

**La actividad experimental en la construcción de explicaciones sobre la reactividad entre las sustancias en función de la velocidad y calores de reacción**

**Karen Geraldine Rodríguez Dallos  
Sandra Patricia Verano Fuentes**

**Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales  
Bogotá, D.C. 2022**

**La actividad experimental en la construcción de explicaciones sobre la reactividad entre las sustancias en función de la velocidad y calores de reacción**

**Karen Geraldine Rodríguez Dallos  
Sandra Patricia Verano Fuentes**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Docencia de las Ciencias Naturales**

**Asesores:**

**Sandra Sandoval Osorio  
José Francisco Malagón Sánchez  
Juan Alberto Aldana González**

**Grupo Estudios Histórico Críticos y Enseñanza de las Ciencias – EHCEC  
Línea de investigación Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva fenomenológica**

**Universidad Pedagógica Nacional  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Departamento de Física  
Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales  
Bogotá, D.C. 2022**

*“Para todos los efectos, declaro que el presente trabajo es original y de mi total autoría: en aquellos casos en los cuales he requerido del trabajo de otros autores o investigadores, he dado los respectivos créditos”.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a mi madre querida, que me ha acompañado a lo largo de todo este proceso, por su gran amor y comprensión; por siempre tener unas palabras para mí que me llenan el alma*

*A mi compañera Sandra Verano que ha hecho este momento posible, con su dedicación y esfuerzo que me acompañaron durante estos 2 años*

*A mis asesores y docentes del programa que me brindaron su acompañamiento, me compartieron sus conocimientos y me invitaron a cuestionarme constantemente para ser mejor en mi linda labor*

*Por último y no menos importante, a mi querida UPN que siempre ha tenido sus puertas abiertas para mi formación docente y mejora continua*

***Karen Geraldine Rodríguez Dallos***

*Agradezco a mi familia por brindarme su apoyo, cariño y amor; por motivarme a seguir mis sueños y luchar por ellos*

*A mis asesores Sandra Sandoval, Francisco Malagón y Juan Aldana por sus aportes y orientación en la elaboración del trabajo de grado*

*A mi compañera de tesis por los buenos momentos que compartimos en los diferentes espacios. Fuimos un excelente equipo de trabajo que con esfuerzo, compromiso y dedicación logró alcanzar un sueño más.*

*A mi amigo Danilo Florián y Elkin Cardozo por sus palabras de aliento y apoyo incondicional*

*A los profesores del programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales por contribuir a mi formación docente*

*A mi alma máter, a mi más preciada Universidad Pedagógica Nacional por abrirme nuevamente sus puertas en esta travesía, por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas y culminar mis estudios de maestría*

***Sandra Patricia Verano Fuentes***

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	10
I. CONTEXTO PROBLEMÁTICO .....	13
Delimitación y formulación del problema .....	13
Objetivos .....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos .....	15
Justificación .....	15
II. ASPECTOS METODOLÓGICOS .....	19
Etapa 1: Problematización .....	19
Etapa 2: Propuesta de aula .....	21
Etapa 3: Sistematización y reflexiones finales.....	22
III. ANÁLISIS HISTÓRICO – CRÍTICO SOBRE EL PROBLEMA CONCEPTUAL DE LA REACTIVIDAD QUÍMICA.....	23
Antecedentes .....	23
Análisis histórico – crítico de textos científicos para comprender el problema conceptual de la reactividad química.....	27
La problemática sobre la interacción entre las sustancias en el siglo XVIII .....	28
La velocidad de reacción como una manera de medir la afinidad entre sustancias.....	32
Otras maneras de medir la afinidad química: Los calores de reacción.....	43
IV. LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES.	53

V. CONSTRUCCIÓN DEL FENÓMENO DE LAS REACCIONES ENTRE METALES Y ÁCIDOS.....	61
Montaje 1. Reacciones entre metales (Al, Mg, Li, Cu) con diferentes ácidos (ácido clorhídrico y vinagre) .....	64
Montaje 2. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético a diferentes concentraciones con Al, Mg, Li, Cu.....	74
Montaje 3. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg y Cu teniendo en cuenta la variación de la temperatura en el sistema .....	84
Montaje 4. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo el volumen de gas obtenido teniendo en cuenta intervalos de tiempo.....	88
Montaje 5. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo la variación de la temperatura en un sistema cerrado .....	92
VI. SISTEMATIZACIÓN DE LA RUTA DE AULA .....	99
Fase I: ¿Cómo ocurren las reacciones químicas? .....	102
Fase II: ¿Qué condiciones afectan la velocidad de un sistema de reacciones?.....	113
Fase III: ¿Existen otras formas para dar cuenta de la afinidad entre sustancias? .....	119
VII. CONSIDERACIONES FINALES .....	127
BIBLIOGRAFÍA .....	133
ANEXOS .....	137
Anexo 1: Ruta de aula.....	137
Anexo 2: Organización de los registros del ejercicio de sistematización .....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la investigación. Este esquema expone las tres etapas que fundamentan nuestro trabajo de grado.....	19
Figura 2. Tabla de afinidades de Geoffroy (1718).....	30
Figura 3. Tabla de afinidades de Bergman (1775).....	30
Figura 4. Proceso de inversión de la sacarosa en medio ácido por Wilhelmy .....	35
Figura 5. Combinación de alcohol etílico y colesterol con ácido acético a 100° .....	41
Figura 6. Combinación de alcohol etílico y mentolado con ácido acético a 100° .....	41
Figura 7. Influencia de la temperatura en las constantes de velocidad de la reacción entre el clorato de potasio y sulfato ferroso en presencia de ácido sulfúrico .....	49
Figura 8. Pérdida de litio en la reacción con HCl 1M en función del tiempo. ....	66
Figura 9. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1M en función del tiempo.....	66
Figura 10. Pérdida de Li teniendo en cuenta un orden 1 de reacción. ....	67
Figura 11. Pérdida de litio en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 1M en función del tiempo.....	68
Figura 12. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 1M en función del tiempo. ..	69
Figura 13. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 0,5 M con respecto al tiempo.....	76
Figura 14. Pérdida de litio en la reacción con HCl 0,5 M con respecto al tiempo .....	76
Figura 15. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 0,5 M en unidad de tiempo..	77
Figura 16. Pérdida de litio en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 0,5 M en unidad de tiempo .....	77
Figura 17. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1,5 M en función del tiempo.....	79
Figura 18. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1,5 M en función del tiempo.....	79
Figura 19. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 1,5 M en función del tiempo .....	80

