir productos de reacciones o ajustar ecuaciones químicas de manera precisa. La comprensión de la noción de reactivo limitante y reactivo en exceso representa un fundamento esencial para el dominio de la estequiometría, este concepto no solo se integra en la esencia conceptual del cambio químico, sino que además constituye un elemento clave para diferenciar entre las transformaciones químicas, donde se altera la composición molecular, y las transformaciones físicas de la materia, que involucran cambios de estado o forma sin modificación de la identidad química (Tsaparlis, 2003). Su dominio permite a los estudiantes interpretar cuantitativamente las proporciones en las reacciones, predecir rendimientos teóricos y analizar la eficiencia de los procesos químicos.

El método de Job, también llamado método de las variaciones continuas (o de las soluciones isomolares) es una de las técnicas experimentales de mezcla comúnmente utilizadas en el estudio de las estequiometrías de reacción, concretamente para la determinación de fórmulas y constantes de formación de complejos (Gil y Oliveira 1990). Si los reactantes R_1, R_2, ..., Rn producen los productos P_1, P_2, ..., P_m, entonces la reacción global puede describirse como $r_1R_1 + r_2R_2 + \cdots + r_nR_n = p_1P_1 + p_2P_2 + \cdots + p_mP_m$, donde r_1, r_2, ..., r_n y p_1, p_2, ..., p_m son los coeficientes estequiométricos. Durante las prácticas de laboratorio de bachillerato y universidad, cuyo objetivo es familiarizar a los estudiantes con

los métodos para determinar las estequiometrías de reacción, se utilizan reacciones acuosas sencillas del tipo

$$r_1R_1 + r_2R_2 = pP$$

se seleccionan por su facilidad de conceptualización, realización y evaluación (Olasz M. et al., 2024). El método de Job se basa en mezclar soluciones madre de reactivos de concentraciones molares iguales ($[R_1]_0 = [R_2]_0$) en diferentes proporciones de volumen mientras se mantiene constante el volumen total. De este modo, la suma de las concentraciones de reactivos ($[R_1]_0 + [R_2]_0$) es constante, y la concentración de producto al final de la reacción ($[P]$) será función únicamente de la relación de volumen. $[P]$ alcanza su valor máximo si los dos reactantes están presentes exactamente en una relación estequiométrica. Obtenemos gráficos informativos cuando $[P]$ se representa en función de la fracción molar de uno de los reactantes, por ejemplo, x_{R2} en la figura 1 (Olasz M. et al., 2024).

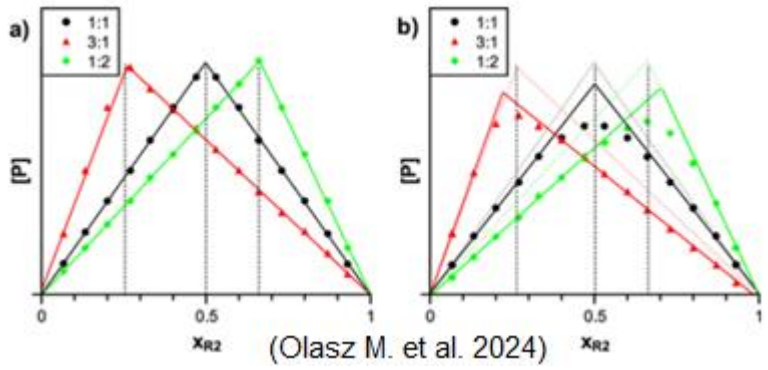

Figura 1. Diagramas esquemáticos de Job para reacciones irreversibles (a) y reversibles (b) de diferentes relaciones estequiométricas: $r_1 : r_2 = 1:1$ (viñetas negras), 3:1 (triángulos rojos) y 1:2 (diamantes verdes). Las líneas verticales discontinuas en la parte (a) corresponden a las fracciones molares (x_{max}) en las que la concentración de producto es máxima para una estequiometría de reacción dada; las mismas líneas discontinuas se añaden también en la parte (b) para ilustrar la incertidumbre del valor determinado experimentalmente si la misma estequiometría perteneciera a una reacción reversible (Olasz M. et al., 2024).

El método de Job es una técnica clásica en química para determinar la estequiometría de complejos químicos o reacciones de asociación. Entre sus aplicaciones están: el estudio de interacciones huésped-anfitrión en química supramolecular (Connors, 1987), el análisis de la estequiometría de complejos proteína-ligando (Ingham, 1975), el estudio de las

asociaciones moleculares en química organometálica (Renny et al., 2013) y por supuesto, en la determinación de la estequiometría de reacción y el procesamiento digital de imágenes para reacciones de precipitación (Olasz et al., 2024) .Este método será una base en las actividades de aula y de laboratorio que se diseñarán para armonizar la reactividad química y la estequiometría.

Ciertos autores afirman que muchos alumnos jóvenes piensan en las reacciones químicas como procesos de mezcla o reubicación, sin un sentido claro de lo que ocurre durante un cambio químico (Hesse y Anderson, 1992). En general, tienen tendencia a describir la evolución de un proceso químico como una cadena lineal de acontecimientos donde cada variable se considera de una en una, asignando una dirección preferente al proceso (Talanquer, 2006). Las secuencias de acontecimientos en las reacciones químicas se construyen basándose en la característica estructural de la superficie más que en el análisis de las propiedades e interacciones químicas (Bhattacharyya y Bodner, 2005). Además, los estudiantes tienen dificultades para diferenciar aquellos factores que afectan a la velocidad de un proceso químico frente a los que determinan el estado final de equilibrio (Gilbert et al., 2002). Además, los alumnos novatos tienden a concebir el control químico como algo que se consigue modificando parámetros externos, como la temperatura, descuidando factores internos como la estructura de las partículas implicadas (Kind, 2004).

La *reactividad química* caracteriza la capacidad de un átomo, una molécula o una sustancia (gaseosa, líquida o sólida) para sufrir reacciones químicas por sí misma o con otros sistemas (Kaya S. y von Szentpaly L. 2023). Este concepto enmarca otras definiciones (Reusch 2013):

> *Reacción química:* Transformación que da lugar a un cambio de composición, constitución y/o configuración de un compuesto (denominado reactante o sustrato).
>
> *Reactivo o sustrato:* Es el compuesto orgánico que sufre un cambio en una reacción química. También pueden intervenir otros compuestos y pueden identificarse los reactivos comunes (reactivos). El reactivo es a menudo (pero no siempre) la molécula más grande y compleja del sistema reactivo. La mayor parte (o la totalidad) de la molécula reaccionante se incorpora normalmente como parte de la molécula producto.
>
> *Intermediarios:* Es un socio común del reactivo en muchas reacciones químicas.

Puede ser orgánico o inorgánico; pequeño o grande; gaseoso, líquido o sólido. La parte de un reactivo que acaba incorporándose al producto puede variar desde todo a muy poco o nada.

Producto(s): Forma final que adopta(n) el(los) reactivo(s) principal(es) de una reacción.

Condiciones de reacción: pueden ser condiciones ambientales, como temperatura, presión, en las que una reacción progresa de forma óptima.

La distinción entre cambio químico y reacción química es fundamental para comprender los procesos en química. Un cambio químico se refiere a la transformación en la composición molecular de una sustancia, donde se forman nuevos productos con propiedades diferentes a las de los reactivos iniciales (Brown et al., 2017). Este fenómeno implica la ruptura y formación de enlaces químicos, alterando la identidad de las sustancias involucradas (ej: oxidación del hierro formando óxido). Por otro lado, una reacción química es el proceso específico mediante el cual ocurre dicho cambio, representado mediante ecuaciones que detallan reactivos, productos, estequiometría y condiciones experimentales (Atkins y Jones, 2010). En otras palabras, la reacción química es el mecanismo que describe cómo y por qué se produce el cambio químico. Por ejemplo, la combustión del metano ($CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$) es una reacción química que explica el cambio químico de transformar metano y oxígeno en dióxido de carbono y agua, así, mientras el cambio químico enfatiza el *qué* (la transformación de sustancias), la reacción química aborda el *cómo* (los pasos y relaciones cuantitativas involucradas).

La reactividad química de una molécula se define como su capacidad para participar en reacciones químicas, determinada por factores como su estructura electrónica, grupos funcionales y entorno químico. Clásicamente, las moléculas se clasifican como electrófilas (buscan electrones), nucleófilas (donan electrones), o radicales, que son especies con electrones desapareados (Housecroft & Sharpe, 2018). La reactividad también depende de propiedades como la electronegatividad, polaridad y estabilidad termodinámica. Por ejemplo, compuestos insaturados son más reactivos que saturados debido a la presencia de enlaces π susceptibles a ataques electrofílicos (Solomons & Fryhle, 2020).

La estequiometría actúa como el lenguaje cuantitativo que traduce las proporciones atómicas en relaciones macroscópicas observables. Los reactivos, al interactuar bajo

condiciones específicas, se transforman en productos siguiendo proporciones estequiométricas precisas, las cuales están dictadas por las leyes de conservación de masa y carga (Zumdahl & Zumdahl, 2017). Por ejemplo, en la reacción entre hipoclorito de sodio (NaClO) y tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$), la estequiometría 4:1 ($4ClO^- : 1S_2O_3^{2-}$) no solo garantiza la neutralización completa de los oxidantes, sino que también determina la cantidad exacta de sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-) generados. Este equilibrio cuantitativo no es arbitrario; emerge de la estructura electrónica de las moléculas y de los mecanismos de reacción subyacentes, como la transferencia de electrones en procesos redox (Housecroft & Sharpe, 2018). A su vez, los productos no son solamente resultados estáticos; su formación está intrínsecamente ligada a la eficiencia del proceso, ya que una desviación en las proporciones estequiométricas (ya sea por exceso de un reactivo o por limitaciones cinéticas) conduce a la acumulación de subproductos no deseados o a rendimientos disminuidos, como ocurre cuando el ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) se dosifica incorrectamente en presencia de NaClO, generando intermediarios oxidados inestables. Así, la estequiometría no solo describe qué se transforma, sino también cuánto y en qué condiciones, integrando principios termodinámicos (ΔG, entalpía) y cinéticos (velocidad de reacción) para predecir la viabilidad y el rendimiento de un proceso químico (Atkins et al., 2017). En métodos como el de Job, los reactivos, productos y la estequiometría adquieren relevancia experimental, pues al variar sistemáticamente las proporciones molares de reactivos y medir propiedades físicas (ej: cambio de temperatura), se identifica el punto estequiométrico óptimo donde la relación reactivo-producto alcanza su máxima eficacia, evidenciando cómo la química trasciende lo teórico para materializarse en aplicaciones prácticas y controlables.

2.2.1 Análisis del material de aula y de las prácticas de laboratorio de la temática de interés en la asignatura Química General de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

En el contexto actual de las clases magistrales de química general, predominan metodologías unidireccionales donde los temas se transmiten mediante diapositivas, videos y explicaciones en el tablero, con evaluaciones relegadas a semanas posteriores. Este enfoque, aunque estructurado, limita la oportunidad de que los estudiantes interactúen críticamente con los conceptos en tiempo real, especialmente en temas interconectados como estequiometría y reactividad química, que suelen enseñarse de forma aislada. La desconexión entre estos tópicos (la estequiometría como herramienta

cuantitativa y la reactividad como fenómeno dinámico) genera una brecha cognitiva, donde los alumnos memorizan cálculos molares o ecuaciones redox sin comprender su interdependencia en reacciones reales. Investigaciones en didáctica de las ciencias, como las de Johnstone (1991) con su triángulo de representación química (macroscópico, microscópico y simbólico), señalan que esta fragmentación dificulta la construcción de aprendizajes significativos, ya que los estudiantes no logran vincular las proporciones numéricas con los cambios observables (por ejemplo: liberación de calor, formación de precipitados). Como en el laboratorio la idea es que los estudiantes vayan a comprobar de forma experimental el tema de estudio, es imperativo integrar prácticas de laboratorio diseñadas explícitamente para armonizar estequiometría y reactividad, por ejemplo, experimentos como el método de Job termométrico, donde los alumnos miden cambios de temperatura en función de relaciones molares variables y luego a partir del grafico de Job comprueban la proporción o estequiometría de los reactivos, este conocimiento es clave para temas posteriores como titulación ácido-base y redox, equilibrio químico, soluciones amortiguadoras, además, la comprensión de este tema se relaciona con toda la temática de reactividad vista hasta ese momento, temas como reactivo limite, reacciones químicas, balanceo de ecuaciones químicas, fuerzas intermoleculares, propiedades físicas y formación de compuestos. Adicionalmente, se recomienda enriquecer las clases magistrales con herramientas que promuevan la participación activa, incluso en grandes grupos:

- Evaluación formativa en clase: Usar herramientas como clickers o quizzes rápidos (vía Kahoot!) para verificar comprensión de conceptos clave durante la clase, no semanas después.
- Materiales estandarizados con flexibilidad: Aunque cada profesor diseña sus diapositivas, una base común de recursos (por ejemplo, videos demostrativos de reacciones) aseguraría coherencia en los objetivos de aprendizaje, sin restar creatividad pedagógica. Esto se alinea con el modelo de diseño universal para el aprendizaje (DUA) (CAST, 2018), que aboga por múltiples medios de representación y acción.
- Problemas contextualizados: Importante que los profesores incluyan casos reales (por ejemplo: dosificación de NaOCl en desinfección de aguas o degradación de vitamina C en alimentos) donde la estequiometría determine la eficacia del proceso, conectando la teoría con aplicaciones sociales.

El manual de prácticas de laboratorio de Química General de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (2021) consta de 11 prácticas que tienen como objetivo principal guiar a los estudiantes en la realización de experimentos de manera estructurada, segura y eficiente, proporcionando instrucciones detalladas sobre los procedimientos, materiales, medidas de seguridad y fundamentos teóricos de cada práctica. Además, pretende contribuir a la formación integral del estudiante, reforzando sus conocimientos teóricos y habilidades prácticas en el área de la química.

La práctica N. 6 que lleva por nombre “clasificación de reacciones químicas”, es la que introduce el concepto de reacción quimica, cambio químico y la que tiene que ver con reactividad. Los objetivos actuales se centran en la identificación y descripción de reacciones, pero podrían ampliarse para incluir la relación entre reactividad y estructura química, así como el análisis de factores que influyen en la velocidad o eficiencia de las reacciones, por su parte, el marco teórico actual aborda la clasificación de reacciones, pero omite elementos clave para entender la reactividad química como son, precisamente, esos factores que determinan la reactividad (electronegatividad, energía de enlace, estabilidad de productos), además, puede resultar más interesante para el estudiante si se vinculan esos tipos de reacciones con ejemplos cotidianos, también sería importante integrar conceptos de energía, mencionando brevemente la reacciones exotérmicas/endotérmicas y su relación con la termodinámica. El procedimiento de la práctica sigue un enfoque mecánico, haciendo una reacción de cada tipo, pero podría mejorarse con una actividad de predicción que se realice antes de ellos ejecutar cada reacción, es decir, pedir a los estudiantes que predigan los productos basados en reactivos y estados de oxidación, y luego contrastar con resultados experimentales, puede hacerse almenos en una de todas las reacciones a realizar, siguiendo el orden de ideas, se puede analizar una de las reacciones variando las condiciones para ver qué sucede con la reactividad de los compuestos involucrados, por ejemplo, repetir la reacción de precipitación de la práctica en donde el acetato de plomo reacciona con el yoduro de potasio, esta vez a una temperatura de 40°C (puede ser encima de un calentador), aquí se observaría que disminuye el precipitado formado, esto se debe a que la solubilidad de PbI_2 aumenta por la nueva temperatura, por ello el precipitado se disuelve en la solución, haciendo que la cantidad de sólido visible disminuya. En última sección de la práctica que lleva por título “profundización”, se podría incluir preguntas que evalúen lo que se está proponiendo añadir anteriormente, además, se sugiere que el docente a cargo plantee brevemente al final del

laboratorio un escenario real (puede ser a manera de ejemplo), donde se le pueda dar aplicabilidad al concepto visto, esto favorece el aprendizaje significativo (Ausubel, 1968), permitiendo que los estudiantes comprendan la utilidad de los conceptos trabajados en el laboratorio y desarrollen una visión más aplicada de la química. Al integrar predicciones, variabilidad experimental y conexiones con aplicaciones reales, se transforma el laboratorio en un espacio de construcción activa de conocimiento, donde los estudiantes no solo siguen instrucciones, sino que comprenden el "porqué" y el "cómo" detrás de la reactividad química (Hofstein & Lunetta, 2004).

La práctica N. 8 que lleva por nombre "estequiometría: preparación de una sal soluble", se puede decir que es la práctica oficial de estequiometría, aunque en las que siguen también se usa todo este concepto. Los objetivos actuales son prácticos (cálculos y rendimiento), pero podrían enriquecerse para integrar relaciones cualitativas y contextos reales, por ejemplo, analizando el papel del reactivo limitante en la reacción, no solo calcularlo, sino discutir su impacto en el rendimiento (¿por qué un exceso de HCl o NaOH no mejora la producción de NaCl?). Por su parte, en el marco teórico, aunque la estequiometría de la reacción sea $1:1$, es importante exponer el concepto de reactivo limite y no olvidar la parte energética de la reacción para futuros aprendizajes. En el procedimiento, para lo que pretende la práctica, todo está completo, incluso incluye la predicción de la reacción y cantidades ligeramente distintas de HCl o NaOH para observar cómo afecta al rendimiento. En la sección de profundización, se puede mejorar el cuestionario añadiendo preguntas que potencien la reflexión científica, por ejemplo, a las tres preguntas actuales de la guía, se podrían añadir las siguientes:

- Para 7.1: Explique por qué no toda el agua se evapora durante el secado de la sal. ¿Cómo afecta esto al porcentaje de rendimiento?
- Para 7.2: Proponga dos modificaciones al procedimiento para aumentar el rendimiento de NaCl, justificando cada una con base en principios estequiométricos.
- En 7.3 la pregunta planteada en la práctica de laboratorio si va acorde a lo que se está proponiendo.

En la tabla de datos experimentales se podría Incluir una columna para "Errores experimentales identificados" y "Cómo mitigarlos", esto para usas los errores como oportunidades de aprendizaje, no solo como datos numéricos.

La práctica de laboratorio en la temática de estequiometría es interesante porque se relaciona fuertemente con lo planteado en este trabajo; se sugiere añadir una práctica con el método de Job (o método de variación continua), el cual integraría los conceptos teóricos vistos en el aula con el trabajo experimental, al tiempo que permite analizar cómo la naturaleza química de los reactivos influye en la reacción, esto es la reactividad.

El método de Job trasciende la mera determinación de proporciones molares al integrar la reactividad química como eje central del aprendizaje. Al vincular las propiedades químicas de los reactivos (oxidación, acidez, capacidad de formar complejos) con los resultados experimentales, los estudiantes no solo calculan relaciones numéricas, sino que entienden por qué ciertas proporciones son óptimas y cómo la estructura molecular y las condiciones experimentales influyen en la reacción. Al variar sistemáticamente las proporciones molares de dos reactivos y medir una propiedad física (como cambio de temperatura, pH o absorbancia), los estudiantes observan cómo la relación molar óptima (punto de equivalencia) coincide con la estequiometría teórica de la reacción. Por ejemplo, en la neutralización $HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$, el método de Job revelaría un máximo de variación de temperatura en la proporción $1:1$, validando la ecuación balanceada. Así, los cálculos de moles, reactivo limitante y rendimiento teórico dejan de ser abstractos al vincularse con datos experimentales “tangibles”. La construcción de una curva de Job (gráfica de variación de temperatura vs. fracción molar) enseña a interpretar datos, identificar máximos/mínimos y correlacionarlos con la estequiometría teórica, además, los estudiantes discuten por qué ciertas proporciones generan más producto, cómo los errores experimentales afectan la curva y qué factores (por ejemplo, la pureza de reactivos) modifican los resultados. El método de Job se puede contextualizar con las diversas aplicaciones en la industria ya mencionadas, este método “aterriza” la quimica, pues los estudiantes ven cómo las ecuaciones abstractas se traducen en fenómenos observables (cambio de temperatura en el método termométrico).

2.2.2 Método de Job para el diseño experimental.

Los experimentos en la temática de estequiometría pueden diseñarse aplicando el método de variación continua, inicialmente descrito por Job, (1928) mientras estudiaba las asociaciones de iones en solución, en ese estudio él representaba gráficamente la absorbancia UV de una solución con respecto a la fracción molar, que proporcionaba información sobre los complejos en equilibrio presentes en la solución. Sin embargo, el

método de Job plantea que el gráfico se puede realizar con cualquier otra propiedad física que no sea necesariamente la absorbancia (por ejemplo, la variación de temperatura) respecto a la fracción molar, todo depende del objetivo de usar el método. En el laboratorio de química, para evidenciar la estequiometría de una reacción se puede usar el método termométrico ($X_{A/B}\ vs\ \Delta T$), ya que brinda mayor rapidez y facilidad en el procedimiento, si no hay precipitados que secar y pesar, sólo se requerirían materiales básicos como termómetros para los estudiantes, material de vidrio normal de laboratorio e incluso vasos de poliestireno (icopor) para medir allí los cambios de temperatura. El uso del método de Job en la enseñanza de la estequiometría fue reportado hace varios años por Hayes (1995), quien realizó una práctica de laboratorio utilizando el método de Job con un grupo de estudiantes, a nivel preuniversitario, en donde hallan la estequiometría de la neutralización del ácido cítrico, analizando en la gráfica el aumento de temperatura medido por los estudiantes. El método de Job que usa la espectrofotometría nos permite identificar la estequiometría del complejo predominante, es ideal para reacciones "coloridas", aquí se mide la absorbancia de cada disolución, a una longitud de onda adecuada, y se hace una gráfica que muestre la absorbancia corregida frente a la fracción molar de X, la absorbancia máxima se alcanza en la composición correspondiente a la estequiometría del complejo predominante (Harris, 2007). Podría medirse también el pH, sería útil para reacciones que generan cambios de acidez (por ejemplo, $CH_3COOH + NaOH$), también se puede tener en consideración otra propiedad física como la conductividad eléctrica, útil en reacciones iónicas (por ejemplo, $AgNO_3 + NaCl \rightarrow AgCl + NaNO_3$), donde la gráfica muestra cambios en la concentración de iones. El método de Job usando termometría, en este caso, presenta ventajas frente a los otros ya que tiene más accesibilidad, pues, además de los reactivos, solo requiere termómetros comunes (digitales o de vidrio) y materiales de bajo costo (vasos, pipetas). Además, la gráfica de Job permite identificar claramente el punto estequiométrico en base a los cambios de temperatura, que es una propiedad física común y fácilmente medible, adicionalmente, el método en general refuerza conceptos claves, como son:

- Reactivo limitante: el pico de temperatura muestra cuándo ningún reactivo está en exceso.
- Conservación de energía: el calor liberado/absorbido refleja la estequiometría de la reacción.

- Reactividad: es aspectos como la naturaleza de los reactivos, por ejemplo, en reacciones redox la curva de Job refleja la capacidad oxidante y reductora de los reactivos respectivos, determinando la proporción necesaria para equilibrar la transferencia de electrones. Otro aspecto es el efecto de las condiciones experimentales, pues el pH, la temperatura o la presencia de catalizadores pueden alterar la reactividad aparente, adicionalmente, otro aspecto es la identificación de productos dominantes, pues en sistemas con múltiples productos posibles la curva de Job ayuda a identificar cuál se forma preferentemente, revelando la selectividad química de los reactivos).
- Relación teoría-práctica: Los datos experimentales validan ecuaciones químicas balanceadas.

Para realizar el método de Job con termometría no se requieren muchos conocimientos previos, en general los estudiantes requieren conceptos básicos de estequiometría y reactividad, habilidades matemáticas básicas en el contexto de la asignatura (para calcular fracciones molares, elaborar gráficos eje X vs. Y) y buena técnica de laboratorio para el uso correcto de termómetros, balanza analítica, pipetas, buretas o jeringas y medir volúmenes con precisión. Incluso, el método de Job termométrico se puede simular en una hoja de cálculo Excel, esto moderniza el proceso de aprendizaje, al simular escenarios donde el manejo de datos y la toma de decisiones basada en evidencia son esenciales, esto ayuda a los estudiantes a identificar patrones y validar modelos teóricos, al utilizar esta herramienta para diseñar, graficar y analizar experimentos, los estudiantes desarrollan competencias clave para enfrentar desafíos en investigación, industria o innovación tecnológica (Ibrahim, 2009; Brady et al., 2007).

La importancia de los temas de reactividad química y estequiometría en el área de la química radica en su papel fundamental para comprender y predecir las transformaciones químicas, así como para realizar cálculos cuantitativos relacionados con las reacciones (Atkins et al., 2017). Es necesario establecer la armonización de estos conceptos para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, la apropiación y comprensión de estos temas es indispensable para los estudiantes cuando deban enfrentarse a asignaturas posteriores como química analítica y todas aquellas que en su eje central tienen el área de la química o que de alguna manera la temática tiene como punto de partida el concepto de reactividad química y/o estequiometría.

La reactividad química y la estequiometría tienen importancia en áreas que no son exclusivamente la química. Por ejemplo, en biología la reactividad química y la estequiometría son fundamentales para comprender los procesos metabólicos en los organismos vivos, en la medicina es esencial para el desarrollo de medicamentos y tratamientos, en la industria para la producción de productos químicos a determinada escala y en diversas areas de la ingeniería. Así pues, la importancia de este trabajo desde el ámbito disciplinar se fundamenta en la relevancia del aprendizaje de las temáticas de interés, en la aplicación de esos conocimientos y en la formación apropiada de los estudiantes de las diferentes carreras que deben ver la asignatura en la Universidad Nacional de Colombia, para ello es necesario diseñar nuevos experimentos para incluirlos en una práctica de laboratorio que permita que los estudiantes relacionen todos esos conceptos que se dictan en la clase magistral con el trabajo experimental y así se logre evidenciar verdaderamente la armonización entre ellos, tal como lo sostiene Tatsuoka T. et al., (2015) cuando afirma que la adquisición de nuevos conocimientos y conceptos químicos se fomenta mediante el uso activo de los conocimientos y conceptos adquiridos previamente, luego, el ejercicio de laboratorio ofrece la oportunidad de utilizar activamente los conceptos y conocimientos químicos aprendidos por los alumnos y sienta las bases para un aprendizaje posterior.

2.3 Marco Legal

En este sentido, la Constitución Política de Colombia 1991 es el sustento a nivel de país, además, las Leyes creadas por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) soportarán a nivel educativo y los acuerdos 209 del 2015 y 033 del 2007 del Consejo Superior Universitario de la Universidad Nacional de Colombia. El normograma se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. **Normograma.**

Norma	Texto de la norma	Contexto de la norma
Artículo 67. Constitución Política de Colombia de 1991.	"La educación es un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social; con ella se busca el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura."	El fortalecimiento continuo de la enseñanza es necesario para brindarle una excelente educación a cualquier ciudadano del país.

Artículo 4. Ley 30 de diciembre 28 de 1992. Ministerio de Educación Nacional (MEN)	"La Educación Superior, sin perjuicio de los fines específicos de cada campo del saber, despertará en los educandos un espíritu reflexivo, orientado al logro de la autonomía personal, (…) Por ello, la Educación Superior se desarrollará en un marco de libertades de enseñanza, de aprendizaje, de investigación y de cátedra."	La ley 30 dirige la educación superior al "logro de la autonomía personal" de los estudiantes mediante la generalidad de los saberes y la originalidad cultural. Esto implica el desarrollo de libertades en el proceso de enseñanza y aprendizaje.
Artículo 1. Decreto - Ley 1210 de 1993 República de Colombia.	"NATURALEZA. La Universidad Nacional de Colombia es un ente universitario autónomo del orden nacional, vinculado al Ministerio de Educación Nacional, con régimen especial, cuyo objeto es la educación superior y la investigación, a través del cual el Estado, conforme a la Constitución Política, promoverá el desarrollo de la Educación Superior hasta sus más altos niveles, fomentará el acceso a ella y desarrollará la investigación, la ciencia y las artes para alcanzar la excelencia."	Establece la autonomía de la Universidad Nacional de Colombia con el fin de lograr el desarrollo de la Educación Superior hasta los más altos estándares.
Artículo 2 y 4. Decreto - Ley 1210 de 1993 República de Colombia.	"FINES. La Universidad Nacional de Colombia tiene como fines: (…) c) Asimilar críticamente y crear conocimiento en los campos avanzados de las ciencias, la técnica, la tecnología, el arte y la filosofía." "AUTONOMÍA ACADÉMICA. La Universidad Nacional de Colombia tendrá plena independencia para decidir sobre sus programas de estudio, investigativos y de extensión. Podrá definir y reglamentar sus características, las condiciones de ingreso, los derechos pecuniarios exigibles y los requisitos para la expedición de los títulos correspondientes."	La autonomía de la Universidad Nacional de Colombia también es la autonomía del docente; la libertad de catedra. Esto permite que se desarrollen nuevas estrategias para la enseñanza de las temáticas en las asignaturas ofertadas por la Universidad, sobre las que tiene plena independencia para su programación, con el fin de crear y asimilar críticamente el conocimiento.
Capítulo 1 Art. 35 y Capítulo 2 Articulo 112. Ley 115 de febrero 8 de 1994. MEN.	"Articulación con la educación superior. Al nivel de educación media sigue el nivel de la Educación Superior, el cual se regula por la Ley 30 de 1992 y las	Los estudiantes que son admitidos a la Universidad Nacional de Colombia vienen de la educación media, la Ley de la Educación General establece la

	normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan. Este último nivel se clasifica así: a) Instituciones técnicas profesionales; b) Instituciones universitarias o escuelas tecnológicas, y c) Universidades." "Instituciones formadoras de educadores. Corresponde a las universidades y a las demás instituciones de educación superior que posean una facultad de educación u otra unidad académica dedicada a la educación, la formación profesional, la de posgrado y la actualización de los educadores."	articulación con la educación superior, así como también lo hace la Ley de la Educación Superior. La maestría en enseñanza de las ciencias exactas y naturales, ofertada por la Universidad Nacional de Colombia en la Sede Medellín, bajo la cual se presenta esta propuesta de trabajo final de maestría, está a cargo de la Facultad de Ciencias y no de una facultad de educación.
Artículo 1. Acuerdo 209 de 2015 (Acta 11 del 3 de noviembre) Consejo Superior Universitario. Universidad Nacional de Colombia.	"Adoptar el Proyecto Educativo Institucional -PEI- de la Universidad Nacional de Colombia el cual se incorpora al presente Acuerdo."	El PEI establece los niveles de formación de los estudiantes de pregrado y de posgrado. Este documento reúne organizadamente los principales aspectos institucionales, todo esto en concordancia con los fines de la Universidad.
Acuerdo 033 de 2007. Consejo Superior Universitario. Universidad Nacional de Colombia	"Por el cual se establecen los lineamientos básicos para el proceso de formación de los estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia a través de sus programas curriculares de pregrado."	Mediante este acuerdo se establecen los lineamientos básicos para todos aquellos programas curriculares de la Universidad. Nuestra población de impacto son aquellos programas en los que se debe matricular la asignatura química general.
Artículo 1. Ley 1740 de 2014. MEN.	"Finalidad. La finalidad de la presente ley es establecer las normas de la inspección y vigilancia de la educación superior en Colombia, con el fin de velar por la calidad de este servicio público, su continuidad, la mejor formación moral, intelectual y física de los educandos, el cumplimiento de sus objetivos, el adecuado cubrimiento del servicio y porque en las instituciones de educación superior sus rentas se conserven y se apliquen debidamente, garantizando siempre la autonomía universitaria constitucionalmente establecida."	Esta ley busca asegurar el cumplimiento de los objetivos de la educación superior, estos también relacionados con mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

2.4 Referente Espacial

La Universidad Nacional de Colombia es una institución que cuenta con 94 programas de pregrado, 86 especializaciones, 38 especialidades del área de la salud, 133 maestrías y 51 programas de doctorado, tiene como misión fomentar el acceso con equidad al sistema educativo colombiano, provee la mayor oferta de programas académicos, busca formar profesionales competentes y socialmente responsables. La Universidad tiene como propósito acrecentar el conocimiento a través de la investigación, transmitir el saber a través del proceso de enseñanza aprendizaje, e interactuar con las nuevas realidades nacionales, liderando los cambios que requiere el Sistema de Educación Superior (Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, s.f).

La Universidad Nacional cuenta con sedes en Medellín, Manizales, Palmira, Arauca, Leticia, Tumaco, San Andrés y La Paz (Cesar). La Sede Medellín está ubicada en el Departamento de Antioquia, en el municipio de Medellín y cuenta con tres campus o núcleos, son El Volador, el Río y Robledo. La conforman cinco facultades: Arquitectura, Ciencias, Ciencias Agrarias, Ciencias Humanas y Económicas y Minas. La población de la Sede está representada por estudiantes bachilleres originarios de regiones de todo el país. Según el informe de gestión de los medios digitales de la sede Medellín, (2016) el sistema de laboratorios de la sede está conformado por, aproximadamente 130 laboratorios, que atienden diversas áreas del conocimiento, estos laboratorios poseen una infraestructura física y tecnológica en constante evolución, adaptada a las demandas del desarrollo científico y las necesidades del entorno. Respaldados por la trayectoria investigativa de sus docentes y el acceso a equipos especializados, se consolidan como espacios fundamentales para la docencia, la investigación y el servicio social, contribuyendo al avance del conocimiento científico, la formación de profesionales críticos y la solución de problemáticas en sectores educativos, productivos y económicos de Colombia.

Este trabajo se realizará en la sede Medellín de la Universidad, en el campus “El volador” en la Facultad de Ciencias, bloque 16, va dirigido a los estudiantes que deben matricular la asignatura Química General y Laboratorio de Química General, estos laboratorios cuentan con todo lo necesario para realizar los experimentos propuestos

en este trabajo (material de vidrio, termómetros, etc.). La gran mayoría de los estudiantes de estas asignaturas están en primer semestre, son jóvenes de una edad promedio de 18 años, un grupo de la asignatura Química General tiene en promedio 40 estudiantes, mientras en el Laboratorio de Química General hay cerca de 20 estudiantes.

En general, el trabajo tendrá un impacto en cualquier aula donde se pretenda enseñar los conceptos de reactividad química y estequiometría, al ofrecer una estrategia pedagógica integradora para la temática que trasciende la enseñanza tradicional basada en ejercicios algorítmicos, ya que, al implementar el método de Job con sustancias cotidianas (hipoclorito de sodio y vitamina C), los docentes podrán vincular teoría y práctica de manera tangible, demostrando cómo las proporciones estequiométricas emergen de interacciones químicas observables (cambios de temperatura). También, se fomenta el pensamiento crítico mediante actividades que requieren predecir resultados, analizar datos (usando herramientas como Excel) y discutir errores experimentales.

A continuación, en la figura 2 se presenta de manera resumida la articulación del referente espacial con el legal, el disciplinar y el teórico.

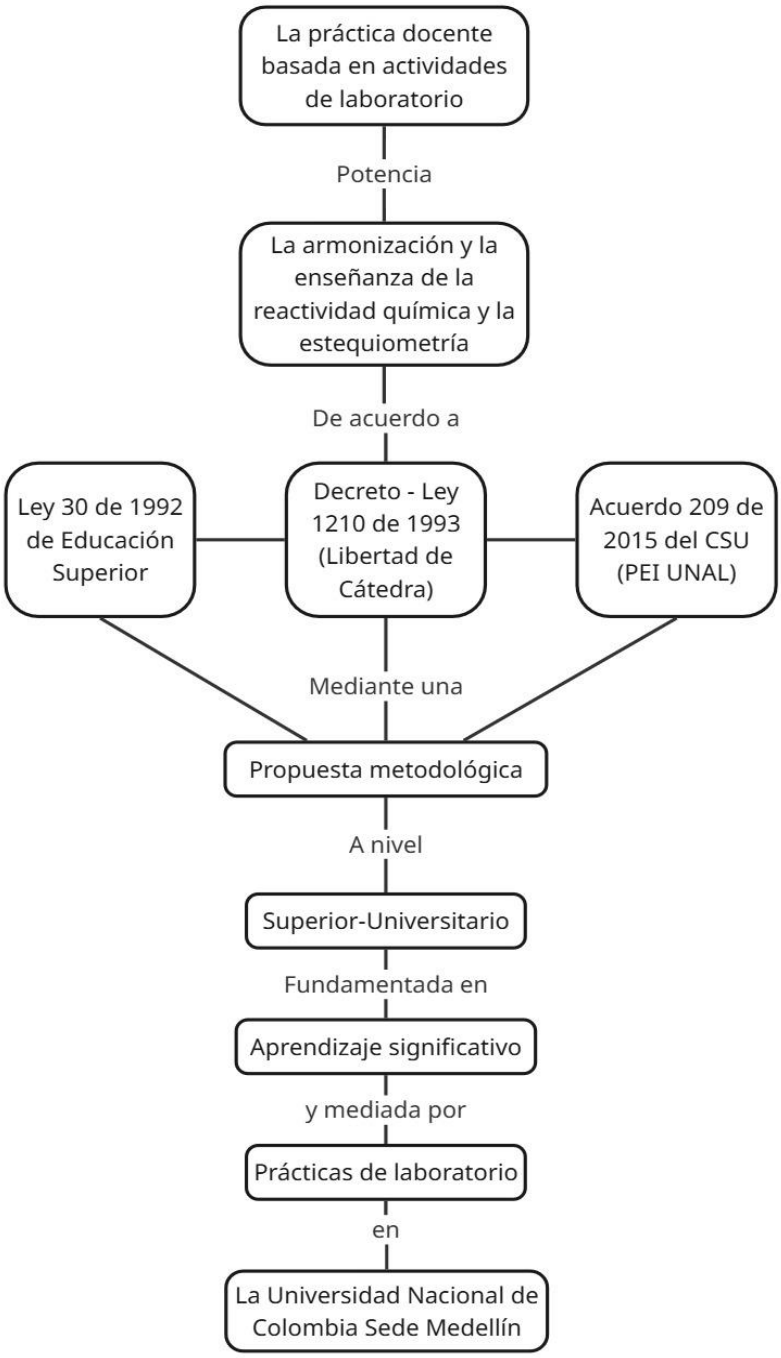

Figura 2. Articulación del referente espacial con el referente legal, disciplinar y teórico para el desarrollo de la propuesta.

Fuente: Adaptada de Delgado (2021).

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Investigación aplicada

La propuesta metodológica que se planteó para este proyecto de investigación se fundamenta en una revisión exhaustiva de los materiales teóricos y experimentales empleados en la enseñanza de la estequiometría y la reactividad química en el área de la quimica. Este enfoque busca rediseñar y optimizar las actividades de aula y laboratorio, incorporando un marco conceptual que facilite la conexión entre teoría y práctica. A través del análisis crítico de los experimentos actuales y la creación de nuevas propuestas con un enfoque constructivista, para el área de quimica general en la Universidad de Colombia Sede Medellín, se pretende ofrecer experiencias de aprendizaje más integradoras que motiven a los estudiantes a reflexionar sobre los fenómenos químicos desde un contexto experimental significativo. Estas iniciativas no solo fortalecen la comprensión conceptual, sino que también fomentan habilidades analíticas y críticas al permitir que los estudiantes interactúen directamente con los principios químicos en escenarios prácticos.