Figura 20. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con CH <sub>3</sub> COOH 1,5 M en función del tiempo .....	81
Figura 21. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1M con respecto al tiempo a una temperatura de 46° .....	85
Figura 22. Cantidad de hidrógeno producido en la reacción entre Li, Mg, Al y Cu con HCl 1M. ....	90
Figura 23. Cantidad de hidrógeno producido en la reacción entre Li, Mg, Al y Cu con CH <sub>3</sub> COOH 1M.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Textos empleados para el análisis histórico – crítico de la reactividad química .....	28
Tabla 2. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1M .....	65
Tabla 3. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 1M.....	68
Tabla 4. Caracterización de las reacciones entre los metales y ácidos .....	73
Tabla 5. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 0,5M.....	75
Tabla 6. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 0,5M.....	76
Tabla 7. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1,5M.....	78



Tabla 8. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 1,5M.....	80
Tabla 9. Comparación del reactivo restante de Li al reaccionar con ácido acético a diferentes concentraciones.....	82
Tabla 10. Comparación del reactivo restante de Mg al reaccionar con ácido acético y clorhídrico a diferentes concentraciones .....	83
Tabla 11. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1,0M a una temperatura de 46 °C. ....	85
Tabla 12. Volumen de H <sub>2</sub> desplazado en la reacción entre los metales con HCl 1M a diferentes tiempos.....	89
Tabla 13. Volumen de H <sub>2</sub> desplazado en la reacción entre los metales con ácido acético 1M a diferentes tiempos .....	89
Tabla 14. Moles de hidrógeno obtenidas en la reacción entre los metales y ácido clorhídrico 1M .....	90
Tabla 15. Moles de hidrógeno obtenidas en la reacción entre los metales y ácido acético 1M. ..	91
Tabla 16. Calor producido de la reacción entre el metal con el ácido .....	93
Tabla 17. Cuestiones de análisis para el proceso de sistematización. ....	102

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se desarrolla dentro de la línea de investigación *Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva fenomenológica* del Grupo Estudios Histórico Críticos y Enseñanza de las Ciencias – EHCEC. En él hacemos un especial énfasis en el diseño y realización de actividades experimentales pensadas en el contexto del problema de la reactividad química.

Para llegar a la concreción de las actividades experimentales que proponemos, estudiamos algunos artículos y textos de Karl Friedrich Wenzel (1740-1793) y Jacobus Henricus Vant’Hoff (1852-1911), en los cuales se reconocen diferentes factores que influyen sobre la reactividad química, como las velocidades de reacción y los calores producidos en relación con una mayor o menor actividad química entre sustancias. Asimismo, también analizamos los trabajos de Ludwing Ferdinand Wilhelmy (1812-1864), Cato Maximilian Guldberg (1836-1902) y Peter Waage (1833-1900), Pierre Eugène Marcellin Berthelot (1827-1907) y Léon Péan de Saint Gilles (1832-1862); al abordar la velocidad de reacción como una magnitud que permite expresar una medida de la afinidad química y los factores que influyen en dicha velocidad de reacción, como la temperatura y la concentración.

En particular, trabajamos las reacciones entre metales y ácidos inorgánicos para plantear y comprender el problema conceptual de la reactividad química a través de la afinidad entre las sustancias y su relación con la velocidad y calores de reacción, en donde se cruza con elementos de orden pedagógico que se consideran centrales como la actividad experimental y la construcción de explicaciones; y con elementos de orden histórico y disciplinar que aportan a la configuración del problema abordado como objeto de estudio en la educación media.

Para la enseñanza de la reactividad química en la educación media nos centramos, muchas veces, en explicaciones que privilegian el uso de ecuaciones químicas, operaciones matemáticas y expresiones simbólicas que en ocasiones no están vinculadas con la actividad experimental, por lo que su comprensión se reduce a la memorización de conceptos y fórmulas matemáticas que son tratadas de manera desarticulada y no abordan las dinámicas e interacciones de las reacciones químicas y tampoco dan cuenta de las condiciones que las hacen posibles. Además, cuando abordamos el trabajo experimental lo concebimos como un recetario para la validación de conceptos, privilegiando la dicotomía teoría – práctica.

En este sentido, queremos abordar la reactividad química como un fenómeno que puede ser construido y comprendido al acudir a la actividad experimental y a los estudios históricos de textos científicos para la concreción de planteamientos conceptuales, vinculando elementos que se pueden trabajar desde las actividades experimentales como la clasificación, la ordenación y la medición de una magnitud que caracterice un fenómeno; indispensables para generar procesos de ampliación de la experiencia que contribuyan a los modos de pensar y hablar del fenómeno.