3.2 Enfoque

El presente trabajo adopta un enfoque mixto, orientado a armonizar la conceptualización y la experimentación en la enseñanza de la estequiometría y la reactividad química dentro de cursos de química general. Se centra en el análisis crítico de las guías de laboratorio actuales, para identificar opciones de mejora en la enseñanza de estos temas fundamentales, a través de la elaboración de un campo conceptual que conecte los principios teóricos con la práctica experimental, con el fin de diseñar actividades que fomenten el aprendizaje significativo de los estudiantes. Estas actividades integran la experimentación en laboratorio y las dinámicas de aula, utilizando un enfoque constructivista que promueve la participación activa de los estudiantes en su proceso de aprendizaje, evidenciando de manera cualitativa conceptos esenciales del conocimiento disciplinar y mejorando la interacción entre teoría y práctica.

3.3 Método

Para el desarrollo de la propuesta de investigación se tienen en cuenta las siguientes fases:

Fase 1. Diagnóstico. Durante esta fase se realiza la selección del tema teniendo en cuenta que no hay una armonización entre los conceptos de estequiometría y reactividad quimica en el aula y en el laboratorio, esto indica que debe mejorarse la el proceso de enseñanza-aprendizaje de las temáticas, además, por la importancia que tienen ellas en la asignatura y para los estudiantes en sus próximos cursos de química en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, de esta forma se enfoca la propuesta de investigación en la "Armonización entre la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química." De esta manera, se realiza la consulta y lectura de antecedentes sobre estudios relacionados con la problemática, se proponen objetivos para dar respuesta a la pregunta de investigación y buscar la solución a los problemas relacionados con la armonización entre lo que se dicta en el aula y lo que se realiza en el laboratorio en las temáticas descritas mediante el diseño de prácticas experimentales que permitan lograr una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de química.

Fase 2. Elaboración de los fundamentos para la investigación. Finalizando la fase anterior se continúa con la escritura de los siguientes marcos.

Marco teórico: se plantea el trabajo desde la teoría de aprendizaje significativo propuesta por David Ausubel, también se incluyen apreciaciones de otros autores alrededor de la misma teoría, además, en este marco se incluyen ideas de autores acerca del propósito de las prácticas de laboratorio, con el fin de fundamentar las actividades a diseñar.

Marco conceptual-disciplinar: en este se plantean los conceptos que servirán de base para relacionar el trabajo a realizar, junto con algunas problemáticas del proceso de enseñanza-aprendizaje reportadas en estudios previos en las temáticas de interés y se evidencia la relación estrecha entre la reactividad quimica y la estequiometría. En este marco se analiza críticamente el material de laboratorio usado en Química General para la enseñanza de la estequiometría y la reactividad, evidenciando la necesidad de mejora las prácticas de laboratorio actuales, ya que en el aula se debe suponer que el

profesor dicta las clases magistrales con todo el contenido adecuado. Adicionalmente, se plantea y respalda la idea de la creación de una nueva practica de laboratorio que armonice las dos temáticas de interés empleando el método de Job. Finalmente, se describe la importancia desde el ámbito disciplinar de este trabajo de investigación.

Marco normativo: se presenta en forma de normograma todas las leyes, decretos y resoluciones a nivel nacional, regional y local relacionadas con la educación básica del estudiante hasta llegar a la educación superior.

Marco espacial: se habla acerca de la misión y visión de la Universidad Nacional de Colombia, se mencionan las sedes y datos acerca de la infraestructura, se describe estos temas específicos para la sede Medellín, además, de mencionar algunos detalles acerca de la población sobre la cual va dirigida el trabajo de investigación y finalmente el impacto que este genera en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las temáticas de interés sobre cualquier aula, no solamente en la institución.

Fase 3: Planeación y ejecución del diseño experimental. Se realizarán dos experimentos, en la figura 3 se resumen los tópicos de esta fase, se puede observar que todos giran en torno de la estequiometría.

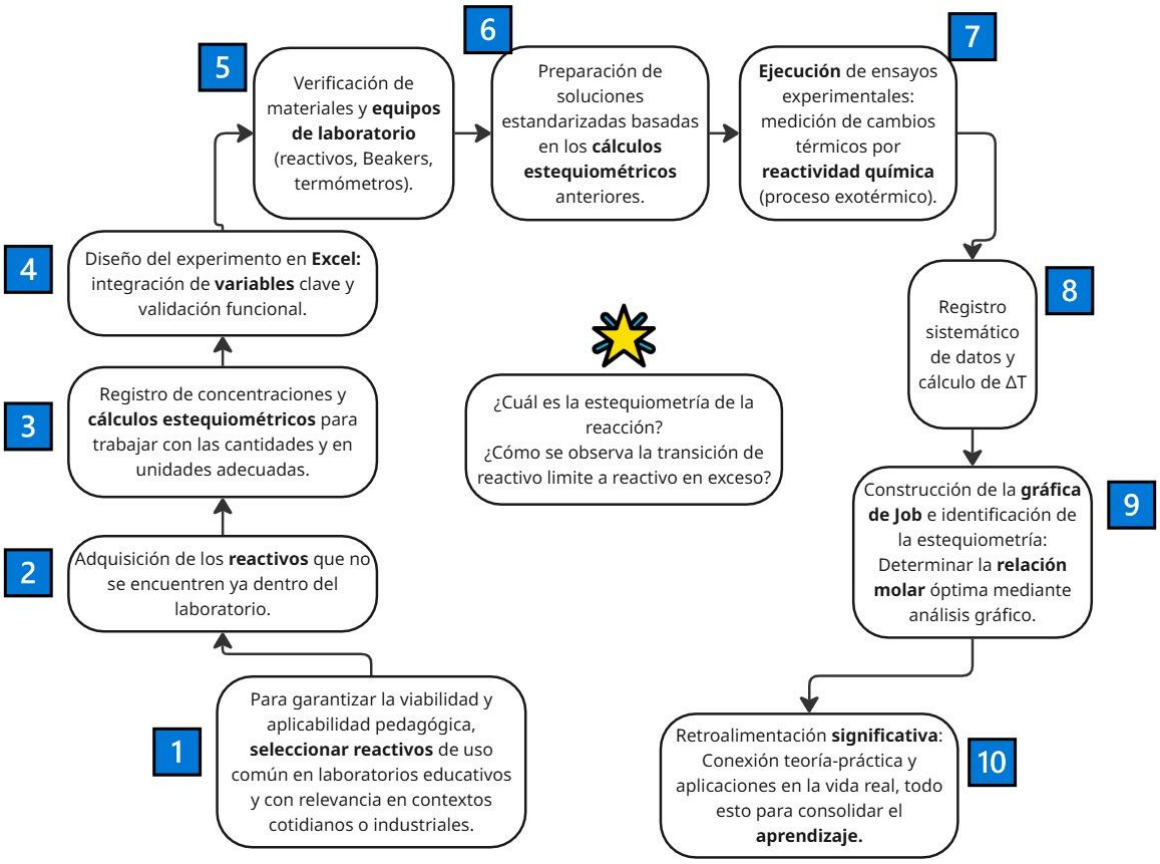

Figura 3. Planeación y ejecución del diseño experimental.

Fase 4: Resultados: Validación experimental y análisis de resultados. Aquí se aborda el procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en los experimentos, se evalúa si los experimentos lograron los objetivos educativos y se vincula directamente con la teoría de Ausubel.

Fase 5: Conclusiones y recomendaciones para la implementación de la propuesta. Este apartado no solo cierra el ciclo teórico-experimental del trabajo, sino que también orienta cómo la propuesta diseñada (estrategias, experimentos, integración teoría-práctica) podría implementarse en contextos educativos o de investigación. Esta fase evalúa la viabilidad de la propuesta y analiza el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio del trabajo.

3.4 Delimitación y alcance

En esta investigación se busca diseñar una actividad de laboratorio basada en el método de Job, con el objetivo de armonizar la experimentación y la conceptualización

de la estequiometría y la reactividad química. El estudio se delimita a la creación y validación teórica de actividades experimentales, utilizando reactivos comunes como hipoclorito de sodio y ácido ascórbico (Vitamina C), para demostrar cómo estas prácticas pueden favorecer el aprendizaje significativo al vincular fenómenos observables (cambios de temperatura) con principios teóricos (relaciones molares, reacciones redox). Si bien no se implementará la práctica con estudiantes, el alcance incluye un análisis pedagógico que evalúa su potencial para:

- Integrar teoría y práctica: Mediante la correlación de datos experimentales (grafica de Job) con ecuaciones químicas balanceadas y la reactividad de los compuestos involucrados en la reacción.
- Reforzar la comprensión conceptual: Al contextualizar la estequiometría y la reactividad en situaciones reales.
- Proponer una estrategia replicable: Diseñando actividades experimentales bajo estándares de seguridad y accesibilidad, adaptable a diversos entornos educativos.

La investigación no abordará resultados empíricos de aprendizaje en estudiantes, sino que se fundamentará en marcos teóricos, para argumentar la viabilidad y pertinencia de la propuesta. Así, este trabajo contribuye a la discusión sobre metodologías activas en química, ofreciendo una herramienta estructurada para futuras aplicaciones pedagógicas. Tendrá un impacto directo en la Sede Medellín de la Universidad Nacional, donde las actividades experimentales propuestas han sido diseñadas específicamente para el contexto académico y la población estudiantil de esta institución. El autor, utilizando la infraestructura disponible en los laboratorios de química (balanzas analíticas, termómetros digitales, etc.), realizan una validación metodológica rigurosa de los protocolos, asegurando que el diseño experimental se alinee con los objetivos pedagógicos de fomentar el aprendizaje significativo en estequiometría y reactividad química. Esta sinergia entre recursos locales y enfoque teórico-práctico no solo valida la propuesta, sino que también contribuye a fortalecer la innovación educativa dentro de la institución, manteniendo su estatus como referente en la integración de metodologías activas en la enseñanza de las ciencias.

3.5. Diseño de los experimentos para una actividad de laboratorio

En este trabajo se proponen dos experimentos basados en el método de Job, una herramienta integral que combina mediciones termométricas con análisis estequiométricos para determinar relaciones molares óptimas en reacciones químicas. A través de la síntesis de complejos redox ($NaOCl + Na_2S_2O_3$) y la oxidación controlada de vitamina C ($NaOCl + C_6H_8O_6$), se evidencia cómo la armonización entre conceptualización y experimentación se logra mediante un procedimiento estructurado en 10 etapas claves (ver Fig. 3); desde el diseño teórico en Excel (donde se simulan concentraciones, cálculos estequiométricos y predicciones termoquímicas) hasta la verificación experimental en laboratorio, donde variables como el cambio de temperatura (ΔT) validan la teoría. Este método no solo integra conceptos fundamentales (reactivo limite, reactividad de las sustancias involucradas, energía de reacción), sino que también destaca la opción de anticipar escenarios mediante el modelado digital, así se minimizan errores y se favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje. Así, el laboratorio se convierte en un espacio de participación activa, donde los estudiantes no solo siguen protocolos, sino que entienden *por qué* y *cómo* las proporciones molares definen la reactividad, reforzando el vínculo entre las clases magistrales y los fenómenos observables.

Los reactivos empleados ($NaOCl$, $Na_2S_2O_3$ y $C_6H_8O_6$) exhiben reactividades redox distintas, el hipoclorito de sodio es un oxidante fuerte en medio básico, capaz de aceptar electrones y reducirse a cloruro (Cl^-), mientras que el tiosulfato de sodio actúa como reductor, oxidándose a sulfato ($SO_4{}^{2-}$) en presencia de $NaOCl$ (Housecroft & Sharpe, 2012). Por su parte, el ácido ascórbico es un antioxidante biológico que dona electrones al $NaOCl$, oxidándose a ácido dehidroascórbico ($C_6H_6O_6$) (Klein, 2016). Estas propiedades intrínsecas determinan la direccionalidad y estequiometría de las reacciones, pues el $NaOCl$ al ser más electronegativo, dicta la transferencia de electrones, mientras que los reductores ($Na_2S_2O_3$ y $C_6H_8O_6$) limitan la velocidad según su concentración. En resumen, los experimentos son:

- Experimento 1: Método de Job termométrico ($NaOCl + Na_2S_2O_3$ en medio básico con NaOH).

- Experimento 2: Oxidación de vitamina C ($C_6H_8O_6$) con $NaOCl$ en medio acuoso (H_2O).

En el experimento uno, el $NaOH$ cumple un rol crucial al mantener un medio básico (pH ~12), evitando la descomposición espontánea del $NaOCl$ en cloro gaseoso (Cl_2) y oxígeno (O_2), un fenómeno que ocurre en medios ácidos o neutros debido a la inestabilidad del ion hipoclorito (ClO^-) (Greenwood & Earnshaw, 1997). Además, el NaOH favorece la solubilidad del $Na_2S_2O_3$, optimizando la interacción redox entre los reactivos, en contraste, en el experimento dos, el agua (H_2O) actúa como solvente inerte que facilita la disolución del ácido ascórbico (pH~2,1) y el $NaOCl$ sin alterar su reactividad intrínseca. La ausencia de NaOH aquí se debe a que el ácido ascórbico se degrada en medios alcalinos, generando productos oxidados no deseados, así, el $NaOH$ y el agua no son meros espectadores, sino moduladores del entorno químico que garantizan la estabilidad y selectividad de las reacciones. Experimentalmente, las reacciones se realizaron a condiciones ambientales de 25°C y 1 atm de presión, todas estas condiciones se establecieron según la reactividad química de cada sistema, pues el $NaOCl$ requiere basicidad para mantener su poder oxidante, mientras que la vitamina C necesita no estar en un medio básico para preservar su estructura reductora.

Los materiales y equipos usados fueron (ver Fig. 4):

- **Balanza analítica (±0.0001 g)**: Calibrada con masas patrón, esencial para preparar soluciones exactas.
- **Termómetros de vidrio (±0.1°C)**: Precisos para medir ΔT, calibrados con puntos fijos (hielo/agua y agua hirviendo).
- **Beakers, matraz, cilindro graduado (±1 mL):** se emplearon Beakers de 250 y 350 mL, para alojar los volúmenes de los reactivos a utilizar para el experimento respectivo y cilindros graduados de 50 mL de capacidad y uno de 10 mL para medir los volúmenes necesarios de los reactivos. En los matraces estaban alojadas las soluciones madre de hidróxido de sodio, de tiosulfato de sodio y la de vitamina C. El hipoclorito de sodio se mantuvo en su recipiente original, del cual se tomaban volúmenes directamente con las pipetas.
- **Vasos de icopor:** uno para cada experimento, el cuál era lavado en cada ensayo. La capacidad del vaso era de 100 mL.

- **Pipetas volumétricas con bomba de succión (±1 mL):** con capacidad de 25 mL, son pipetas fáciles de usar.

- **Reactivos:** Se empleó hipoclorito de sodio al 3,5% v/v, adquirido comercialmente (marca Dersa®, presentación líquida de 4 L), un producto de uso doméstico estandarizado para garantizar concentración homogénea. El tiosulfato de sodio pentahidratado fue proporcionado por el laboratorio universitario, correspondiente a reactivo grado analítico de la marca Merck® (presentación en polvo), y su disolución se preparó con agua destilada para evitar interferencias por impurezas. El hidróxido de sodio, en forma de pellets, fue suministrado por el laboratorio (marca ITW Reagents®), y su solución acuosa se sintetizó mediante dilución en agua destilada. Finalmente, el ácido ascórbico L(+), reactivo grado técnico de la marca Honeywell® (presentación en polvo, envasado en su recipiente original), fue obtenido del inventario del laboratorio, destacando su disponibilidad en venta libre por su uso extendido en aplicaciones farmacéuticas y alimentarias.

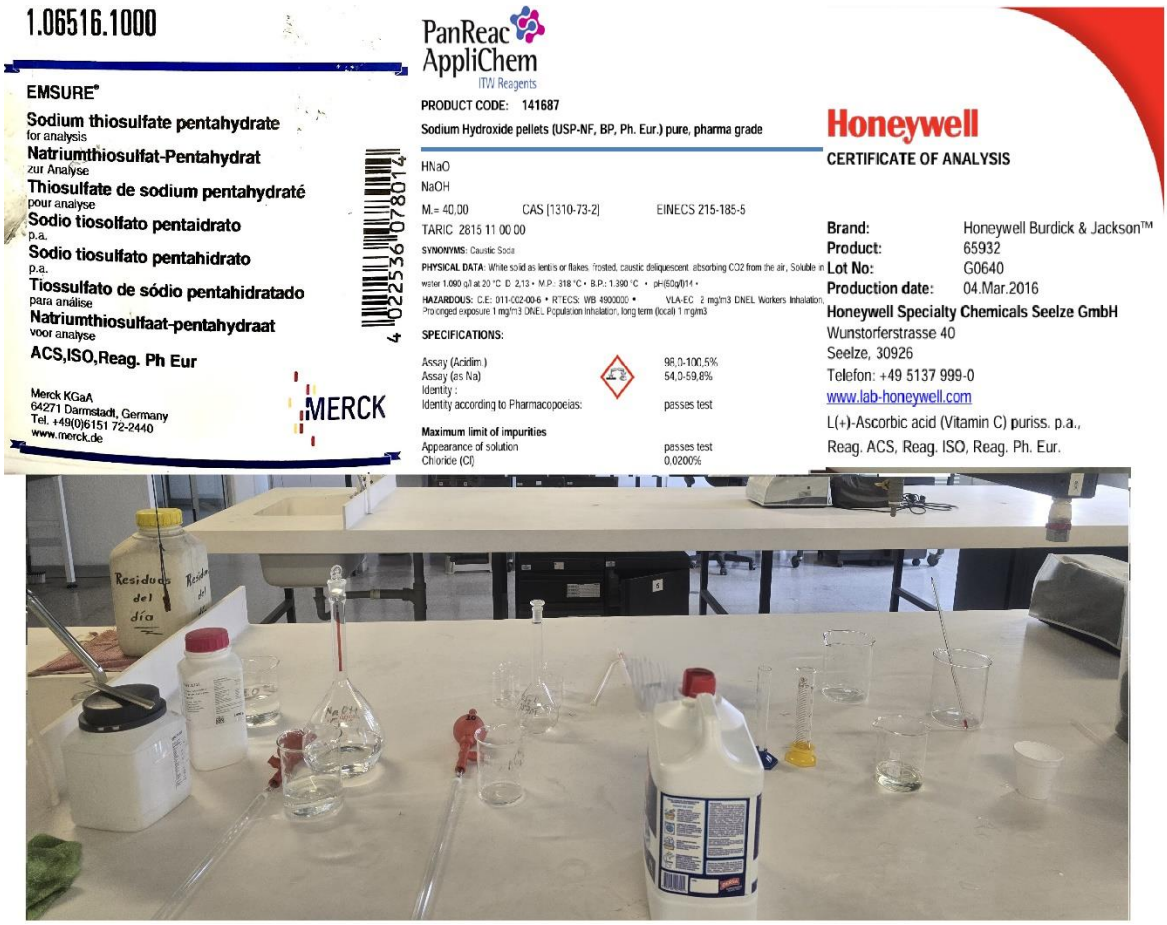

Figura 4. Materiales para llevar a cabo los experimentos propuestos.

Las variables claves son:

- **Entalpía de neutralización (ΔH_n):** Calor liberado al neutralizar un ácido con una base en solución acuosa (Harris, 2007). Aunque no aplica directamente al experimento dos, es un concepto análogo al calor medido en el método de Job.
- **Calor de reacción (ΔH)**: es el cambio de entalpía asociado a una reacción química, medible indirectamente a través del $\boldsymbol{\Delta T}$ (diferencia de temperatura final e inicial de las mezclas, experimentalmente medida con el termómetro) mediante $q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$, donde $m = 50\,g$ (masa de solución), $Cp = 4.18\,J/g°C$ (capacidad calorífica del agua). En la simulación, el ΔT se calculó como:

$$\Delta T = \frac{moles\ del\ producto\ de\ la\ reacción\ * \Delta H_n}{m * Cp}$$

Las reacciones de ambos experimentos son exotérmicas (libera energía en forma de calor).

- **Concentraciones molares**: Definidas por pesaje preciso en la balanza analítica.
    - $NaOCl$ al $0.493\ M$: es la concentración equivalente a una disolución de hipoclorito de sodio al 3,5% v/v, se seleccionó uno de tienda marca Dersa®. La masa molar del $NaOCl$ es de 74,44 g/mol.
    - $NaOH$ al $0.1\ M$: se deseaba preparar un 1 litro de solución, para ello se pesaron 4 g de $NaOH$. La masa molar del $NaOCl$ es de 40,00 g/mol.
    - $Na_2S_2O_3$ al $0.1566\ M$: el reactivo original era tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3 * 5H_2O$), se deseaba preparar 250 mL de solución $Na_2S_2O_3$ con una concentración cercana ($\sim 0.15\ M$) a la del $NaOH$ ($0.1\ M$), por lo que se pesaron 9.71 g para obtener una solución de $Na_2S_2O_3$ al $0.1566\ M$. La masa molar del $Na_2S_2O_3 * 5H_2O$ es de 248,21 g/mol.
    - Vitamina C al $0.883\ M$: se deseaba preparar una solución al $0.883\ M$, para ello se pesaron 38.88 g de ácido ascórbico lo que dio como resultado una disolución con pH 2.1 aproximadamente. La masa molar del $C_6H_8O_6$ es de 176,12 g/mol.
- **Volumen constante**: $50\ mL$ por ensayo, asegurando comparabilidad en el método de Job.

En Excel, estas variables se integraron para hallar el valor simulado del ΔT usando fórmulas estequiométricas y termodinámicas, permitiendo contrastar predicciones con datos experimentales.

3.6. Pasos básicos para implementar el método de Job termométrico

1. **Preparación de soluciones**:
    - Preparar las soluciones molares de dos reactivos.
    - Mezclar volúmenes variables de cada solución en proporciones molares distintas (por ejemplo, 9:1, 8:2, ..., 1:9), manteniendo el volumen total constante (por ejemplo, 10 mL). Cada proporción distinta es un ensayo,

se recomienda hacer 2 o 3 ensayos antes y después del ΔT máximo. Organizar los ensayos en una tabla.

2. **Medición de temperatura**:
    - Registrar la temperatura inicial de cada solución antes de mezclarlas.
    - Mezclar las soluciones en un calorímetro improvisado, esto es un vaso de poliestireno o icopor.
    - Medir la temperatura máxima alcanzada después de la mezcla.
    - Calcular $\Delta T = Temperatura\ final - Temperatura\ inicial$ e ir registrando los datos en una tabla.
3. **Graficación y análisis**:
    - Graficar fracción molar vs. ΔT.
    - Identificar el pico de la curva: la fracción molar en el máximo ΔT corresponde a la relación estequiométrica.

3.7. Estructura de la actividad de aula-laboratorio.

La secuencia didáctica es una serie de actividades ordenadas, estructuradas y articuladas para la consecución de objetivos de aprendizaje en un tiempo determinado. Estas actividades, diseñadas por el docente, deben promover la interacción entre los contenidos, las acciones de los estudiantes y la mediación del profesor, con el fin de generar aprendizajes significativos (Díaz, 2002). El diseño de la secuencia didáctica se fundamenta en el modelo de planeación de secuencias didácticas sustentado en actividades de aprendizaje, propuesto por Díaz (2013).

Las actividades enmarcadas dentro de la secuencia didáctica que pretenden armonizar la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química, fundamentadas en aprendizaje significativo, siguen este orden:

1. Organizador previo (fase de anclaje conceptual)
2. Desarrollo teórico-práctico (fase de exploración guiada)
3. Discusión y reflexión (fase de reconciliación integradora)
4. Evaluación formativa y metacognición (fase de transferencia)
5. Recursos y herramientas clave.

Esta secuencia sigue una metodología de ciclo de aprendizaje experiencial propuesto por David Kolb et al. (1974), quienes sostienen que la experiencia engloba la serie completa de actividades que facilitan el aprendizaje, afirman que éste se encuentra condicionado por las vivencias experimentadas y consta de cuatro etapas que incluyen: la experiencia concreta, una observación reflexiva, la conceptualización abstracta y una experimentación activa. En definitiva, esta metodología, que puede enmarcar al aprendizaje por descubrimiento guiado ya que comparten una base en común, facilita el aprendizaje significativo de Ausubel a través de la experiencia, reflexión, conceptualización y experimentación (Espinar et al., 2020; Rodríguez, 2018). La secuencia desarrollada puede observarse en el Anexo A.

4. TRABAJO FINAL

4.1. Resultados y Análisis

En este apartado se presentarán los resultados obtenidos del diseño de los experimentos para ser incluidos en un proyecto de aula que busque armonizar la conceptualización y la experimentación de la estequiometría y la reactividad química de manera efectiva.

4.1.1. Resultados y análisis de los experimentos.

4.1.1.1. Experimento 1: Método de Job termométrico ($NaOCl + Na_2S_2O_3$ en medio básico con $NaOH$).

M del NaCLO:	0,493	Masa de la Sol. (g):	50	H de neutralización:	
M del Na2S2O3:	0,1566	Cp (J/g °C)	4,184	Teórico:	483200
Volumen de la Sol. (L)	0,05	H de neutral. (J/mol)	483200	Experimental:	757200
nOCL-/nS2O3 2-	VNa2S2O3 (mL)	VNaCLO (mL)	VNaOH (mL)	nNa2SO4	ΔT (°C)
1,26	25	10	15	0,0012	2,85
2,36	20	15	15	0,0018	4,27
4,20	15	20	15	0,0023	5,43
7,87	10	25	15	0,0016	3,62
18,89	5	30	15	0,0008	1,81

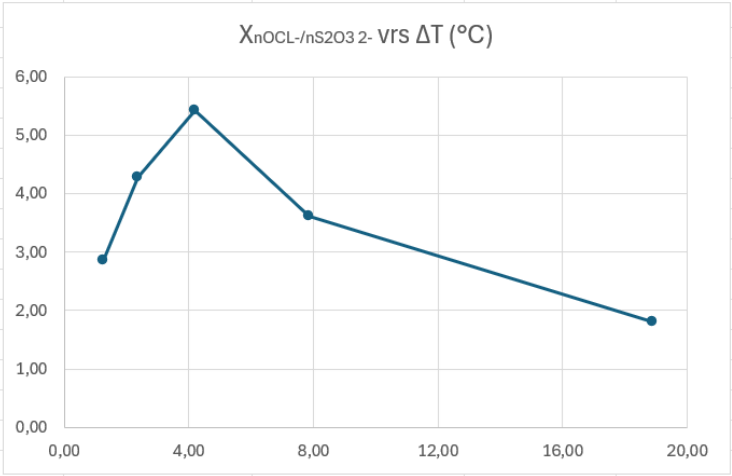

Figura 5. Resultados del diseño y simulación en Excel del Experimento 1. Aquí se evidencia que la relación molar 4,20 : 1 tiene la máxima de temperatura en el pico de la gráfica de Job.

Tabla 3. **Resultados del diseño del experimento 1 al realizarlo en el laboratorio.** Se evidencia que la relación molar o estequiometría de los reactivos 4,20 : 1 coincide con la temperatura más alta como en la simulación en Excel.

$\frac{nOCl^-}{nS_2O_3{}^{2-}}$	**Volumen de** $Na_2S_2O_3$ (mL)	**Volumen de** $NaOCl$ (mL)	**Volumen de** $NaOH$ (mL)	ΔT $(°C)$
1.26	25	10	15	5.7
2.36	20	15	15	8.5
4.20	15	20	15	9.0
7.87	10	25	15	5.5
18.89	5	30	15	2.5

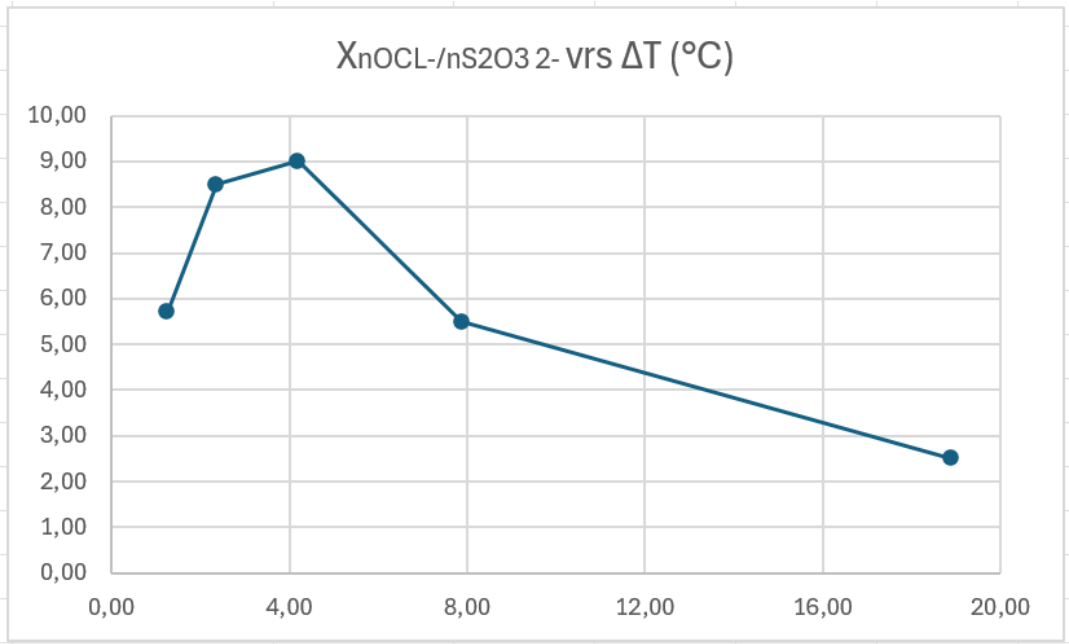

Figura 6. Gráfica de Job de los resultados en el laboratorio del Experimento 1. Se observa el pico de la gráfica en la relación molar 4,20 : 1 indicando la estequiometría de los reactivos.

Reacción balanceada:

$$4\,NaOCl + Na_2S_2O_3 + 2\,NaOH \rightarrow 4\,NaCl + 2\,Na_2SO_4 + H_2O$$

Proporción estequiométrica: $4{:}\,1$ $(NaOCl : Na_2S_2O_3)$.

Descripción y validación:

- Mecanismo redox:
  - $NaOCl$ actúa como oxidante en medio básico, reduciéndose de ClO^- a Cl^-.
  - $Na_2S_2O_3$ actúa como reductor, oxidándose de ${S_2O_3}^{2-}$ a ${SO_4}^{2-}$.
- Medio básico: El $NaOH$ mantiene un pH ~12, estabilizando el ClO^- y evitando su descomposición a Cl_2 gaseoso.
- Termoquímica: La reacción es exotérmica, y el ΔT máximo se observa al mezclar 4 moles de $NaOCl$ por 1 mol de $Na_2S_2O_3$, validando la estequiometría **4:1,** que equivale a la aproximación correcta de 4,20 : 1.

Balance de masa:

- Sodio (Na): <u>4</u> en $(NaOCl)$ + <u>2</u> en $(Na_2S_2O_3)$ + <u>2</u> en $(NaOH)$ = <u>4</u> en $(NaCl)$ + <u>4</u> en (Na_2SO_4) → <u>8</u> Na en reactivos vs. <u>8</u> Na en productos.

- Oxígeno (O): 4 en $(NaOCl)$ + 3 en $(Na_2S_2O_3)$ + 2 en $(NaOH)$ = 8 en (Na_2SO_4) + 1 en (H_2O) → 9 O en reactivos vs. 9 O en productos.
- Azufre (S): 2 en ($Na_2S_2O_3$) = 2 en (Na_2SO_4) → 2 S en reactivos vs. 2 S en productos.
- Hidrógeno (H): 2 en (NaOH) = 2 en (H_2O) → 2 H en reactivos vs. 2 H en productos.

Balance redox:

- Oxidación del $S_2O_3{}^{2-}$:
  - $2S^{+2} - 8e^- \rightarrow 2\,S^{+6}$
  - Cada átomo de S se oxida de +2 a +6, perdiendo 4 electrones por S, es decir, $8e^-$ perdidos en total.
- Reducción del ClO^-:
  - $4Cl^+ + 8e^- \rightarrow 4Cl^-$
  - Cada Cl se reduce de +1 a -1, ganando $2e^-$ por Cl, como son 4, son en total $8e^-$ ganados.
- Balance global:
  - Se transfieren $8e^-$ (perdidos por 1 mol de $S_2O_3{}^{2-}$) a 4 moles de ClO^- (2 e^- ganados por cada uno → $8\ e^-$ en total).

Observaciones:

1. Papel del NaOH:
   - Neutraliza el H^+ generado durante la oxidación del $S_2O_3^{2-}$, evitando la acidificación del medio y la descomposición del NaOCl.
   - Proporciona los iones OH^- necesarios para balancear los átomos de O y H en los productos.
2. Variabilidad del ΔT en los experimentos:
   - En general, el ΔT medido depende de la pureza de los reactivos, la precisión en las concentraciones y las pérdidas de calor al ambiente.

- En condiciones ideales, el ΔT máximo debería coincidir con la relación 4:1, pero valores ligeramente menores o mayores son comunes al proceder en el laboratorio.

3. Aplicaciones prácticas:
   - Este método se usa en la industria para determinar relaciones estequiométricas en síntesis de complejos o reacciones redox (Ingham, 1975; Gil y Oliveira, 1990; Renny et al., 2013).
   - El $NaOCl$, por su poder oxidante, es clave en desinfección de aguas (Casson y Bess, 2005; White, 2010; Namoos, 2018), mientras que el $Na_2S_2O_3$ se emplea en fotografía para fijar imágenes (Haist, 1979; Reilly, 1980; Anchell y Troop, 1999).

4. Análisis gráfico y de las tablas:

   En la parte superior de la Figura 5 se observan los datos necesarios para llevar a cabo la simulación en Excel; las concentraciones molares el volumen y masa de la solución, el calor especifico del agua (Cp) y la entalpía de neutralización (ΔH_{n}). En la parte superior derecha se observa la ΔH_{n} teórica (con la que se procedió en Excel) y la experimental, esta última aproximaría los valores del ΔT hallados en el laboratorio a los hallados en la simulación en la hoja de cálculo.

   En este experimento se realizaron 5 ensayos con distintas variaciones en los volúmenes. Se variaron los volúmenes de tiosulfato de sodio e hipoclorito de sodio, además se mantuvo constante el volumen de hidróxido de sodio de tal forma que las tres cantidades sumadas den 50 mL por ensayo. A partir de aquí se halló la proporción $\frac{nOCl^-}{nS_2O_3{}^{2-}}$ que correspondería a $\frac{moles\ de\ NaOCl}{moles\ de\ Na_2S_2O_3}$, por cada ensayo esto generaba un valor el cual se graficó junto con el ΔT resultante de cada uno de ellos (Ver la parte inferior de la Fig. 5), todas estas variaciones se hicieron análogamente en el laboratorio como se puede observar en la Tabla 3 y en la Figura 6 está el grafico de Job para estos resultados.

La diferencia entre la simulación en Excel y el procedimiento experimental en el laboratorio fueron los resultados del ΔT, aunque lo importante en todo esto fue que el resultado que brinda la gráfica de Job, que es la estequiometría 4:1 de los reactivos, fue igual en ambos escenarios. Sin embargo, a continuación, se plantean las posibles causas específicas que originaron un ΔT experimental más alto:

- Medio básico más concentrado (Experimento 1): Un pH más alto podría acelerar la reacción redox, aumentando la liberación de calor.
- Aislamiento térmico mejorado: Si el recipiente minimizó pérdidas de calor, el ΔT medido sería mayor que en la simulación, que podría asumir pérdidas estándar.
- Descomposición del NaOCl (Experimento 1): En medio acuoso, el NaOCl puede descomponerse en Cl_2 y O_2, liberando calor adicional.
- Oxidación de subproductos (aplica para el caso del experimento 2): La vitamina C podría generar intermediarios oxidables, por ejemplo, radicales libres que contribuyan al ΔT.
- Capacidad calorífica subestimada: Si la simulación asumió que solo el agua absorbía calor (Cp = 4.18 J/g°C), pero el recipiente o el ambiente también lo hicieron, el modelo subestimaría el ΔT real. No obstante, en este caso, el ΔT experimental fue mayor, lo que sugiere que la transferencia de calor al entorno fue menor de lo esperado.
- Humedad o presión atmosférica: Factores que influyen en la cinética química, aunque su impacto en ΔT no es tan significativo.

La gráfica de Job generada a partir de los resultados del laboratorio (ver Fig. 6) no sigue exactamente la misma tendencia, sin embargo, el pico sí sigue siendo en aproximadamente 4 indicando así la misma relación 4:1 de los reactivos, lo que valida la funcionalidad de la simulación en Excel y la puesta en práctica del experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional Sede Medellín.

4.1.1.2. Experimento 2: Oxidación de vitamina C ($C_6H_8O_6$) con NaOCl en medio acuoso usando el método de Job termométrico.

M del NaCLO:	0,493	Masa de la Sol. (g):	50	H de neutralización:	
M del C6H8O6:	0,883	Cp (J/g °C)	4,184	Teórico:	144800
Volumen de la Sol. (L)	0,05	H de neutral. (J/mol)	144800	Experimental:	663500
nOCL-/C6H8O6	V C6H8O6 (mL)	VNaCLO (mL)	VH2O (mL)	nC6H6O6	ΔT (°C)
1,12	5	10	35	0,0012	0,85
1,67	5	15	30	0,0018	1,28
2,23	5	20	25	0,0025	1,71
2,79	5	25	20	0,0031	2,13
3,35	5	30	15	0,0037	2,56
3,91	5	35	10	0,0043	2,99
4,02	5	36	9	0,0044	3,07
4,47	5	40	5	0,0044	3,06
5,02	5	45	0	0,0044	3,06

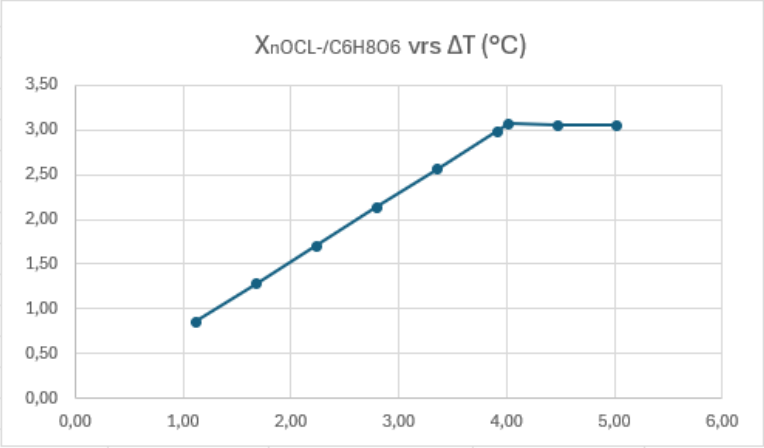

Figura 7. Resultados del diseño y simulación en Excel del Experimento 2. Aquí se evidencia la transición de reactivo limite a reactivo en exceso justo en la relación molar 4,02 : 1; es justo donde tiene la máxima de temperatura, en la sección constante de la gráfica.

Tabla 4. **Resultados del Experimento 2 al realizarlo en el laboratorio.** Se evidencia la relación molar o estequiometría de los reactivos 4,02 : 1 que coincide con la hallada en Excel, pues a partir de ahí no incrementa la temperatura.