Queremos señalar que las actividades experimentales las desarrollamos, en un primer momento, en el laboratorio del departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional, donde se realizaron observaciones del fenómeno, se definieron variables y se asentaron las relaciones entre estas, se establecieron relaciones de clasificación y de ordenamiento que partieron de cuestionamientos adicionales a los que nos habíamos planteado inicialmente, y que contribuyeron para la construcción del fenómeno y; por consiguiente, a la concreción de supuestos conceptuales sobre el mismo, teniendo en cuenta los aportes de los estudios histórico – críticos. En un segundo momento, implementamos en el colegio experiencias similares con los estudiantes, allí ellos elaboraron sus propias explicaciones sobre el fenómeno abordado y aportamos para que su imagen

de ciencia vaya cambiando de ser vista como dogmática, estática y acabada a ser concebida como una actividad científica que se transforma continuamente.

Por último, realizamos el ejercicio de sistematización de la propuesta de aula para reflexionar sobre nuestro quehacer pedagógico al cuestionarnos acerca de nuestras prácticas de enseñanza y cómo transformarlas. La sistematización modifica las formas en que nos relacionamos con la práctica, clarifica nuestras pretensiones y redimensiona nuestras acciones en el aula respecto a éstas. Es así como este proceso nos ayuda a repensar sobre nuestro papel en el aula, a elaborar nuestro propio discurso pedagógico y disciplinar conforme a nuestras intenciones y a establecer las maneras de proceder para llevarlas a cabo, contribuyendo a la cualificación de nuestra práctica pedagógica y al desarrollo profesional.

## I. CONTEXTO PROBLEMÁTICO

### **Delimitación y formulación del problema**

En la educación básica y media abordamos las reacciones químicas para dar cuenta de las transformaciones que sufre la materia, sin embargo, muchas veces enfocamos su explicación en los algoritmos matemáticos y ecuaciones químicas que pueden ser no suficientes para abordar las dinámicas e interacciones entre las sustancias, pues hacemos de nuestras clases un listado de conceptos, símbolos y proposiciones matemáticas que terminan siendo memorizadas y tratadas de manera desarticulada. Además, cuando no lo relacionamos con el trabajo experimental, damos por hecho que las reacciones ocurren cuando dos o más sustancias se combinan, sin cuestionarnos sobre las condiciones por las cuales ocurren, las velocidades con las que se registran, los factores que afectan estas transformaciones y demás cuestiones que son importantes para construir el fenómeno, por lo que terminamos privando la modificación de la experiencia, su organización y la construcción de explicaciones en torno a la comprensión de una fenomenología.

Esta forma de pensar, hacer y hablar de la reactividad química dificulta su comprensión, ya que no cuestionamos el fenómeno, sino damos por hecho estas interacciones sin detenernos a reflexionar acerca de cómo ocurren las reacciones, si algunas sustancias interactúan con unas y con otras no, si hay reacciones más rápidas que otras, entre otras preguntas que emergen cuando somos conscientes de este fenómeno, es decir, cuando lo estudiamos y realizamos una organización y formalización del mismo; ya que consideramos que, tal como lo menciona Sandoval, Malagón, Garzón, Ayala y Tarazona (2018): “si la conciencia cambia a medida que se van haciendo organizaciones del fenómeno entonces el fenómeno cambia, por el mismo hecho de ser algo inseparable de una conciencia que lo organiza” (p.20). Por lo tanto, pueden surgir otros

cuestionamientos ya que el fenómeno no es estático, este se va transformando y evolucionando a medida que realizamos ordenamientos diferentes a partir del trabajo experimental.

En este sentido, consideramos indispensable articular la actividad experimental como un proceso intencional en la enseñanza de la química para la reestructuración del conocimiento científico que dé cuenta del comportamiento y las transformaciones de las sustancias (Borda y Erazo, 2010) dado que, en relación con los estudios histórico - críticos, favorece la estructuración de actividades y la recontextualización de saberes para la enseñanza de las ciencias. Entonces, para abordar y comprender el problema conceptual de la reactividad química en el aula, acudimos al diseño y realización de actividades experimentales relacionadas con la problemática, las preguntas que nos planteamos y los trabajos que presentan algunos científicos Wenzel y Vant'Hoff, en los cuales se estudian las velocidades y los calores de reacción en relación con la mayor o menor actividad química entre sustancias. En particular, estos textos contribuyeron al estudio de las reacciones entre metales y ácidos con el fin de ampliar la base fenomenológica respecto a la comprensión de la reactividad química en virtud de su velocidad y calores de reacción para dar cuenta de la afinidad como una forma de organizar el fenómeno.

Desde esta perspectiva, nuestra pregunta central es formulada como sigue: *¿Cómo la actividad experimental proporciona elementos para la construcción de explicaciones en torno a la reactividad entre metales y ácidos teniendo en cuenta las variables de velocidad y calores de reacción?*

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Construir y ampliar la experiencia sobre la reactividad química a partir del estudio de una clase de reacciones químicas, la actividad experimental y el análisis de textos científicos específicos para la elaboración de explicaciones que den cuenta de otras formas de hablar y pensar la química en el aula.

### **Objetivos específicos**

- Realizar un análisis histórico - crítico sobre la reactividad química en virtud de su velocidad y calor de reacción para dar cuenta de la afinidad química entre sustancias como una manera de organizar el fenómeno.
- Diseñar e implementar una serie de actividades experimentales teniendo en cuenta los aportes de orden histórico y las formas de actuar, pensar y hacer en el aula para comprender las dinámicas de la reactividad química.
- Sistematizar y analizar las explicaciones sobre la reactividad química construidas a partir de la actividad experimental teniendo en cuenta la velocidad y calores de reacción, con el fin de ampliar la experiencia y reflexionar sobre nuestra práctica pedagógica.