$\frac{nOCl^-}{nC_6H_8O_6}$	**Volumen de** $C_6H_8O_6\ (mL)$	**Volumen de** $NaOCl\ (mL)$	**Volumen de** $H_2O\ \ (mL)$	$\Delta T\ (°C)$
1,12	5	10	35	6.5
1,67	5	15	30	8.0

2,23	5	20	25	10.0
2,79	5	25	20	12.0
3,35	5	30	15	13.0
3,91	5	35	10	12.8
4,02	5	36	9	14.0
4,47	5	40	5	14.0
5,02	5	45	0	14.0

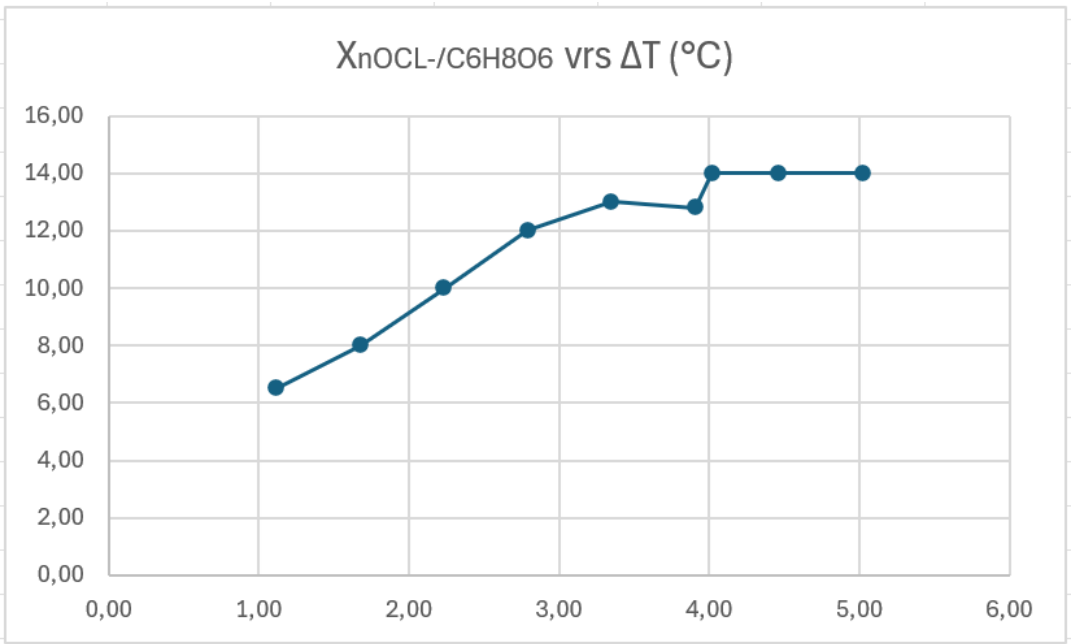

Figura 8. Gráfica de los resultados en el laboratorio del Experimento 2, se evidencia la estequiometría 4:1 de los reactivos.

Reacción balanceada:

$$C_6H_8O_6 + 4\,NaOCl \rightarrow C_2H_2O_4 + C_4H_6O_5 + 4\,NaCl + \frac{1}{2}\,O_2$$

Proporción estequiométrica: 4:1 ($NaOCl$: $C_6H_8O_6$).

Descripción y validación de los productos de oxidación:

- Ácido oxálico ($C_2H_2O_4$): Compuesto dicarboxílico, producto común de la oxidación fuerte de la vitamina C (Guzman et al., 1936).
- Ácido málico ($C_4H_6O_5$): Intermedio de oxidación o producto secundario, aunque su formación no es muy común y depende de la condiciones de pH, temperatura, concentración de NaOCl (Linster y Van Schaftingen, 2007).
- Oxígeno molecular (O_2): Subproducto generado por la descomposición parcial del NaOCl en medio acuoso (Sandin et al., 2015).
- Medio ácido: El H_2O mantiene en óptimas condiciones el pH evitando alterar la reactividad intrínseca del medio acuoso.
- Termoquímica: La reacción es exotérmica, y el ΔT máximo se observa al mezclar 4 moles de $NaOCl$ por 1 mol de $C_6H_8O_6$, validando la estequiometría 4:1, que equivale a la aproximación correcta de 4,02 : 1.

Balance de masa:

- Carbono: 6 en reactivos ($C_6H_8O_6$) = 2 ($C_2H_2O_4$) + 4 ($C_4H_6O_5$) → 6 en productos.
- Hidrógeno: 8 en reactivos ($C_6H_8O_6$) = 2 ($C_2H_2O_4$) + 6 ($C_4H_6O_5$) → 8 en productos.
- Oxígeno:
  - Reactivos: 6 ($C_6H_8O_6$) + 4 ($NaOCl$) = 10 átomos de O.
  - Productos: 4 ($C_2H_2O_4$) + 5 ($C_4H_6O_5$) + 1 (½ O_2) = 10 átomos de O.
- Cloro y sodio: 4 NaCl equilibran los 4 NaOCl.

Balance redox:

- Oxidación del ácido ascórbico:
  - $C_6{}^{+\frac{2}{3}}H_8{}^{+1}O_6{}^{-2} \rightarrow C_2{}^{+3}H_2{}^{+1}O_4{}^{-2} + C_4{}^{+1}H_6{}^{+1}O_5{}^{-2}$
  - $6C^{+\frac{2}{3}} - 6e^- \rightarrow 2C^{+3} + 4C^{+1}$
  - Pérdida de electrones: Cada molécula de vitamina C pierde <u>$6e^-$</u>.
  - Si se hace el balance de electrones por cada oxígeno, se tiene qué: $-12e^- - 8e^- \rightarrow -8e^- - 10e^- = -20e^- \rightarrow -18e^-$, lo que sugiere

que el oxígeno también se oxida perdiendo $\underline{2e^-}$, incluso es fácil notarlo porque está en estado molecular en los reactivos ($\frac{1}{2}\ {O_2}^0$).

- Se obtiene así una oxidación total de $\underline{8e^-}$.

- Reducción del NaOCl:
  - $4Cl^+ + 8e^- \rightarrow 4Cl^-$.
  - Ganancia de electrones: Cada Cl gana 2 electrones (reducción total de $\underline{8e^-}$).
- Balance global: 4 moles de $NaOCl$ (4 × 2 e^-) = 8e^- totales ganados, equilibrando la perdida de 2e^- por el oxígeno y los 6e^- de la vitamina C.

Observaciones:

1. Formación de O_2:
   - El O_2 surge de la descomposición competitiva del $NaOCl$ en medio acuoso:

$$2\,NaOCl \rightarrow 2\,NaCl + O_2$$

   - Esto explica el ½ O_2 en los productos, aunque su presencia puede variar según la pureza del $NaOCl$ y las condiciones del medio.
   - La formación de O_2 como subproducto evidencia la inestabilidad termodinámica del NaOCl en agua, que se descompone parcialmente, un detalle crítico para entender por qué el rendimiento experimental puede desviarse del teórico.
2. Variabilidad de productos:
   - En medios ácidos o con exceso de NaOCl, la oxidación de la vitamina C puede generar otros productos, por ejemplo, ácido dehidroascórbico ($C_6H_6O_6$).
   - La reacción aquí planteada corresponde a una oxidación fuerte y controlada, típica en condiciones de laboratorio con NaOCl en exceso.

3. Implicaciones pedagógicas:
    - Este experimento refuerza la importancia de validar reacciones teóricas con datos experimentales, ya que las reacciones redox pueden tener múltiples vías dependiendo de los reactivos y condiciones.
4. Análisis gráfico y de las tablas:

En la parte superior de la Figura 7 se observan los datos necesarios para llevar a cabo la simulación en Excel; las concentraciones molares el volumen y masa de la solución, el calor especifico del agua (Cp) y la entalpía de neutralización (ΔH_{n}). En la parte superior derecha se observa la ΔH_{n} teórica (con la que se procedió en Excel) y la experimental, esta última aproximaría los valores del ΔT hallados en el laboratorio a los hallados en la simulación en la hoja de cálculo.

En este experimento se realizaron 9 ensayos con distintas variaciones en los volúmenes. Se variaron los volúmenes agua e hipoclorito de sodio, además se mantuvo constante el volumen de ácido ascórbico de tal forma que las tres cantidades sumadas den 50 mL por ensayo. A partir de aquí se halló la proporción $\frac{nOCl^{-}}{nC_6H_8O_6}$ que correspondería a $\frac{moles\ de\ NaOCl}{moles\ de\ C_6H_8O_6}$, por cada ensayo esto generaba un valor el cual se graficó junto con el ΔT resultante de cada uno de ellos (Ver la parte inferior de la Fig. 7), todas estas variaciones se hicieron análogamente en el laboratorio como se puede observar en la Tabla 4 y en la Figura 8 está el gráfico que ilustra estos resultados, es decir, la transición de reactivo limite a reactivo en exceso (justo en la relación molar 4:1).

La diferencia entre la simulación en Excel y el procedimiento experimental en el laboratorio fueron los resultados del ΔT, aunque lo importante en todo esto fue que el resultado que brinda la gráfica realizada, que es la estequiometría 4:1 de los reactivos, fue igual en ambos escenarios. Las posibles causas específicas que originaron un ΔT experimental más alto se discutieron en el análisis del Experimento 1. La gráfica generada a partir de los resultados del laboratorio (ver Fig.

8) no sigue exactamente la misma tendencia, sin embargo, el comportamiento constante inicia de igual manera cuando la fracción molar es aproximadamente 4 indicando así la misma relación 4:1 de los reactivos, lo que valida la funcionalidad de la simulación en Excel y la puesta en práctica del experimento en el laboratorio de la Universidad Nacional Sede Medellín.

4.1.1.3. Armonización de la reactividad química y la estequiometría con los experimentos diseñados.

Para equilibrar la transferencia total de electrones, se requieren 4 moléculas de NaClO por cada 1 molécula de $Na_2S_2O_3$ o bien, 1 molécula de $C_6H_8O_6$ en el experimento 2. El método de Job evidencia esta relación al mostrar que la máxima liberación de calor ocurre en la proporción 4:1, demostrando que la estequiometría es una consecuencia directa de la reactividad redox de los reactivos, es decir, la estequiometría no es un número arbitrario; surge de la naturaleza química de los reactivos. En este punto, es donde se armoniza la estequiometría con la reactividad química.

En el Experimento 1, el medio básico no solo evita la descomposición del $NaOCl$ a Cl_2 tóxico, sino que también estabiliza el ClO^-, aumentando su potencial redox y optimizando su reactividad como oxidante. Esto demuestra cómo las condiciones de pH modulan la reactividad; sin $NaOH$, la reacción sería menos eficiente o incluso peligrosa. En el Experimento 2, la ausencia de $NaOH$ permite estudiar la reactividad del $NaOCl$ en un medio neutro, donde su poder oxidante es menor, pero suficiente para degradar la vitamina C. Aquí, la estabilidad del ácido ascórbico en medio acuoso (sin degradación alcalina) asegura que la reacción siga la vía redox esperada, vinculando la acidez del medio con la selectividad de los productos. Ambos casos ilustran que la termodinámica (energía liberada como ΔT) y la cinética (velocidad de reacción) dependen de factores como la concentración, el pH y la pureza de los reactivos. Por ejemplo, en el método de Job, el ΔT máximo solo se alcanza cuando la relación molar coincide con la estequiometría teórica, lo que valida que la reactividad óptima ocurre cuando los reactivos se consumen completamente sin excesos. En esa misma línea, el pH, la temperatura o la presencia de catalizadores pueden

alterar la reactividad aparente, por ejemplo, en medio ácido, el $ClO-$ se convierte en $HClO$, aumentando su reactividad oxidante y modificando la estequiometría de reacciones secundarias. Esto permite discutir con los estudiantes cómo esta y otras condiciones del sistema afectan la reactividad y, por ende, los resultados estequiométricos.

El método de Job permite da una idea de los mecanismos químicos a partir de datos experimentales. Por ejemplo, en el experimento 1, la proporción 4:1 confirma que cada molécula de ${S_2O_3}^{2-}$ transfiere 8 electrones (oxidándose a ${SO_4}^{2-}$), mientras que cada ClO^- acepta 2 electrones (reduciéndose a Cl^-), lo que implica un mecanismo de cuatro procesos de transferencia electrónica por cada molécula de tiosulfato. Este requerimiento explica por qué se necesitan exactamente 4 moles de $NaOCl$ para consumir 1 mol de $Na_2S_2O_3$, evidenciando un mecanismo cooperativo donde múltiples oxidantes atacan secuencialmente al reductor. En contraste, si la proporción óptima fuera 1:1 (como en algunas reacciones ácido-base), el mecanismo implicaría una simple transferencia protónica o un intercambio iónico directo, así, la relación 4:1 no solo cuantifica la estequiometría, sino que también insinúa una cinética compleja y una termodinámica favorecida por la estabilidad de los productos (los sulfatos son más estables que los tiosulfatos en medio básico). Estos detalles demuestran que el método de Job no solo cuantifica relaciones molares, sino que también da idea de la complejidad de las reacciones, mostrando cómo la estequiometría emerge de las interacciones entre electrones, enlaces y condiciones experimentales.

La implementación del método de Job en el contexto educativo de la quimica ejemplifica una armonización pedagógica ejemplar, mientras el profesor explica en el aula conceptos abstractos como estequiometría, relaciones molares, energía de reacción o reactividad redox, los estudiantes se trasladan al laboratorio para validar ese conocimiento experimentalmente, transformando ecuaciones en evidencia tangible, esta estrategia, centrada en la participación activa del estudiante, asegura que lo enseñado no se quede en la pizarra, sino que se materialice en actividades concretas. El método de Job actúa, así como un potente mediador, lo que el docente presenta en sus clases magistrales, los estudiantes lo reinterpretan mediante gráficas de temperatura y cálculos

termoquímicos, descubriendo que las fórmulas balanceadas no son arbitrarias, sino el reflejo de interacciones moleculares medibles. Esta sinergia se potencia al contrastar predicciones de Excel con resultados experimentales, si el ΔT real supera al simulado, se abre un debate sobre *por qué* (mayor pureza, reacciones secundarias, aislamiento térmico), fomentando el pensamiento crítico. Al final, cada análisis de gráficas, cada cálculo de estequiometría, cada predicción asociada a la reactividad de los compuestos involucrados y cada discusión sobre posibles errores, tejen una red de aprendizajes significativos (Ausubel, 1978).

4.1.2. Integración entre aprendizaje significativo y los experimentos.

Según David Ausubel (1978) el aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información "se conecta" con un concepto relevante("subsunsor") pre existente en la estructura cognitiva, esto implica que, las nuevas ideas, conceptos y proposiciones pueden ser aprendidos significativamente en la medida en que otras ideas, conceptos o proposiciones relevantes estén adecuadamente claras y disponibles en la estructura cognitiva del individuo y que funcionen como un punto de "anclaje" a las primeras. Parece una serie de vasos comunicantes que se interconectan unos con otros formando redes de conocimientos (Ausubel, 2002). En el proceso de asimilación, las ideas previas existentes en la estructura cognitiva se modifican adquiriendo nuevos significados, si durante la asimilación se reconocen y vinculan las ideas ya presentes en la estructura cognitiva con la nueva información, permitiendo reorganizar y atribuir un significado renovado, según Ausubel este proceso se denomina reconciliación integradora. Dicho fenómeno se observa en aprendizajes supraordinados y combinatorios, puesto que requiere recombinar los elementos preexistentes en la estructura cognitiva (Moreira, 1993).

Los experimentos propuestos y las 10 fases para su implementación (desde diseño teórico en Excel hasta retroalimentación final) están diseñados para operar como "vasos comunicantes" cognitivos, tal como Ausubel conceptualiza el aprendizaje significativo. Aquí se detalla cómo cada elemento se alinea con sus postulados:

4.1.2.1. Subsunción de conceptos: Conexión con conocimientos previos ("subsunsores").

- ***Experimento 1 (NaOCl + $Na_2S_2O_3$)***:
  - Subsunsor previo: Los estudiantes ya conocen conceptos como mol, relaciones molares y reacciones redox (oxidación/reducción).
  - Nueva información: La proporción 4:1 no es un número arbitrario, sino que emerge de la transferencia de 8 electrones por molécula de $S_2O_3{}^{2-}$, requiriendo 4 moléculas de ClO^- (cada una aceptando 2 e^-).
  - Conexión ausubeliana: La estequiometría 4:1 se "ancla" en el subsunsor *balance redox*, permitiendo que los estudiantes integren cálculos matemáticos con mecanismos químicos.
- ***Experimento 2 (NaOCl + vitamina C)***:
  - Subsunsor previo: Conocen la vitamina C como un producto que venden en pastillas en la droguería, también como antioxidante, y el $NaOCl$ como desinfectante básico del hogar (límpido o Clorox).
  - Nueva información: La oxidación de la vitamina C sigue la misma proporción 4:1, pero en medio neutro, mostrando que la estequiometría es independiente del pH en ambos experimentos.
  - Conexión ausubeliana: La relación molar se abstrae bajo el concepto de reactividad química, explicando por qué el $NaOCl$ actúa como oxidante incluso sin $NaOH$.

4.1.2.2. Organizadores previos: Simulación en Excel y preparación teórica

- ***Fase de modelado en Excel***:
  - Función ausubeliana: Actúa como un organizador avanzado, preparando cognitivamente a los estudiantes al presentar cálculos estequiométricos y predicciones termoquímicas antes del laboratorio.
  - Ejemplo: Al simular ΔT para relaciones molares variables, los estudiantes anticipan cómo la teoría (4:1) se traducirá en datos experimentales, creando un "puente" entre conceptos abstractos y observables.

- ***Resultado**:* Los organizadores previos evitan el aprendizaje memorístico, ya que los estudiantes entienden *por qué* deben medir volúmenes específicos o ajustar el pH.

4.1.2.3. Aprendizaje por descubrimiento guiado: Experimentación y contrastación

- ***Fase de laboratorio**:*

  - Subsunción correlativa: Cuando los estudiantes miden ΔT y observan que el máximo ocurre en la relación 4:1, no solo confirman la teoría, sino que modifican sus esquemas mentales para incluir la ciertos factores como pérdidas de calor o impurezas.
  - Ejemplo: Si el ΔT experimental es menor al teórico, deben reconciliar esta discrepancia, conectando el subsunsor *conservación de energía* con nuevos conceptos como *eficiencia de la reacción*.

- ***Resultado:*** El error experimental no es un fracaso, sino una oportunidad para la diferenciación progresiva, donde los estudiantes refinan sus conceptos previos, produciendo una elaboración adicional jerárquica de los conceptos o proposiciones (Ausubel, 1978).

4.1.2.4. Integración teoría-práctica: Discusión y aplicaciones reales

La oxidación controlada del tiosulfato de sodio y la vitamina C mediante hipoclorito de sodio no son solo ejercicios de laboratorio, sino procesos con relevancia en contextos industriales, ambientales y biológicos. Al analizar los resultados experimentales, los estudiantes descubren que la estequiometría 4:1 no es una abstracción, sino una herramienta predictiva con aplicaciones concretas:

- ***Tratamiento de aguas residuales:*** El $Na_2S_2O_3$ se usa para neutralizar el cloro residual (ClO^-) en aguas tratadas con NaOCl, la relación 4:1 asegura que todo el ClO^- se reduzca a Cl^- inocuo, siguiendo la misma estequiometría estudiada. Su eficacia para neutralizar el cloro residual tras los procesos de tratamiento garantiza el suministro de agua potable, esta característica es especialmente valiosa en los sistemas de agua municipales y la

acuicultura, donde la presencia de cloro puede ser perjudicial para la vida acuática (Noah Chemicals, s.f).

- ***Síntesis industrial y química:*** El tiosulfato de sodio es fundamental en diversos procesos industriales, como el curtido de cuero y la síntesis química. Sus propiedades reductoras facilitan la eliminación del exceso de cloro en las industrias papelera y textil, garantizando así la calidad y la seguridad del producto (Noah Chemicals, s.f).
- ***Conservación de alimentos:*** La vitamina C se añade a jugos y envasados como antioxidante para retardar la oxidación de lípidos y pigmentos. Entender su degradación por oxidantes (como el NaOCl) ayuda a diseñar envases que minimicen la exposición al aire o luz (Carr & Frei, 1999).
- ***Farmacología y cosmética:*** En cremas y sueros, la vitamina C (ácido L-ascórbico) se oxida fácilmente, reduciendo su eficacia como antienvejecimiento (Pullar et al., 2017).

Al contextualizar el aprendizaje en problemas reales y posiblemente locales, conectando la química con aplicaciones industriales, ambientales o cotidianas, se promueve un aprendizaje significativo, ya que se garantiza que el aprendizaje no sea mecánico, sino crítico y transferible a otros contextos (Moreira, 2005).

4.2. Actividad de aula-laboratorio sugerida

A continuación, se detalla la estructura de la secuencia didáctica basada en el aprendizaje significativo de Ausubel, enfocada en integrar estequiometría y reactividad química mediante actividades teórico-prácticas. La secuencia completa se puede visualizar en el Anexo A.

1. Organizador previo (Fase de anclaje conceptual en el aula)

Objetivo: Activar conocimientos previos y presentar el tema de manera contextualizada.

Actividades:

- Video introductorio: Mostrar una aplicación real (ej: uso de NaOCl en desinfección de aguas o oxidación de vitamina C en alimentos) para generar interés.
- Mapa conceptual colaborativo: Los estudiantes, en grupos, dibujan lo que saben sobre "estequiometría" y "reactividad", identificando conexiones iniciales.
- Pregunta guía: "¿Cómo determinamos la cantidad exacta de reactivos para que una reacción sea eficiente y segura?".

Fundamento Ausubeliano:

- Subsunción derivada: Vincular nuevos conceptos relación con conocimientos previos.
- Organizador expositivo: El docente explica que la estequiometría es el "lenguaje cuantitativo" de las reacciones, y la reactividad es su "lenguaje cualitativo".

2. Desarrollo teórico-práctico (Fase de exploración guiada)

Objetivo: Integrar teoría y práctica mediante simulaciones y experimentos.

Actividades:

- Simulación en Excel:
    - Los estudiantes ajustan variables (concentraciones, volúmenes) para predecir el ΔT en el método de Job, usando fórmulas estequiométricas ($q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$).
    - Ejemplo de preguntas claves: "Si usamos 0.493 M de NaOCl y 0.1566 M de $Na_2S_2O_3$, ¿qué ΔT máximo obtenemos? ¿luego de realizar el grafico de Job en que relación molar se ubica el pico de ΔT?"
- Desarrollo de los experimentos en el laboratorio:
    - Experimento 1: Método de Job termométrico ($NaOCl + Na_2S_2O_3$).
    - Experimento 2: Oxidación de vitamina C con $NaOCl$.
    - Tarea: Medir $T_{inicial}, T_{final}$, calcular ΔT, y comparar con las predicciones de Excel.

Fundamento Ausubeliano:

- Aprendizaje por descubrimiento guiado: Los estudiantes contrastan sus predicciones (modelo teórico) con resultados reales (datos experimentales), identificando inconsistencias.

- Subsunción correlativa: Modifican sus esquemas mentales al entender que la estequiometría no es solo matemática, sino que depende de la reactividad (preguntas claves como “¿por qué el NaOCl requiere medio básico?”.

3. Discusión y reflexión (Fase de reconciliación integradora)

Objetivo: Consolidar conceptos mediante el análisis crítico.
Actividades:

- Debate guiado con preguntas claves como:
    - "¿Por qué la relación 4:1 genera el mayor ΔT?"
    - "Si el ΔT experimental fue mayor al teórico, ¿qué factores lo explican?".
- Conexión con aplicaciones reales:
    - El $Na_2S_2O_3$ se usa para neutralizar el cloro residual (ClO^-) en aguas tratadas con NaOCl, generar ejercicios donde deban usar la estequiometría 4:1.
    - Analizar cómo la oxidación de vitamina C afecta la vida útil de jugos envasados.

Fundamento Ausubeliano:

- Reconciliación integradora: El docente resume cómo la estequiometría y reactividad son "caras de la misma moneda" en química.
- Organizador comparativo: Contrastar el método de Job con otras técnicas, por ejemplo, titulaciones, para resaltar su utilidad en diferentes contextos.

4. Evaluación formativa y metacognición (Fase de transferencia)

Objetivo: Verificar la comprensión y fomentar la autorreflexión.
Actividades:

- Portafolio de aprendizaje:
    - Incluir: Gráficos de Job, cálculos estequiométricos, fotos del experimento, y una reflexión sobre errores cometidos.
- Análisis cuantitativo/cualitativo de resultados:
    - El pico máximo en la curva de Job confirmó la estequiometría 4:1 en las reacciones estudiadas, validando los cálculos teóricos.
    - Uso de gráficos, tablas y herramientas estadísticas.

- Cual fue el papel de la reactividad de los compuestos involucrados para llegar a esa estequiometría.

- Evaluación del aprendizaje significativo:
  - Indicadores:
    - Capacidad de los estudiantes para relacionar experimentos con conceptos teóricos.
    - Aplicación de conocimientos en nuevos contextos
  - Métodos de evaluación:
    - Cuestionarios pre/post experimento.
    - Análisis de informes experimentales con enfoque crítico (no solo descriptivo).
- Proyecto final:
  - Diseñar un experimento para determinar la estequiometría de otra reacción, por ejemplo, una reacción de neutralización ácido-base, usando el método de Job.

Fundamento Ausubeliano:

- Diferenciación progresiva: Los estudiantes aplican lo aprendido a nuevos escenarios.
- Metacognición: Reflexionan sobre cómo integraron teoría y práctica, usando preguntas como "¿Qué pasos seguirías para mejorar la precisión en otro experimento?".

5. Recursos y herramientas clave

- Tecnología: Excel/Google Sheets para simulaciones, se puede usar PhET u otro simulador en internet para visualizar reacciones.
- Materiales: Termómetros calibrados y todo el material de laboratorio necesario, reactivos de calidad analítica, guías de laboratorio detalladas.
- Seguridad: Protocolos claros para manipular el Ácido ascórbico, NaOCl y el NaOH (guantes, gafas, ventilación, etc.).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA UNA FUTURA INTERVENCIÓN.

Este apartado no solo cierra el ciclo teórico-experimental del trabajo, sino que también orienta cómo la propuesta diseñada (métodos, experimentos, integración teoría-práctica) podría implementarse en contextos educativos o de investigación, ya que el trabajo no se aplicó directamente con estudiantes.

5.1. Evaluación de la Viabilidad (Equipos, Costo, Seguridad)

- Equipos y materiales (ver Fig. 4):
  Los experimentos propuestos requieren materiales de bajo costo y acceso común en laboratorios educativos:
  - Reactivos principales: NaOCl al 3.5% (solución comercial), $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, vitamina C (ácido ascórbico), NaOH.
  - Instrumentos básicos: Balanza analítica (±0.1 g), termómetros de vidrio o digitales (±0.1°C), pipetas, vasos de precipitados y material de vidrio de laboratorio.
  - Costo estimado: 100 a 250 mil pesos colombianos por grupo de 5 estudiantes (excluyendo equipos permanentes como balanzas).
- Seguridad:
  - Riesgos moderados: El NaOCl es corrosivo y libera Cl_2 en medios ácidos. Se requieren guantes, gafas y ventilación adecuada.
  - Protocolos: Incluir fichas de seguridad (SDS) y entrenamiento en manipulación de químicos.
- Conclusión: La propuesta es viable para laboratorios con infraestructura básica, pero requiere supervisión estricta en contextos sin cultura de seguridad química.

5.2. Estrategias de Adaptación a Diferentes Contextos

- Laboratorios con recursos limitados:

- Usar termómetros de vidrio en lugar de digitales (precisión aceptable ±1°C).
- Reducir volúmenes de reactivos, por ejemplo, hacer ensayos a escala de 10 mL en lugar de 50 mL.

- Escuelas sin laboratorio:
  - Simulaciones virtuales: Usar plataformas gratuitas como PhET, Labster o ChemCollective para replicar los experimentos.
  - Kits portátiles: Diseñar kits con reactivos pre-pesados y recipientes desechables, por ejemplo, jeringas para medir volúmenes.
- Contextos rurales o remotos:
  - Reactivos alternativos: Reemplazar vitamina C por zumo de cítricos (contiene ácido ascórbico natural) para estudiar oxidación.
  - Colaboraciones interinstitucionales: Alianzas con universidades o ONGs para préstamo de equipos.

5.3. Valor Pedagógico en la Enseñanza de Estequiometría y Reactividad

- Integración teoría-práctica:
  - Los experimentos demuestran que la estequiometría no es abstracta: la relación 4:1 se valida midiendo ΔT vinculando cálculos con fenómenos observables. El ΔT máximo en el método de Job coincidió con la relación molar teórica para ambos experimentos.
  - La reactividad se explica mediante mecanismos redox (oxidación de $S_2O_3^{2-}$ o vitamina C), importante para establecer una conexión con conceptos como potencial de reducción y energía de activación.
- Aprendizaje significativo (Ausubel, 1978):
  - Subsunción conceptual: Los experimentos permiten anclar conceptos abstractos (relaciones molares) en experiencias concretas (ΔT, cambios físicos).

- El método de Job actúa como organizador previo, facilitando la comprensión de temas avanzados (termodinámica, cinética). La estequiometría y los conceptos de reactividad son el GPS de las reacciones químicas: sin un análisis de reactividad y sin proporciones exactas, no se llega al producto deseado.

- Habilidades desarrolladas:
  - Pensamiento crítico: Analizar discrepancias entre datos teóricos y experimentales. Los estudiantes discuten por qué ciertas proporciones generan más producto, cómo los errores experimentales afectan la curva y qué factores (por ejemplo, pureza de reactivos) modifican los resultados.
  - Competencias STEM: Manejo de instrumentos, análisis estadístico, redacción de informes.
  - Análisis gráfico y cuantitativo: La construcción de una curva de Job (gráfica de propiedad física medida vs. fracción molar) enseña a interpretar datos, identificar máximos/mínimos y correlacionarlos con la estequiometría teórica.

- Ventajas de usar Excel:
  - Usar plantillas digitales en Excel o bien Google Sheets para realizar cálculos estequiométricos automatizados enseña a optimizar procesos repetitivos.
  - Facilita la transición teoría-práctica al mostrar cómo ecuaciones abstractas se traducen en datos manipulables y gráficos interpretables.
  - Análisis de errores: Herramientas como la regresión lineal en Excel permiten evaluar la precisión de los datos experimentales. Por ejemplo, si la curva de Job muestra un pico desplazado, los estudiantes pueden calcular el error porcentual y discutir fuentes de incertidumbre (por ejemplo, mediciones de volumen inexactas).
  - Presentación de resultados: Aprender a crear gráficos claros y tablas resumen en Excel prepara a los estudiantes para redactar informes técnicos o presentaciones en entornos académicos y futuros entornos laborales.

- Ofrece ventajas frente a métodos manuales, los cuales conllevan cálculos en papel, propensos a errores, gráficos básicos sin capacidad de ajuste, análisis limitado a resultados cualitativos. Los cálculos en Excel son automatizados y verificables, se pueden crear gráficos dinámicos con opciones de personalización y se facilita el análisis cuantitativo avanzado.

- Ventajas de esta metodología en estudiantes principiantes:
  - Accesibilidad: Solo requiere termómetros comunes (digitales o de vidrio) y materiales de bajo costo (vasos, pipetas).
  - Resultados visuales: La curva de $X_{A/B}$ vs. ΔT permite identificar claramente el punto estequiométrico, los datos experimentales validan ecuaciones químicas balanceadas y la estequiometría se vuelve tangible a través de cambios medibles.
  - Refuerzo de conceptos clave como reactivo limitante, conservación de energía, estequiometría, reactividad quimica.
  - Al vincular estequiometría y reactividad química con datos teóricos y experimentales, los estudiantes no solo aprenden a balancear ecuaciones, sino que comprenden cómo y por qué ocurren las reacciones, sentando las bases para estudios más complejos en química analítica, orgánica o industrial.
  - Mientras la práctica tradicional se basa, por lo general, en metodologías con cálculos y rendimientos, procedimientos lineales (mezclar A + B y pesar producto), resultados binarios (éxito/fracaso según rendimiento), el método de Job integra cálculo, reactividad y análisis gráfico, experimentación activa con variables controladas (proporciones molares) y análisis de tendencias y relaciones proporcionales.

5.4. Otras opciones para la Implementación del Método de Job

- Neutralización ácido-base:
  - Reactivos:
    - Ácido clorhídrico (HCl) y hidróxido de sodio ($NaOH$). Reacción:

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O(\Delta H < 0,\ exotérmica)$$

- Relación estequiométrica: 1:1 (HCl:NaOH).
- Aplicación: Ideal para introducir el método de Job, ya que la reacción es simple, rápida y altamente exotérmica. Además, permite discutir la entalpía de neutralización y su dependencia del ácido/base fuerte.

- Reacción redox: Permanganato y oxalato:
  - Reactivos:
    - Permanganato de potasio ($KMnO_4$) y ácido oxálico ($H_2C_2O_4$) en medio ácido (H_2SO_4). Reacción:

$$2\,KMnO_4 + 5\,H_2C_2O_4 + 3\,H_2SO_4 \rightarrow 2\,MnSO_4 + 10\,CO_2 + 8\,H_2O + K_2SO_4$$

  - Relación estequiométrica: 2:5 ($KMnO_4$:$H_2C_2O_4$).
  - Aplicación: Introduce reacciones redox complejas y la importancia del medio ácido. El cambio de color (púrpura → incoloro) facilita la observación visual.
- Formación de complejos:
  - Reactivos:
    - Sulfato de cobre ($CuSO_4$) y EDTA disódico (Na_2H_2EDTA). Reacción:

$$Cu^{2+} + H_2EDTA^{2-} \rightarrow CuEDTA^{2-} + 2\,H^+$$

  - Relación estequiométrica: 1:1 (Cu^{2+}:EDTA).
  - Aplicación: Ejemplifica la formación de complejos y su termodinámica (la reacción puede ser endotérmica o exotérmica según el metal). El cambio de color (azul → azul intenso) refuerza la conexión entre estequiometría y propiedades ópticas.
- Usando otros reactivos de uso común:
  - Reactivos
    - Ácido acético (CH_3COOH) y bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$). Reacción:

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2 \uparrow (\Delta H < 0, exotérmica)$$

  - Relación estequiométrica: 1:1 (ácido acético: bicarbonato de sodio).
  - Aplicación: El CO_2 liberado evidencia que las reacciones químicas pueden involucrar cambios de fase, los conocimientos previos (ácidos, bases, moles) se anclan a la experiencia práctica, construyendo redes cognitivas sólidas. Además, los reactivos son de uso común en el día a día.

5.5. Acciones recomendadas para investigar la discrepancia entre datos experimentales y teóricos.

- Verificar concentraciones: Revisar pesajes, diluciones y pureza de reactivos con hojas de seguridad.
- Calibrar instrumentos: Asegurar que termómetros y balanzas estén correctamente calibrados.
- Repetir el experimento: Controlar variables como agitación, aislamiento térmico y volumen total.
- Auditar el modelo de Excel: Revisar fórmulas, valores de Cp y supuestos sobre transferencia de calor.

La combinación de una preparación precisa de reactivos, condiciones experimentales optimizadas y posibles reacciones secundarias exotérmicas explica los ΔT más altos observados. La simulación en Excel, al basarse en supuestos ideales, no capturó estas variables prácticas, destacando la importancia de validar modelos teóricos con datos empíricos.

En el área de química se emplea, mayoritariamente, una metodología magistral, ya que en la educación superior se cree que resulta complicado incorporar estrategias didácticas innovadoras debido al elevado número de estudiantes en el aula, a la esencia misma de la universidad pública y a que numerosos docentes, aunque son expertos en sus disciplinas, no cuentan con la formación pedagógica necesaria para aplicar métodos didácticos alternativos. En algunas ocasiones es resulta importante brindar capacitación docente para que implementen el método de Job en sus clases, esto puede ser con talleres para profesores sobre cómo integrar el método de Job en sus planes de estudio, además de facilitarle guías didácticas con protocolos detallados, ejemplos de errores comunes y soluciones.

Estos experimentos, al ser escalables, seguros y económicos, ofrecen un modelo replicable para transformar la enseñanza de la química en una experiencia significativa, relevante y aplicada. Su implementación no solo formará mejores científicos, sino ciudadanos conscientes de cómo la química impacta su vida diaria.

El método de Job no solo determina relaciones estequiométricas, sino que también permite explorar la reactividad química de manera integrada. La reactividad, entendida como la capacidad de los reactivos para interactuar y transformarse en productos bajo condiciones

específicas, se manifiesta en cómo las propiedades intrínsecas de las sustancias (como su potencial redox, acidez o capacidad de formar enlaces) influyen en la proporción y naturaleza de los productos formados. Esta propuesta no es un fin, sino un puente entre el diseño teórico y la acción educativa, las recomendaciones aquí planteadas buscan inspirar a docentes e instituciones a adoptar metodologías que transformen positivamente el proceso de enseñanza/aprendizaje de la estequiometría y la reactividad quimica.

Referencias.

Anchell, S. R., & Troop, B. (1999). *The Film Developing Cookbook*. Boston, MA: Focal Press.

Atkins, P., de Paula, J. and Keeler, J. (2017). *Atkins' Physical Chemistry*. 11th Edition. Oxford University Press, Oxford.

Atkins, P., & Jones, L. (2010). *Chemical Principles: The Quest for Insight* (5ª ed.). W. H. Freeman.

Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston.

Ausubel, D. P., Novak, J. Donald., & Hanesian, Helen. (1978). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (2a. ed.). Trillas.

Ausubel, D. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento.* Una perspectiva cognitiva. Barcelona: Paidós.

Bhattacharyya G. and Bodner G. M. (2005). *It gets me to the product: how students propose organic mechanisms*. J. Chem. Educ., 82, 1402–1407.

Brady J. E., Senese, F. y Jespersen, N. (2007). *Chemistry: Matter and Its Changes* (5th Ed.). John Wiley & Sons. ISBN. 978-0470120941

Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14ª ed.). Pearson.

Carnduff J. y Reid N. (2003). *Enhancing undergraduate chemistry laboratories, pre-*

laboratory and post-laboratory exercises, examples and advice. Education Department, Royal Society of Chemistry, Burlington House, Piccadilly, London.

Carr, A. C., & Frei, B. (1999). *Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C*. The American Journal of Clinical Nutrition.

Casson, L., & Bess, C. (2005). *Conversion to On-Site Sodium Hypochlorite Generation: Water and Wastewater Applications*. Boca Raton, FL: CRC Press.

CAST (2018). *Universal Design for Learning Guidelines*. URL: http://udlguidelines.cast.org

Chang, R. (2007). *Química*. Editorial Mc Graw Hill, Novena edición.

Connors, K. A. (1987). Binding Constants: The Measurement of Molecular Complex Stability. Wiley.

Coll, C. (1990). *Significado y sentido en el aprendizaje escolar: Reflexiones en torno al concepto de aprendizaje significativo.* Barcelona: Editorial Paidós Educador.

Coll, C. (2007). El constructivismo en el aula. Madrid: Graó.

Coll, C. (2014). *El sentido del aprendizaje hoy: Un reto para la innovación educativa*. Aula de Innovación Educativa, 232, 12-17.

Colombia. (1994). *Ley general de la educación: Ley 30 de 1992: diciembre 28 y Ley 115 de 1994: febrero 8*. Ministerio de Educación Nacional.

CSU, U. N. (2007). *Acuerdo 033. "Por el cual se establecen los lineamientos básicos para el proceso de formación de los estudiantes de la Universidad Nacional de Colombia a través de sus programas curriculares"*

CSU, U. N. (2015). *Acuerdo 209. "Por el cual se adopta el Proyecto Educativo Institucional -PEI- de la Universidad Nacional de Colombia".*

De Colombia, C. P. (1991). *Constitución política de Colombia.* Bogotá, Colombia: Leyer.