### **Justificación**

Para la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia tenemos en cuenta los estándares básicos de competencias establecidos por el MEN, los cuales son definidos como criterios de acción que permiten: “conocer lo que deben aprender nuestros niños, niñas y jóvenes, y establecen el punto

de referencia de lo que están en capacidad de saber y saber hacer, en cada una de las áreas y niveles” (Ministerio de Educación Nacional, s.f.)

Es así como éstos se consideran una guía referencial para las instituciones educativas del país, sin embargo, allí no está explícito abordar la reactividad química en función de las velocidades y calores de reacción, por lo que se termina enseñando tal cual se encuentra en los textos escolares; es decir, en la mayoría de las veces centrando su explicación en cálculos matemáticos, ecuaciones químicas y expresiones simbólicas que no abordan las dinámicas de las transformaciones químicas y las condiciones que las hacen posible, por lo que se desconoce además, que es un fenómeno que se puede clasificar, organizar y medir para la construcción y comprensión del mismo. Esta manera de hacer ciencia antepone una imagen de ciencia ahistórica, estática y acabada, donde la química se presenta como una acumulación de información compleja y abstracta, y; como consecuencia, los estudiantes, en su mayoría, terminan mostrando poco interés por su aprendizaje.

En este sentido, a partir de algunos cuestionamientos propios sobre la reactividad química y una crítica a la manera en la que la hemos llevado al aula tras evidenciar cierta dificultad en la comprensión de la información que se les brinda a los estudiantes, la poca curiosidad e indagación sobre esta; surge la posibilidad de abordar la reactividad química en virtud de las velocidades y los calores producidos en una reacción, apoyándonos en un análisis de textos acerca de este fenómeno, para dar cuenta de la afinidad entre sustancias con el fin de organizar y comprender las dinámicas, el comportamiento y las transformaciones de las sustancias a partir de la actividad experimental, la cual, de acuerdo con Malagón, Sandoval y Ayala (2011) es un proceso intencional, imposible de desligar de una educación en ciencias en la que se privilegie la construcción de explicaciones y comprensiones acerca de los fenómenos abordados (p. 53).



Las actividades experimentales que se implementan en el aula suelen presentarse como experimentos repetitivos y reproducidos lo que hace que nosotros como maestros muchas veces terminemos centrándonos en instrucciones y comprobaciones, evidenciando una ruptura entre la teoría y el experimento, ya que no realizamos un cuestionamiento de la experiencia sensible, sino que nos enfocamos en las intuiciones primarias, el deslumbramiento y el entusiasmo por el fenómeno y su comprobación, volviéndose la actividad experimental poco relevante ya que se deja a un lado la ampliación y la organización de la experiencia y; por consiguiente, no se privilegia la ciencia como una actividad de construcción de explicaciones.

De acuerdo con Malagón, Sandoval y Ayala (2013) los procesos conceptuales orientan la actividad experimental y son producto de la organización y ampliación de la experiencia del sujeto; por tal razón, deben estar articulados con la experiencia sensorial. Los mismos autores manifiestan que:

El experimento genera la ampliación de la experiencia y dinamiza la teorización de esa experiencia; es decir, poner en juego algunas actividades experimentales permite a la vez transformar la experiencia y elaborar explicaciones teóricas. Esas explicaciones, a su vez, permiten generar nuevas experiencias y nuevas formas de desarrollarlas (p. 128)

Bajo esta perspectiva, el trabajo experimental no se encuentra en la construcción del conocimiento científico como solo un verificador de la teoría o como el único camino del conocimiento adquirido para obtener distintas teorías, sino que la experimentación y la teorización son dimensiones complementarias e interdependientes en los procesos de producción científica (Romero y Aguilar, 2013).

En este orden de ideas, la actividad experimental es un proceso fundamental en la estructuración de los procesos de conceptualización y construcción de conocimiento científico; por lo tanto, para

abordar la reactividad química, se diseñaron y desarrollaron actividades experimentales teniendo en cuenta los textos científicos, principalmente los de Wenzel y Vant'Hoff al centrar sus estudios en las velocidades de reacción y en los calores producidos, para privilegiar la construcción de explicaciones a partir del cuestionamiento de lo que se percibe para la comprensión del fenómeno y la ampliación y organización de la experiencia.

## II. ASPECTOS METODOLÓGICOS

El presente trabajo se desarrolló a partir de los cuestionamientos que surgieron frente a la forma como enseñamos la reactividad química en el aula, lo que dio paso a la revisión de textos científicos para sustentar dichos cuestionamientos y para aproximarnos a otras maneras de hablar y pensar del fenómeno. El trabajo se llevó a cabo en tres etapas, las cuales se describen en el siguiente esquema:



Figura 1. Etapas de la investigación. Este esquema expone las tres etapas que fundamentan nuestro trabajo de grado. Elaboración propia

### Etapa 1: Problematización

Esta primera etapa se basó en estructurar formalmente la idea que teníamos inicialmente de reactividad química. Esto implicó el cuestionamiento y la construcción global del problema de estudio, para lo cual nos enfocamos, inicialmente, en un análisis de los textos de Étienne François Geoffroy (1672-1731) y Torbern Olof Bergman (1735-1784) quienes abordaron la problemática

sobre la interacción entre las sustancias en el siglo XVIII. También realizamos un análisis histórico - crítico de los artículos y textos de Wenzel y Vant'Hoff sobre la reactividad química, en los cuales se estudian factores como las velocidades y calores de reacción en relación con la mayor o menor actividad química entre las sustancias. De igual manera, analizamos los textos de Berthollet, Wilhelmy, Guldberg y Waage, Berthelot y Saint Gilles, los cuales fueron de apoyo para comprender las condiciones que posibilitan las transformaciones químicas y las maneras de organizar, ordenar y formalizar el fenómeno. En esta revisión histórica pusimos en diálogo las preguntas que surgieron, los experimentos que dieron cuenta de sus proposiciones, las relaciones que establecieron entre las variables y los alcances y limitaciones de las mismas, con el fin de construir y comprender el fenómeno de la reactividad química.

A partir de las conceptualizaciones construidas del análisis histórico de los textos científicos, diseñamos unas actividades experimentales que fueron desarrolladas en el departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional para ampliar nuestras comprensiones del fenómeno y construir explicaciones que nos permitan reflexionar y cuestionarnos sobre el mismo. Es así como suscitamos las siguientes preguntas las cuales tendremos presentes durante el análisis del problema de la reactividad química:

- ¿Cómo ocurren las reacciones químicas?
- ¿Existen reacciones más rápidas unas que otras?
- ¿Qué sustancias reaccionan con unas y con otras no?
- ¿Qué factores influyen para que un metal reaccione más rápido con un ácido que con otros?
- ¿La afinidad entre sustancias se ve afectada al variar la concentración y la temperatura en el sistema?

## **Etapa 2: Propuesta de aula**

Teniendo en cuenta los desarrollos de la etapa anterior, proponemos una ruta de aula fundamentada en cinco actividades experimentales<sup>1</sup>, las cuales tienen como propósito abordar las reacciones entre metales y ácidos para ampliar la base fenomenológica y plantear el problema conceptual a propósito de la comprensión de la relación entre velocidad y calor de reacción con la afinidad química. Buscamos, a partir de la implementación de la ruta de aula, la construcción de explicaciones a propósito del fenómeno en cuestión, al poder observarlo, cuestionarlo y ordenarlo tras acudir al trabajo experimental para establecer procesos de formalización y ampliación que contribuyan a los modos de pensar y de hablar del fenómeno.

Los sentidos que orientaron el diseño e implementación de las actividades experimentales están relacionados con los textos de Wenzel y Van't Hoff sobre la reactividad química en función de las velocidades y calores de reacción para la ordenación del fenómeno. También tuvimos en cuenta los trabajos de Wilhelmy, Guldberg y Waage, Berthelot y Saint Gilles quienes también relacionan la velocidad de reacción como una forma de medir la afinidad entre sustancias y hacen hincapié en ciertos factores que afectan la velocidad, tales como la temperatura y la concentración.

Estas actividades experimentales se desarrollan con los estudiantes para que construyan sus propias explicaciones del fenómeno, interpreten y se cuestionen sobre lo observado relacionando el hecho, la causa y los medios o las condiciones en los cuales se da el fenómeno. En este orden de ideas, la actividad experimental se prioriza en nuestro quehacer pedagógico para que los estudiantes se cuestionen sobre los conocimientos que no surgen de la evidencia, algunos saberes que se presentan como inmodificables, permitiendo a su vez que la visión de ciencia sea otra, no

---

<sup>1</sup> Las actividades experimentales están distribuidas en tres fases dentro de la ruta de aula (anexo 1) y se desarrollaron en el capítulo V: Construcción del fenómeno de las reacciones entre metales y ácidos.

como una actividad con saberes absolutos, sino una actividad que se transforma a partir de generar preguntas y posibles explicaciones frente a lo observado.

### **Etapa 3: Sistematización y reflexiones finales**

Esta última etapa hace referencia a la sistematización de la ruta de aula propuesta, así como las reflexiones que se derivan de nuestro quehacer pedagógico y las recomendaciones relacionadas con la implementación de las experiencias, realizando una interpretación crítica de ellas, partiendo de su ordenamiento y la reconstrucción de los hechos, teniendo en cuenta factores que intervinieron e hicieron posible que el proyecto se llevara a cabo de este modo.

Dicha fase se realiza con el fin de comprender y reflexionar las dinámicas en el aula, para ello es necesario detenernos y detallar lo ocurrido, con el fin de generar nuevos conocimientos producidos de la crítica desde y para la práctica; los cuales nos permiten reconstruir o transformar nuestra labor docente. La sistematización vista de este modo nos ayudará a reflexionar sobre lo que sucede en nuestro ejercicio docente y repensar el papel como maestros. Por tanto, la forma de proceder en esta fase está dividida en tres momentos:

El primero, la construcción de un relato a partir de las cuestiones que definimos para el ejercicio de sistematización, que son: concepto de afinidad, ordenamiento del fenómeno y medidas de la afinidad. Cabe señalar que dichas cuestiones surgieron a partir del trabajo realizado por nosotras en el laboratorio cruzados por los textos históricos estudiados. El segundo, la organización de los registros (anexo 2) teniendo en cuenta las preguntas orientadoras que planteamos para cada actividad experimental y las cuestiones establecidas. Por último, el tercero, la reflexión sobre lo realizado en el aula y sus aportes en nuestro desarrollo profesional y en la cualificación y transformación de nuestras prácticas de enseñanza.