Delgado Guerra J. (2021). *Enseñanza de la hidroclimatología: una práctica docente basada en secuencias didácticas* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79807

Del Valle Montoya, W. (2012). *Enseñanza de la estequiometria con un enfoque sistémico: estudio de casos* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11024

Díaz Barriga, A. (2005). *El profesor de educación superior frente a las demandas de los nuevos debates educativos*. Perfiles Educativos, 27(108), 9-30.

Díaz Barriga, Á. (2013). *Guía para la elaboración de una secuencia didáctica*. UNAM, México, consultada el 20/03/2025, 1-15

Díaz Barriga, F. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: Una interpretación constructivista* (2da ed.). McGraw-Hill.

Elliott, M. J., Stewart, K. K., & Lagowski, J. J. (2008). *The Role of the Laboratory in Chemistry Instruction*. Journal of Chemical Education, 85(1), 145. doi:10.1021/ed085p145

Espinar, A., Estrella, M. & Vigueras, J. A. (2020). *El aprendizaje experiencial y su impacto en la educación actual*. Revista Cubana de Educación Superior, 39(3). Recuperado en 10 de abril de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142020000300012&lng=es&tlng=es

Gilbert J. K., De Jong O., Justi R., Treagust D. and van Driel J. (ed.), (2002), Chemical education: towards research-based practice, Dordrecht: Kluwer.

Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). *Chemistry of the Elements* (2ª ed.). Butterworth-Heinemann.

Guzman B. E., DeMeio R.H y Klemperer F. (1936). *Studies on biological oxidations: V. copper and hemochromogens as catalysts for the oxidation of ascorbic acid. The mechanism of the oxidation*. Journal of Biological Chemistry. Vol 112(2), 625-640. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)74946-6.

Haist, G. (1979). *Modern Photographic Processing*. Nueva York, NY: John Wiley & Sons.

Harmon, M. (1993). *The role of strategies and knowledge in problem solving: a review of*

the literature. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Anaheim, CA. ERIC Document Reproduction Service No. ED 366640.

Harris, D. C. (2007). *Quantitative chemical analysis* (7th ed.). W. H. Freeman.

Hayes, S. E. (1995). *The Stoichiometry of the Neutralization of Citric Acid: An Introductory Laboratory.* Journal of Chemical Education, 72(11), 1029. doi:10.1021/ed072p1029

Henao Valencia A. I. (2019). *Estrategia para el aprendizaje significativo de la estequiometría química* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76251

Hesse J. J. y Anderson C. W. (1992). *Students' conceptions of chemical change*. J. Res. Sci. Teach., 29(3), 277–299.

Hidalgo, N. y Murillo, F. (2017). *Las concepciones sobre el proceso de evaluación del aprendizaje de los estudiantes.* REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 15(1), 107-128. https://doi.org/10.15366/reice2017.15.1.007

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century.* Science Education, 88(1), 28-54. https://doi.org/10.1002/sce.10106

Hofstein, A., & Hugerat, M. (2021). *The Role of the Laboratory in Chemistry Teaching and Learning.* En A. Hofstein & M. Hugerat (Eds.), *Teaching and Learning in the School Chemistry Laboratory* (pp. 1–). The Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/9781839164712-00001

Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2012). *Inorganic Chemistry* (4ª ed.). Pearson.

Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2018). *Inorganic Chemistry* (5ª ed.). Pearson.

Ibrahim, D. (2009). *Using the excel spreadsheet in teaching science subjects.* Procedia – Social and Behavioral Sciences, 1(1), 309–312. doi:10.1016/j.sbspro.2009.01.058

Ingham, K. C. (1975). *On the application of Job's method of continuous variation to the*

stoichiometry of protein-ligand complexes. Analytical Biochemistry, 68(2), 660–663. doi:10.1016/0003-2697(75)90666-1

Johnstone A.H. y Letton K.M. (1990). *Investigation undergraduate laboratory work*. Education in Chemistry, 27, 9-11

Johnstone, A. H. (1991). *Why is chemistry difficult to learn?* Journal of Chemical Education, 68(9), 701.

Job, P. (1928). *Formation and Stability of Inorganic Complexes in Solution*. Annales de Chimie (France), 9, 113-203.

Kaya S. y von Szentpaly L. (2023). *Introduction to Chemical Reactivity*. Book: Chemical Reactivity. Pág. xix-xxi, ISBN 9780323902571. DOI: 10.1016/B978-0-32-390257-1.00006-1. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323902571000061

Kind V., (2004). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas* (2nd ed). London: Royal Society of Chemistry.

Klein, D. (2016). Organic Chemistry (3ª ed.). Wiley. ISBN: 978-1119338352.

Kolb, D., Rubin, I., McIntyre, J., James, M., & Brignardello, L. (1974). *Psicología de las Organizaciones: Experiencias*. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana.

Marcelo, C., Yot, C., Murillo, P. y Mayor, C. (2016). *Actividades de aprendizaje con tecnologías en la universidad. ¿Qué uso hacen los profesores?* Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado, 20(3), 283-312.

Martínez B. A., y Pulgarín M. D. (2021). *La enseñanza de las reacciones químicas y la estequiometria mediadas por tic y la experimentación*. IX Congreso internacional sobre formación de profesores de ciencias. https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/14985

Martínez-Argüello, Luz D., Hinojo-Lucena, Francisco J., & Díaz, Inmaculada Aznar. (2018). *Application of Information and Communication Technologies (ITC) in Teaching-Learning Processes by Chemistry Teachers.* Información tecnológica, 29(2), 41-52. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200041

Medios Digitales U.N. Sede Medellín (2016). *Informe de Gestión de la Sede 2016.* URL: https://medellin.unal.edu.co/la-sede/informe-de-gestion-de-la-sede/469-informes-de-gestion-en-la-sede.html

Meester, M.A.M y Maskill, R., (1995). First year chemistry practicals at university in England and Wales: organizational and teaching aspects. International Journal of Science Education, 17, 705-719.

MEN, (28 de julio de 1993). *Por el cual se reestructura el régimen orgánico especial de la Universidad Nacional de Colombia*. *Decreto 1210.* Bogotá, Colombia.

MEN, (23 de diciembre 2014). *Por la cual se desarrolla parcialmente el artículo 67 y los numerales 21, 22 y 26 del artículo 189 de la constitución política, se regula la inspección y vigilancia de la educación superior, se modifica parcialmente la ley 30 de 1992 y se dictan otras disposiciones.* Ley 1740. Bogotá, Colombia.

Molina, M., F., José G. Carriazo, J., G. y Farías, D., M. (2011). Actitudes hacia la química de estudiantes de diferentes carreras universitarias en Colombia. Revista Quim. Nova, Vol. 34, No. 9, 1672-1677. https://www.scielo.br/j/qn/a/JjDPXQxCjx3jDjMwMzPMdYf/

Moreira, M. A. (1993). *A Teoría da Aprendizagem Significativa de David Ausubel*. Fascículos de CIEF Universidad de Río Grande do Sul Sao Paulo.

Moreira, M. A. (2005). *Aprendizagem Significativa Crítica*. Editora da Universidade.

Moreira, M. A. (2012). *¿Al final, qué es el aprendizaje significativo?* Qurriculum, 29-56.

Namoos, B. M. (2018). Water Disinfection by Sodium Hypochlorite Solution. Saarbrücken, Alemania: LAP Lambert Academic Publishing.

Niaz, M. (1995). *Relationship between student performance on conceptual and computational problems of chemical equilibrium*. International Journal of Science Education, 17, 343 - 355.

Noah Chemicals. (s.f.). *Sodium thiosulfate*. Noah Chemicals. Consultado el 20/03/2025. URL: https://www.noahchemicals.com/blog/sodium-thiosulfate/

Linster, C. L., & Van Schaftingen, E. (2007). *Vitamin C: Biosynthesis, recycling and*

degradation in mammals. The FEBS Journal, 274(1), 1–22. https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2006.05631.x

Olasz M., Peintler G. y Schuszter G. (2024). *Determination of Reaction Stoichiometry by Applying Job's Method and Digital Image Processing for Precipitation Reactions.* Journal of Chemical Education 2024, 101, 1280−1285. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c01306

Piñeros, Y., y Parga, D. (2014). *Caracterización de los contenidos curriculares contextualizados para la enseñanza de la química*. Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED. https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/3384

Pullar, J. M., Carr, A. C. y Vissers, M. C. (2017). *The Roles of Vitamin C in Skin Health*. Nutrients. doi: 10.3390/nu9080866

Reid, N., & Shah, I. (2007). *The role of laboratory work in university chemistry.* Chem. Educ. Res. Pract., 8(2), 172–185. doi:10.1039/b5rp90026c

Reilly, J. M. (1980). *The Albumen & Salted Paper Book: The History and Practice of Photographic Printing, 1840-1895*. Rochester, NY: Light Impressions Corporation.

Renny, J. S., Tomasevich, L. L., Tallmadge, E. H., & Collum, D. B. (2013). *Method of Continuous Variations: Applications of Job Plots to the Study of Molecular Associations in Organometallic Chemistry*. Angewandte Chemie International Edition, 52(46), 11998–12013. doi:10.1002/anie.201304157

Reusch W. (2013). *Chemical Reactivity*. Michigan State University virtual classroom https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/react1.htm.

Rodríguez C. R. (2018). *Los modelos de aprendizaje de Kolb, Honey y Mumford: implicaciones para la educación en ciencias*. Sophia, 14(1), 73. doi:10.18634/sophiaj.14v.1i.698

Sánchez Medina I. A. (2020). *Aprendizaje basado en problemas (ABP) como estrategia para el aprendizaje de la estequiometría* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78572

Sandin, S., Karlsson, R. K. B., & Cornell, A. (2015). Catalyzed and Uncatalyzed

Decomposition of Hypochlorite in Dilute Solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(15), 3767–3774.

Sandoval, M. J., Mandolesi, M. E. y Omar Cura R. (2013). *Estrategias didácticas para la enseñanza de la química en la educación superior*. Educación y Educadores Vol. 16, No. 1, pp. 126-138. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83428614007

Salcedo Torres L. E. (2008). *Tecnologías de la información y la comunicación en educación en Química.* Universidad Pedagógica Nacional, Fondo Editorial Luis Eduardo Vásquez Salamanca, Bogotá, Colombia https://repositorio.minciencias.gov.co/entities/publication/51b6db10-ce2d-4061-95a1-423fc04b8e9d.

Solomons, T. W. G., & Fryhle, C. B. (2020). *Organic Chemistry* (12ª ed.). Wiley.

Suárez, A. G., Calviño, N. G., Drogo, C. F., Bottai, H. M. y Reinoso, R. A. (2019). *Estudio de la percepción de estudiantes de nivel secundario sobre la química y su implicancia social*. Educación Química. Vol 30(3), 53-63. DOI:10.22201/fq.18708404e.2019.3.68209

Tabares Ospina, P. A. (2018). *Diseño e implementación de un proyecto de aula que contribuya al aprendizaje de la estequiometría a partir del aprendizaje basado en problemas y la experimentación* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76405

Talanquer V., (2006). *Common sense chemistry: a model for understandingstudents' alternative conceptions*, J. Chem. Educ., 83(5), 811–816.

Tatsuoka, T., Kana Shigedomi, K., y Koga N. (2015). *Using a Laboratory Inquiry with High School Students To Determine the Reaction Stoichiometry of Neutralization by a Thermochemical Approach*. Journal of Chemical Education 2015 92 (9), 1526-1530. DOI: 10.1021/ed500947t

Tsaparlis G., (2003). *Chemical phenomena versus chemical reactions: do students make the connection?* Chemistry Education Research and Practice, 4, 31-43.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (2021). *Manual de laboratorio de química general*. Consultada el 30/03/2025. URL: https://goo.su/dI8HG

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (s.f). *Misión y Visión*. URL: https://medellin.unal.edu.co/9-la-sede/4-misionyvision.html

White, G. C. (2010). *White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants* (5ª ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Zarzar, C. (2000). *La didáctica grupal*. Ciudad de México: Progreso.

Zumdahl, S. S., & Zumdahl, S. A. (2017). *Chemistry* (10ª ed.). Cengage Learning.

Anexos.

Anexo A. Secuencia Didáctica

Asignatura: Química General y Laboratorio de Quimica general. **Unidad temática o ubicación del programa dentro del curso general:** Las asignaturas son ofertadas por la Facultad de Ciencias a todas los programas de ingeniería, entre otros, de la sede Medellín de la Universidad Nacional. **Tema general:** Estequiometría y Reactividad Química
Contenidos: Estequiometría, con conceptos como mol, masa molar, relaciones molares, cálculos estequiométricos, reactivo limitante y en exceso, rendimiento teórico vs. experimental, Método de Job termométrico y su aplicación en la determinación de relaciones molares. Reactividad química, con conceptos como reacción química, factores que la afectan (concentración, pH, temperatura), balanceo de reacciones químicas (redox y no redox), energía de una reacción y termoquímica, reactivos, productos, intermediarios. Simulaciones en Excel.
Duración de la secuencia y número de sesiones previstas: • Etapa de apertura (en el aula de clases): 1 sesión de 2 horas • Etapa de desarrollo (en la sala de cómputo y en el laboratorio): 4 sesiones en total, cada una de 2 horas. • Etapa de cierre (en el aula de clases): 2 sesiones, cada una de 2 horas.
Nombre del profesor que elaboró la secuencia: Fabio Ernesto Capera Cárdenas
Finalidad, propósitos u objetivos de cada fase:

1. *Organizador previo (fase de anclaje conceptual):* Activar conocimientos previos y presentar el tema de manera contextualizada. ***2.*** *Desarrollo teórico-práctico (fase de exploración guiada):* Integrar teoría y práctica mediante simulaciones y experimentos. *Discusión y reflexión (fase de reconciliación integradora):* Consolidar conceptos mediante análisis crítico. ***3.*** *Evaluación formativa y metacognición (fase de transferencia):* Verificar la comprensión y fomentar la autorreflexión.		
Nombre de la secuencia didáctica: Enseñanza de conceptos de estequiometría y reactividad química para armonizar la teoría y la práctica en el aula-laboratorio mediante el método de Job y simulación digital.		
ETAPA DE APERTURA		
Organizador previo (Fase de anclaje conceptual en el aula)		
ACTIVIDAD	**TIEMPO ESTIMADO**	**INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN**
Video introductorio: Mostrar una aplicación real, por ejemplo, uso de NaOCl en desinfección de aguas u oxidación de vitamina C en alimentos para generar interés.	20 minutos	Cuestionario de conocimientos previos (ver Anexo B.)
Mapa conceptual colaborativo: Los estudiantes, en grupos, dibujan lo que saben sobre "estequiometría" y "reactividad", identificando conexiones iniciales.	1 hora	Mapa conceptual
Pequeña discusión con la pregunta guía: "¿Cómo determinamos la cantidad exacta de reactivos para que una reacción sea eficiente y segura?". Introducir el método de Job, además, esbozar brevemente lo que se hará la siguiente sesión y presentarles la guía de laboratorio (ver Anexo E).	40 minutos	Participación en clase
ETAPA DE DESARROLLO		

Desarrollo teórico-práctico (Fase de exploración guiada)		
ACTIVIDAD	**TIEMPO ESTIMADO**	**INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN**
Antes de iniciar, realizar el cuestionario preexperimental (ver Anexo C) Simulación en Excel: Los estudiantes forman grupos de 3 personas, cada grupo ajustan variables (concentraciones, volúmenes) para predecir el ΔT en el método de Job, usando fórmulas estequiométricas ($q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$). Ejemplo de preguntas claves para desarrollar la simulación: "Si usamos 0.493 M de NaOCl y 0.1566 M de $Na_2S_2O_3$, ¿qué ΔT máximo obtenemos? ¿Luego de realizar el grafico de Job en qué relación molar se ubica el pico de ΔT?"	2 horas	Evaluación del archivo Excel por grupos
Desarrollo de los experimentos en el laboratorio según la guía previamente compartida con ellos: Tarea: Medir $T_{inicial}$, T_{final}, calcular ΔT y comparar con las predicciones de Excel. Experimento 1: Método de Job termométrico (NaOCl + $Na_2S_2O_3$).	1 hora	Preinforme e informe de laboratorio (Anexo F).
Experimento 2: Oxidación de vitamina C con NaOCl.	1 hora	Preinforme e informe de laboratorio.
Discusión y reflexión (Fase de reconciliación integradora)		
ACTIVIDAD	**TIEMPO ESTIMADO**	**INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN**

Debate guiado con preguntas claves como: • "¿Por qué la relación 4:1 genera el mayor ΔT?" • "Si el ΔT experimental fue mayor al teórico, ¿qué factores lo explican?".	2 horas	Participación en clase
Exposición donde el profesor evidencie la conexión con aplicaciones reales: • El $Na_2S_2O_3$ se usa para neutralizar el cloro residual (ClO^-) en aguas tratadas con NaOCl, generar ejercicios donde deban usar la estequiometría 4:1 y resolverlos en clase. • Analizar cómo la oxidación de vitamina C afecta la vida útil de jugos envasados.	2 horas	Cuestionario post-experimental (ver Anexo D)
ETAPA DE CIERRE		
Evaluación formativa y metacognición (Fase de transferencia)		
ACTIVIDAD	**TIEMPO ESTIMADO**	**INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN**
Portafolio de aprendizaje: Incluir: Gráficos de Job, cálculos estequiométricos, fotos del experimento, y una reflexión sobre errores cometidos.	1 horas	Portafolio de aprendizaje
Análisis cuantitativo/cualitativo de resultados:	2 horas	Participación en clase

• El pico máximo en la curva de Job confirmó la estequiometría 4:1 en las reacciones estudiadas, validando los cálculos teóricos. • Uso de gráficos, tablas y herramientas estadísticas. • Cual fue el papel de la reactividad de los compuestos involucrados para llegar a esa estequiometría.		
Proyecto final: Diseñar un experimento para determinar la estequiometría de otra reacción, por ejemplo, una reacción de neutralización ácido-base, usando el método de Job. La idea es simularlo en Excel y plantear como sería en el laboratorio, pero no realizarlo.	1 hora	Rúbrica para evaluar proyecto final (Anexo E)
LÍNEA DE EVIDENCIAS DE EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE		
1. Evidencias del proyecto final. Con el objetivo que los estudiantes tengan la capacidad para interpretar datos experimentales y relacionarlos con ecuaciones químicas balanceadas, se plantean las siguientes: • Gráficas de Job termométrico: Gráficos de fracción molar vs ΔT de cada uno de los ensayos, donde el pico en la relación 4:1 valida la estequiometría teórica. • Tablas de datos experimentales: Registros de $T_{inicial}$, T_{final} masas de reactivos y cálculos de error porcentual. • Informes de laboratorio: Análisis crítico de resultados, respuesta a las preguntas de profundización. También incluir fuentes de error de la práctica y propuestas de mejora. *2. Evidencias de reflexión metacognitiva.* con el objetivo que los estudiantes tengan conciencia del proceso de aprendizaje se plantean las siguientes: • Autorreflexiones escritas: Texto pequeño donde los estudiantes intentan explicar por sí mismos cómo integraron estequiometría y reactividad durante los experimentos.		

- Rúbricas de autoevaluación: Tablas donde los estudiantes califican su dominio de habilidades usando criterios como: "Sé calcular la relación molar óptima para una reacción mediante el método de Job", "Puedo explicar por qué el medio básico es clave para la estabilidad del NaOCl", entre otros.

3. Evidencias de aplicación en contextos reales. Con el objetivo de que exista transferencia de conocimientos a problemas sociales relevantes y haya comprensión de la química en procesos cotidianos, se plantean los siguientes:

- Proyectos de extensión: Diseño de un protocolo para dosificar NaOCl en la desinfección de 500 L de agua, aplicando la estequiometría adecuada para el caso.
- Análisis de casos: Estudio o investigación sobre la oxidación de vitamina C en jugos comerciales, vinculando la estequiometría con la pérdida de nutrientes.