### III. ANÁLISIS HISTÓRICO – CRÍTICO SOBRE EL PROBLEMA CONCEPTUAL DE LA REACTIVIDAD QUÍMICA

#### Antecedentes

Realizamos una revisión y análisis de documentos escogidos, acerca de la reactividad química, su relación con la velocidad de reacción y las condiciones experimentales que afectan esta última. Los documentos estudiados nos aportan elementos para configurar la problemática y cuestionar nuestro ejercicio docente en la enseñanza de este fenómeno.

El primer trabajo revisado *Estudio de la temperatura y su efecto en la velocidad de las reacciones químicas a partir de una perspectiva fenomenológica*, de González, L (2017) se centra en el estudio de la temperatura como uno de los factores que afecta la velocidad de reacción, para lo cual se interesa en las analogías construidas por los estudiantes sobre la temperatura como una estrategia fundamentada en la dinámica Experiencia, Conocimiento y Lenguaje para su comprensión. De igual manera, la autora acentúa dos aspectos importantes, uno, los estudios histórico – críticos de la cinética química con el propósito de reconocer lo que se enseña en el aula y, dos, el trabajo experimental para que el estudiante se relacione con el fenómeno a partir de los planteamientos conceptuales que lo fundamentan, resaltando su importancia al permitir observar, analizar, controlar, medir y consolidar el fenómeno.

El segundo trabajo que revisamos es el de Barrera, J (2013) *Enseñanza de los factores que afectan la velocidad de reacción: una propuesta de aula desde el aprendizaje activo*, quien también hace énfasis en la enseñanza de los factores que modifican la velocidad de reacción, pero mediada por los principios del aprendizaje activo para la construcción de conocimiento científico y el trabajo experimental para que los estudiantes generen discusiones y proposiciones a partir de la

visualización del comportamiento de algunas reacciones químicas que se desarrollaron bajo ciertas condiciones. De igual manera, recalca la importancia de introducir aspectos históricos - epistemológicos en la enseñanza de las ciencias para reconocer el carácter dinámico del conocimiento y la manera como se está construyendo y estructurando.

De la revisión de estos dos primeros trabajos extraemos tres elementos importantes que configuran nuestro objeto de estudio, el primero, la velocidad de reacción y los factores que la afectan, centrándonos específicamente en la temperatura y la concentración, con el propósito de dar respuesta a uno de los interrogantes que surgieron: *¿La afinidad entre sustancias se ve afectada al variar la concentración y la temperatura en el sistema?* El segundo, el análisis de los estudios histórico – críticos que, en nuestro trabajo, está centrado en la reactividad química en virtud de la velocidad y los calores de reacción. Este elemento lo consideramos un eje que favorece la reestructuración y la recontextualización de la enseñanza de la reactividad química en el aula, en este sentido, la revisión de los textos no se hace con el fin de reproducir cronológicamente lo que cada uno de los científicos realizó en su momento, sino entrar en diálogo con éstos para brindar elementos que den cuenta del fenómeno a trabajar en el aula, reconociendo que la historia de la ciencia hace posible que estudiantes y maestros la detallen como actividad que se desarrolla y se transforma en un medio social y cultural. El tercero, el trabajo experimental, el cual lo pensamos como un eje fundamental en la enseñanza de las ciencias ya que posibilita observar, cuestionar, analizar, interpretar, separar variables, discriminar cualidades, ordenar el fenómeno y adquirir conocimiento, colocando en cuestión los conocimientos que surgen sin evidencias, aquellos saberes que se presentan como inmodificables, lo que permite a su vez cambiar la visión de ciencia como un conocimiento absoluto.



El tercer trabajo revisado también se enfoca en la velocidad de reacción, pero vista como una medida de la reactividad química, sin dejar a un lado las condiciones que afectan la velocidad como la temperatura y la concentración. Es así como Pulido, D (2015) en su trabajo *Estudio de la velocidad de reacción química como medida de la reactividad química*, se centró en el estudio de la enseñanza de la velocidad de reacción como magnitud, con el propósito de aportar a la comprensión del fenómeno de la reacción química e interpretar los modos de conocer del estudiante. La autora también hace énfasis en el análisis histórico – crítico de la velocidad de reacción para poderse entender como una magnitud y al trabajo experimental para formalizar los supuestos teóricos elaborados por el estudiante al confrontarse con el fenómeno, partiendo de preguntas desencadenantes que proporcionaron la indagación y la formulación de nuevas preguntas que reestructuraron los modos de comunicar, actuar y pensar los fenómenos.

De la revisión de este trabajo también sobresalen la importancia del análisis histórico – crítico y el papel del trabajo experimental en el aula, aspectos fundamentales para la consolidación de nuestro trabajo, los cuales expusimos anteriormente, no obstante, resaltamos otro elemento: la velocidad de reacción como magnitud; por tanto, aparece la necesidad de hallar una forma de medir y organizar la reactividad química a partir de la afinidad en función de la velocidad de reacción para dar un nuevo sentido a su enseñanza, considerando la importancia de la magnitud para establecer relaciones cuantitativas que nos permitan formalizar el fenómeno; es decir, donde podamos dar cuenta de la comprensión del fenómeno y del significado que se le da al mismo al elaborar explicaciones a partir de la actividad experimental y los fundamentos teóricos. De igual manera, retomamos la importancia que tiene la pregunta en la enseñanza de las ciencias, estando en concordancia con lo que expone la autora y que, sumado a ello, consideramos que también nos

lleva a establecer diferencias, sustituir o rechazar maneras de entender el fenómeno; evitando que la comprensión sea limitada o incompleta.

El último trabajo revisado es el de Porras, O (2013): *La fenomenología de las reacciones químicas para caracterizar los modos de conocer y formalizar en química*, quien se centró en analizar los modos de pensar de los estudiantes sobre la afinidad química para comprender y explicar el fenómeno de las reacciones químicas, por medio del diseño e implementación de una ruta de aula centrada en la ampliación, estructuración y organización de los fenómenos de la reactividad a través de la actividad experimental que, para el autor, no debe ser entendido como una estrategia para comprobar teorías, sino para promover la construcción de fenomenologías. También realiza un análisis histórico sobre la afinidad y las reacciones químicas para rescatar los argumentos que fueron base de planteamientos científicos producidos a lo largo de la historia para poder transformar las prácticas pedagógicas.

De este último antecedente se extrae un elemento significativo: la afinidad química como una forma de entender y analizar las reacciones químicas; sin embargo, el autor no hace énfasis en la velocidad o en los calores de reacción como una manera de abordar a la reactividad o como una magnitud de la misma, sino que emplea la afinidad para dar cuenta de las interacciones entre las sustancias. Este autor, al igual que los anteriores, le da relevancia al trabajo experimental en el aula y concordamos con él en que la actividad experimental se emplea para la construcción de fenomenologías; es decir, para la ampliación, estructuración y organización del fenómeno.

Tras la revisión de los trabajos anteriores, se contempla la idea de la velocidad de reacción como una manera de ordenar el fenómeno de la reactividad; sin embargo, nuestro trabajo también aborda otra forma de medir la afinidad para dar cuenta de la mayor o menor actividad química y es el

calor de reacción. Para ahondar en lo anterior, establecemos un diálogo especialmente con Van't Hoff (1896), quien afirma que el trabajo de afinidad que se obtiene del cambio es equivalente a la totalidad de calor que se desprende en una reacción química; es decir, entendido en términos de proporcionalidad entre el calor y la afinidad al considerar que, a mayor calor producido de reacción, mayor es la afinidad entre las sustancias reaccionantes. Lo anterior, amplía la comprensión sobre la reactividad química y se tiene en cuenta en el diseño de las experiencias propuestas.

### **Análisis histórico – crítico de textos científicos para comprender el problema conceptual de la reactividad química**

Para abordar el problema conceptual sobre reactividad química, acudimos al estudio de los trabajos de algunos científicos para poner en diálogo los cuestionamientos que nos surgieron, las experiencias que dieron cuenta de sus supuestos, las relaciones entre las variables y los alcances y limitaciones en relación con el fenómeno en cuestión. Es así como el análisis histórico que surge a partir del estudio de textos científicos tiene fines de orden pedagógico y didáctico en el sentido que orientan la recontextualización de saberes para la enseñanza de las ciencias, pues emergen cambios en las formas como interpretamos el fenómeno de la reactividad química y la manera en cómo podemos establecer una ordenación de ésta a partir de la afinidad entre sustancias y su relación con las velocidades de reacción y los calores producidos y, a su vez, nos orienta en la elaboración de una ruta de aula fundamentada en la actividad experimental para ser desarrollada en nuestras clases de ciencias.

Los textos históricos estudiados se mencionan a continuación:

<b>Científico</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
<b>Geoffroy</b>	Cruz (2013). Una aproximación histórico-epistemológica del concepto de equilibrio químico. Grapí, P (2012). La Representación de lo Invisible. Tabla de los diferentes rapports observados en química entre diferentes sustancias. Publicaciones Universidad de Alicante.
<b>Bergman</b>	Grapí, P (2011) La visualización del cambio químico. Revista <i>Mètode</i> Quílez (2002). Aproximación a los orígenes del concepto de equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas.
<b>Berthollet</b>	Cruz (2013). Una aproximación histórico-epistemológica del concepto de equilibrio químico. Quílez (2002). Aproximación a los orígenes del concepto de equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas.
<b>Wenzel</b>	Ostwald (1909). <i>L'Evolution d'une Science. La Chimie</i> <sup>2</sup>
<b>Wilhelmy</b>	Ostwald (1909). <i>L'Evolution d'une Science. La Chimie</i> Wilhelmy, L (1850) Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Sauren auf den Rohrzucker stattfindet <sup>3</sup>
<b>Guldberg y Waage</b>	Guldberg y Waage (1986). <i>Studies Concerning Affinity</i> <sup>4</sup> Guldberg y Waage (1867). <i>Études Sur Les Affinités Chimiques</i>
<b>Berthelot y Saint Gilles</b>	Quílez, (2017). <i>Acerca de los Orígenes de la Ley de Equilibrio Químico.</i> Berthelot y Saint Gilles (1862). <i>Annales de chimie et de physique.</i> <sup>5</sup>
<b>Vant'Hoff</b>	Vant'Hoff (1896) <i>Studies In Chemical Dynamics</i> <sup>6</sup> Vant'Hoff (1884) <i>Études de dynamique chimique</i>

*Tabla 1. Textos empleados para el análisis histórico – crítico de la reactividad química. Elaboración propia*

## **La problemática sobre la interacción entre las sustancias en el siglo XVIII**

Partimos de uno de los cuestionamientos que nos surgieron para abordar la problemática sobre las interacciones entre las sustancias: *¿Qué sustancias se unen con unas y con otras no?*, para lo cual acudimos a los científicos Geoffroy y Bergman. Para Geoffroy, esta interacción se debe a ciertas

<sup>2</sup> Ostwald (1909). La evolución de la ciencia. La chimie.

<sup>3</sup> Wilhelmy, L (1850). Sobre la ley según la cual se produce la acción de los ácidos sobre la caña de azúcar.