4. Evidencias integradas al portafolio. El portafolio se estructura en tres secciones, alineadas con el aprendizaje significativo (Ausubel):

- Evidencias de proceso: Fotografías del montaje experimental, Preinformes de laboratorio, capturas de pantalla de simulaciones en Excel, borradores de cálculos estequiométricos con correcciones.
- Evidencias de producto: Gráficos de Job finales con anotaciones, informes de laboratorio revisados por grupo, Vídeos cortos explicando la relación 4:1.
- Evidencias de reflexión: Notas de los estudiantes en cada sesión y rúbricas completadas por el estudiante y el docente.

5. Criterios de evaluación. Cada evidencia se evalúa mediante una rúbrica analítica, según Brookhart (2013) se caracteriza por descomponer la evaluación en criterios específicos que se califican de forma independiente, cada criterio incluye descriptores para distintos niveles de desempeño, permitiendo identificar de manera precisa las fortalezas y áreas de mejora en el aprendizaje. Este modelo facilita retroalimentación detallada y fomenta la comprensión por parte del estudiante sobre en qué aspectos debe mejorar. En este caso con criterios como:

- Exactitud científica: ¿Los cálculos y gráficos reflejan comprensión de la estequiometría?
- Profundidad reflexiva: ¿El estudiante analiza errores y su impacto en los resultados?
- Conexión teoría-práctica: ¿Vincula los datos experimentales con conceptos como reactivo límite, estequiometría, reactividad o conservación de masa?

RECURSOS

- Tecnología: Excel/Google Sheets para simulaciones, se puede usar PhET u otro simulador en internet para visualizar reacciones.
- Materiales: Termómetros calibrados y todo el material de laboratorio necesario, reactivos de calidad analítica, guías de laboratorio detalladas.
- Seguridad: Protocolos claros para manipular el Ácido ascórbico, NaOCl y el NaOH (guantes, gafas, ventilación, etc.).

Referencias: Brookhart, Susan M. (2013). *How to Create and Use Rubrics for Formative Assessment and Grading.* Recuperado el 13 de abril de 2025, de ASCD: http://www.ascd.org/publications/books/112001.aspx

Anexo B. Cuestionario De Conocimientos Previos

Objetivos:

- Evaluar la comprensión de conceptos básicos de estequiometría y reactividad.
- Identificar preconcepciones erróneas.
- Preparar a los estudiantes para actividades prácticas vinculadas al método de Job y la oxidación de vitamina C.

1. **La estequiometría en una reacción química se refiere principalmente a:**

   a) La velocidad a la que ocurre la reacción.

   b) Las relaciones cuantitativas entre reactivos y productos.

   c) El cambio de color durante la reacción.

   d) La temperatura final del sistema.

   ***Respuesta correcta**: b)*

2. **En la reacción $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$, si se tienen 4 moles de H_2 y 2 moles de O_2, ¿cuál es el reactivo limitante?**

   a) H_2

   b) O_2

   c) H_2O.

   d) Ambos se consumen por completo, no hay reactivo limitante.

   ***Respuesta correcta**: d)*

3. **¿Qué factor NO afecta directamente la reactividad química en una reacción?**

   a) Concentración de los reactivos.

   b) Presencia de un catalizador.

   c) Color de los reactivos.

   d) Temperatura del sistema.

   ***Respuesta correcta**: c)*

4. **Menciona un ejemplo de reacción química donde la estequiometría sea crucial para determinar la cantidad de producto obtenido.**

   Ejemplo de respuesta esperada: "La combustión del metano ($CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$), donde se requiere una proporción específica de oxígeno para evitar residuos tóxicos como el monóxido de carbono."

5. **¿Has escuchado alguna vez el método de Job, crees que este método de variaciones continuas es útil en el estudio de la estequiometría?.**

   Ejemplo de respuesta esperada: "El método de Job permite identificar la relación molar óptima entre reactivos midiendo cambios físicos (por ejemplo, temperatura), lo que ayuda a validar ecuaciones químicas teóricas con datos experimentales."

Anexo C. Cuestionario Previo A La Fase Experimental

Objetivo:

- Verificar la comprensión de los procedimientos a realizar y de la guía de laboratorio por parte de los estudiantes.

1. **El objetivo principal del método de Job termométrico es:**

   a) Determinar la velocidad de una reacción química.

   b) Identificar la relación estequiométrica óptima entre reactivos.

   c) Medir la presión de los gases liberados.

   d) Calcular la masa molar de un compuesto.

   Respuesta correcta: b)

2. **En la simulación en Excel, ¿qué variable es fundamental para predecir y calcular el ΔT?**

   a) Color de los reactivos.

   b) Volumen total de la mezcla.

   c) Entalpia de neutralización.

   d) Densidad de la solución.

   Respuesta correcta: c)

3. **En el Experimento 1 (NaOCl + $Na_2S_2O_3$), el NaOH se añade para:**

   a) Aumentar la velocidad de reacción.

   b) Mantener un medio ácido.

   c) Evitar la descomposición del NaOCl.

   d) Generar gases tóxicos.

   Respuesta correcta: c)

4. **Si en una mezcla la relación NaOCl:vitamina C es 3:1, ¿qué se espera del ΔT comparado con la relación 4:1?**

   a) Será mayor.

   b) Será menor.

   c) Será igual.

   d) No se puede predecir con exactitud, habría que revisar las condiciones experimentales.

   Respuesta correcta: d)

5. **¿Qué precaución es esencial al manipular NaOCl en el laboratorio?**

   a) Usar guantes y gafas de protección.

   b) Mantenerlo cerca de lavadero.

   c) Almacenarlo en recipientes metálicos.

   d) Mezclarlo con ácidos concentrados.

   Respuesta correcta: a)

Anexo D. Cuestionario Posterior A La Fase Experimental

Objetivo:

- Evaluar la internalización de conceptos estequiométricos, análisis de datos y aplicaciones prácticas.

1. **La relación estequiométrica 4:1 observada en ambos experimentos se debe <u>principalmente</u> a:**

   a) La velocidad de reacción.

   b) La transferencia de electrones en la reacción redox.

   c) El color de los reactivos.

   d) La temperatura ambiente.

   Respuesta correcta: b)

2. **Si el ΔT experimental fue mayor al simulado en Excel, ¿cuál es una explicación probable?**

   a) Descomposición del NaOCl (Exp. 1) y oxidación de subproductos (Exp. 2).

   b) No hubo tantas pérdidas de calor al ambiente como las simuladas.

   c) La concentración real de los reactivos era mayor.

   d) Faltó calibrar mejor el termómetro.

   e) Todas las anteriores.

   Respuesta correcta: e)

3. **En el Experimento 2 (oxidación de vitamina C), el NaOCl actúa como:**

   a) Antioxidante.

   b) Catalizador.

   c) Oxidante.

   d) Indicador de pH.

   Respuesta correcta: c)

4. **¿Por qué es crucial mantener el volumen total constante en el método de Job?**

   a) Para reducir costos.

   b) Evitar cambios en la capacidad calorífica de la solución.

   c) Asegurar que solo varíe la relación molar.

   d) Facilitar la medición del pH.

   Respuesta correcta: c)

5. **Una aplicación real de la estequiometría 4:1 estudiada podría ser:**

   a) Fabricar perfumes.

   b) Dosificar reactivos para el tratamiento de aguas.

   c) Sintetizar plásticos.

   d) Extraer ADN.

   Respuesta correcta: b)

Anexo E. Rubrica Para Evaluar El Proyecto Final

Criterios de Evaluación

Escala de calificación:

0: No cumple.

1-2: Cumple parcialmente con errores graves.

3-4: Cumple adecuadamente con algunos errores.

5: Excelente, sin errores relevantes.

1. Comprensión del método de Job y estequiometría (25%)

Puntaje	Descripción
0	No identifica el propósito del método de Job ni la relación con la estequiometría.
1-2	Explica superficialmente el método, sin vincularlo a la determinación de relaciones molares.
3-4	Describe el método de Job y su aplicación ciertos tipos de reacciones, pero con imprecisiones en la relación estequiométrica.
5	Explica claramente cómo el método de Job determina la estequiometría, vinculando ΔT con la proporción molar óptima.

2. Diseño de la simulación en Excel (25%)

Puntaje	Descripción
0	No presenta simulación o esta es incoherente.

Puntaje	Descripción
1-2	La simulación incluye fórmulas básicas, pero no relaciona variables clave, por ejemplo, volumen, concentración, ΔT.
3-4	Simulación funcional que predice ΔT para distintas relaciones molares, con algunos errores en cálculos.
5	Simulación detallada con fórmulas correctas ($q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$), gráfica de Job integrada y validación teórica.

3. Planificación experimental (20%)

Puntaje	Descripción
0	No describe materiales, protocolos o condiciones de seguridad.
1-2	Lista materiales básicos, pero el protocolo es confuso o incompleto.
3-4	Protocolo claro con reactivos, volúmenes y pasos, pero omite controles, por ejemplo, pH, temperatura ambiente.
5	Plan detallado: materiales exactos, pasos secuenciales, controles de variables y medidas de seguridad, por ejemplo, manipulación de reactivos ácidos/bases.

4. Aprendizaje significativo (20%)

Puntaje	Descripción
0	No vincula el experimento con conceptos que, a este punto, ya deben ser previos, por ejemplo, estequiometría, reactividad quimica.
1-2	Menciona conexiones teóricas sin profundizar, demostrando la falta de comprensión.
3-4	Relaciona el diseño con conocimientos previos y aplicaciones reales. Esto incluye, relacionar los reactivos con contextos propios.
5	Integra teoría y práctica, además, de lo indicado en la calificación “3-4”. Explica cómo la estequiometría determina la eficiencia de la reacción y propone aplicaciones innovadoras para su contexto.

5. Claridad y presentación (10%)

Puntaje	Descripción
0	Documento desorganizado, con errores gramaticales graves y sin formato.
1-2	Estructura básica, pero con faltas de ortografía o gráficos/tablas poco claros.
3-4	Informe organizado, con secciones definidas y gráficas comprensibles.
5	Presentación impecable: portada, índice, redacción fluida, gráficos profesionales y conclusiones reflexivas.

$$Calificación = (\boldsymbol{Puntaje\ Criterio\ 1} \times 0.25 + \boldsymbol{Puntaje\ Criterio\ 2} \times 0.25 + \boldsymbol{Puntaje\ Criterio\ 3} \times 0.20 + \boldsymbol{Puntaje\ Criterio\ 4} \times 0.20 + \boldsymbol{Puntaje\ Criterio\ 5} \times 0.10)$$

Retroalimentación sugerida

4.5-5: Proyecto excepcional. El estudiante demuestra dominio integral de la estequiometría, herramientas digitales y diseño experimental.

3-4.4: Buen trabajo, pero requiere ajustes en precisión teórica o detalles prácticos.

1-2.9: Necesita reforzar conceptos clave y replantear la metodología.

0-0.9: No alcanza los objetivos mínimos; se recomienda revisión total.

Anexo F. Guía De Laboratorio Para Hacer La Práctica Experimental

	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE QUÍMICA Sede Medellín	Preparado por: Fabio E. Capera Cardenas

Práctica N.x. Método de Job: Armonizando la Estequiometría y la Reactividad Química en el Laboratorio.

1. Objetivos

- Determinar la relación estequiométrica óptima entre reactivos en dos sistemas químicos (NaOCl + $Na_2S_2O_3$ y NaOCl + vitamina C) mediante el método de Job termométrico.
- Integrar herramientas digitales (Excel) para modelar reacciones químicas y contrastar resultados teóricos con datos experimentales.
- Analizar cómo la reactividad química y las condiciones del medio (pH, concentración) influyen en la estequiometría observada.

2. Marco Teórico

La estequiometría es el lenguaje cuantitativo de las reacciones químicas, definiendo las proporciones molares entre reactivos y productos. Estas proporciones, sin embargo, no son arbitrarias: emergen de la reactividad química, es decir, de cómo las propiedades intrínsecas de las sustancias (poder oxidante, solubilidad, estabilidad termodinámica) gobiernan su capacidad para interactuar. Por ejemplo, en una reacción redox, el reactivo limitante no solo depende de las cantidades iniciales, sino de su tendencia a ganar o perder electrones.

La estequiometría es el estudio cuantitativo de reactivos y productos en una reacción química. El reactivo que se consume primero en una reacción se denomina *reactivo limitante*, ya que la máxima cantidad de producto que se forma depende de la cantidad original de este reactivo, cuando este reactivo se consume, no se puede formar más producto. Los *reactivos en exceso* son los reactivos presentes en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad de reactivo limitante, la cantidad de este último reactivo presente al inicio de una reacción determina el *rendimiento teórico de la reacción*,

es decir, la cantidad de producto que se obtendrá si reacciona todo el reactivo limitante. Por lo tanto, *el rendimiento teórico* es el rendimiento máximo que se puede obtener, que se calcula a partir de la ecuación balanceada. En la práctica, *el rendimiento real,* es decir, la cantidad de producto que se obtiene en una reacción casi siempre es menor que el rendimiento teórico (Chang 2007).

La *reactividad química* caracteriza la capacidad de un átomo, una molécula o una sustancia (gaseosa, líquida o sólida) para sufrir reacciones químicas por sí misma o con otros sistemas (Kaya S. y von Szentpaly L. 2023). Este concepto enmarca otras definiciones (Reusch 2013):

> *Reacción química:* Transformación que da lugar a un cambio de composición, constitución y/o configuración de un compuesto (denominado reactante o sustrato).
>
> *Reactivo o sustrato:* Es el compuesto orgánico que sufre un cambio en una reacción química. También pueden intervenir otros compuestos y pueden identificarse los reactivos comunes (reactivos). El reactivo es a menudo (pero no siempre) la molécula más grande y compleja del sistema reactivo. La mayor parte (o la totalidad) de la molécula reaccionante se incorpora normalmente como parte de la molécula producto.
>
> *Intermediarios:* Es un socio común del reactivo en muchas reacciones químicas. Puede ser orgánico o inorgánico; pequeño o grande; gaseoso, líquido o sólido. La parte de un reactivo que acaba incorporándose al producto puede variar desde todo a muy poco o nada.
>
> *Producto(s):* Forma final que adopta(n) el(los) reactivo(s) principal(es) de una reacción.
>
> *Condiciones de reacción:* pueden ser condiciones ambientales, como temperatura, presión, en las que una reacción progresa de forma óptima.

El método de Job (variaciones continuas) permite determinar estas relaciones molares óptimas midiendo cambios físicos asociados a la reacción, como la temperatura (ΔT). Al mantener constante el volumen total y variar las proporciones de los reactivos, se identifica el punto donde la energía liberada o absorbida es máxima, correspondiente a la estequiometría real. Este enfoque armoniza teoría (cálculos estequiométricos) y práctica (observables experimentales), siendo clave para comprender fenómenos como la oxidación de la vitamina C o la descomposición controlada de hipoclorito.

3. Materiales y Reactivos

Materiales
Termómetro digital o de vidrio (±0.1 o ±1°C).
Vasos de icopor (100 mL).
Pipetas volumétricas con su respectivo balón de succión.
Balanza analítica (±0.0001 g).
Material de vidrio del laboratorio.
Instrumentación de seguridad

Reactivos
Hipoclorito de sodio (NaOCl, 3.5% v/v ≈ 0.493 M)
Tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, solución final de 0.1566 M)
Ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$, 0.883 M)
Hidróxido de sodio (NaOH, 0.1 M)
Agua destilada

4. Recomendaciones

- Leer las fichas de seguridad (SDS) de todos los reactivos, prestando atención a:
  - NaOCl: Corrosivo, libera gases tóxicos (Cl_2) en contacto con ácidos.
  - NaOH: Irritante para piel y ojos.
  - $Na_2S_2O_3$: Inofensivo en bajas concentraciones.
- Usar guantes nitrilo, gafas de protección y bata de laboratorio.
- Trabajar en área ventilada, especialmente al manipular NaOCl.

5. Procedimiento.

5.1. Experimento 1: Método de Job termométrico (NaOCl + $Na_2S_2O_3$ en medio básico).

1. Preparación de soluciones:
   - Solución A: NaOCl 0.493 M. Demostrar mediante cálculos estequiométricos que la solución de Clorox 3.5% tiene una concentración de 0.493 M.

- Solución B: $Na_2S_2O_3$ 0.1566 M. Disolver 9.71 g de $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ en 250 mL de agua. Demostrar mediante cálculos estequiométricos la cantidad (g) que se debe disolver para preparar la solución.

2. Mezclas:
   - En cada vaso, combinar volúmenes variables de Solución A y B (estas combinaciones son las mismas que las simuladas en Excel, pueden observarse en la Tabla 1.), ajustando con NaOH hasta 50 mL totales. Escuchar muy bien las indicaciones del profesor.
3. Medición de ΔT:
   - Registrar $T_{inicial}$ y T_{final} tras mezclar.
   - Calcular ΔT= $T_{inicial} - T_{final}$

Tabla 1. Combinaciones para realizar el Experimento 1.

VNa2S2O3 (mL)	VNaCLO (mL)	VNaOH (mL)	ΔT (°C)
25	10	15	
20	15	15	
15	20	15	
10	25	15	
5	30	15	

4. En casa, realizar en Excel el grafico de Job con estos resultados para entregar con el informe.

5.2. Experimento 2: Oxidación de vitamina C con NaOCl.

1. Preparación de soluciones:
   - Solución de ácido ascórbico: Vitamina C al 0.883 M (disolver 38.88 g en 250 mL de agua). Demostrar mediante cálculos estequiométricos la cantidad (g) que se debe disolver para preparar la solución.
   - Solución de NaOCl 0.493 M ya preparada.
2. Mezclas:
   - Combinar volúmenes variables de NaOCl 0.493 M y Solución de vitamina C (las mismas combinaciones que están en el Excel, se pueden observar en la Tabla 2.), ajustando hasta 50 mL con agua destilada.

3. Medición de ΔT:
    - Registrar $T_{inicial}$ y T_{final} tras mezclar.
    - Calcular ΔT= $T_{inicial} - T_{final}$

Tabla 2. Combinaciones para realizar el Experimento 2.

V C6H8O6 (mL)	VNaCLO (mL)	VH2O (mL)	ΔT (°C)
5	10	35	
5	15	30	
5	20	25	
5	25	20	
5	30	15	
5	35	10	
5	36	9	
5	40	5	
5	45	0	

4. En casa, realizar en Excel el grafico de Job con estos resultados para entregar con el informe.

6. Preguntas de Profundización

- ¿Por qué el ΔT máximo en Excel coincidió (o no) con el experimental? Menciona al menos dos factores que influyeron.
- Si en la simulación usaste Cp=4.18 J/g°C, ¿cómo afectaría al modelo un valor total real mayor (ej: 4.5 J/g°C)?
- ¿Cómo explicarías a un compañero que la relación 4:1 no es un número mágico, sino una consecuencia de la transferencia de electrones?
- Si quisieras aplicar este método a una reacción de neutralización ácido-base (ej: HCl + NaOH), ¿qué variables medirías y por qué?

7. Referencias.

Chang, R. (2007). *Química*. Editorial Mc Graw Hill, Novena edición.

Kaya S. y von Szentpaly L. (2023). *Introduction to Chemical Reactivity*. Book: Chemical Reactivity. Pág. xix-xxi, ISBN 9780323902571. DOI: 10.1016/B978-0-32-390257-1.00006-1.

Reusch W. (2013). *Chemical Reactivity*. Michigan State University virtual classroom https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/react1.htm.

Datos para el Preinforme.

- Nombres de los estudiantes.
- Tabla de datos con las mediciones del $T_{inicial}, T_{final}$ y $\Delta\mathrm{T}$ de cada experimento.
- Resolver una de las preguntas de profundización.

Datos para el informe.

- Nombres de los estudiantes.
- Tabla de datos con las mediciones del $T_{inicial}, T_{final}$ y $\Delta\mathrm{T}$ de cada experimento.
- Hacer el respectivo análisis crítico para los resultados de cada experimento.
- Resolver todas de las preguntas de profundización.