<sup>4</sup> Guldberg y Waage (1986). Estudios sobre la afinidad

<sup>5</sup> Berthelot y Saint Gilles (1862). Anales de Química y Física.

<sup>6</sup> Vant'Hoff (1884, 1896). Estudios en dinámica química

“*rappports*”<sup>7</sup> que existen entre ellas que hacen que unas sustancias se unan más fácilmente que otras. Al definir este supuesto, hace una aproximación a la dinámica de estas interacciones al mencionar que existen sustancias que no se juntan ni a la una ni a la otra, sustancias que al interactuar no producen alguna sustancia o sustancias que tienen facilidad a unirse a una con la otra, pero si sobreviene una tercera que tenga más rapport con una de las dos, se une a ésta desplazando la otra (Grapi, 2012). Este supuesto dio lugar a la necesidad de ordenar las diferencias de reactividad entre las sustancias, para lo cual se construyeron las tablas de afinidad.

Las tablas de afinidad construidas inicialmente por Geoffroy y después por Bergman, fueron importantes en su época, ya que permitieron ordenar las sustancias de acuerdo con las reacciones químicas que presentaban y realizar una comparación cualitativa a partir de las reacciones de desplazamiento para determinar qué tan afín es una sustancia en relación con otra. Sin embargo, las tablas de Bergman difieren de las de Geoffroy al incluir más reacciones químicas y tener presente las condiciones experimentales requeridas para que las transformaciones químicas tuvieran lugar, por ejemplo, la naturaleza de las sustancias, la vía húmeda y la acción del calor.

Las tablas de Geoffroy constan de 16 columnas donde cada una inicia con una sustancia de referencia, la cual está seguida por otras sustancias que están dispuestas debajo de la misma, representando su rapport de manera descendiente por la primera. Las sustancias que están ubicadas en la parte superior de la tabla desplazan a la sustancia que se encuentre por debajo de ésta en su combinación con la sustancia de referencia, mientras que las tablas de Bergman tienen 49 columnas (27 ácidos, 8 bases, 14 metales y otras sustancias) y se clasifican en reacciones, las cuales consideraba completas y en un solo sentido, por vía húmeda y por vía seca (Quílez, 2002).

---

<sup>7</sup> Geoffroy emplea el término “*rappports*” para hablar de la ‘relación’ entre las sustancias, en vez de los términos “*atracción*” o “*afinidad*”.

Geoffroy's table of affinities (1718) is a grid of chemical symbols. The legend below the table defines the symbols:

- Esprits acides.
- Acide du sel marin.
- Acide nitreux.
- Acide vitriolique.
- Sel alcali fixe.
- Sel alcali volatil.
- Terre absorbante.
- Substances metalliques.
- Mercur.
- Regule d'Antimoine.
- Or.
- Argent.
- Cuivre.
- Fer.
- Plomb.
- Etain.
- Gene.
- Pierre Calaminaire.
- Soufre mineral.
- Principe bulleux ou Soufre.
- Esprit de vinaigre.
- Eau.
- Sel.
- Esprit de vin et Esprit ac.

Figura 2. Tabla de afinidades de Geoffroy (1718) (Tomado de Grapi, P.,2012, p.76)<sup>8</sup>

Bergman's table of affinities (1775) is a large grid of chemical symbols. The legend below the table defines the symbols:

- Esprits acides.
- Acide du sel marin.
- Acide nitreux.
- Acide vitriolique.
- Sel alcali fixe.
- Sel alcali volatil.
- Terre absorbante.
- Substances metalliques.
- Mercur.
- Regule d'Antimoine.
- Or.
- Argent.
- Cuivre.
- Fer.
- Plomb.
- Etain.
- Gene.
- Pierre Calaminaire.
- Soufre mineral.
- Principe bulleux ou Soufre.
- Esprit de vinaigre.
- Eau.
- Sel.
- Esprit de vin et Esprit ac.

Figura 3. Tabla de afinidades de Bergman (1775) (Tomado de Grapi, P.,2012, p.78)<sup>9</sup>

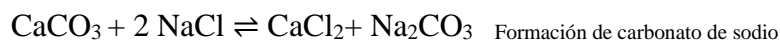
Aunque las tablas de afinidad fueron importantes al intentar ordenar las sustancias, presentaron un problema dado que no daban cuenta de una organización cuantitativa para saber exactamente por cuánto es más o menos afín una sustancia por otra, por lo que fueron apareciendo nuevos estudios para dar cuenta de dicha organización y de las cuales analizaremos a continuación.

<sup>8</sup> En la tabla se observa las 16 columnas que constituían la tabla de Geoffroy (1718), donde cada una tenía una sustancia de referencia a la que se referían todas las sustancias de la columna, colocadas en orden descendiente de afinidad respecto a la primera.

<sup>9</sup> En la tabla se observa 34 de las 49 columnas que constituían la tabla de Bergman (1775). Al igual que la tabla de Geoffroy, las sustancias se representaban con símbolos alquímicos. La primera parte de la tabla hace referencia a las reacciones por vía húmeda y la segunda parte (*In the dray way*) las reacciones por vía seca.

Teniendo en cuenta que para Bergman las reacciones eran completas y se producían en un solo sentido, su idea sobre la afinidad como una fuerza absoluta fue refutada por Berthollet, quien menciona la existencia de reacciones inversas y reconoce la masa como un factor importante a la hora de dar cuenta de la afinidad química. Analizaremos sus estudios que lo llevaron a plantear dichos supuestos a partir de las siguientes preguntas: *¿Qué condiciones favorecen la producción de reacciones inversas? ¿La masa es un factor que determina la afinidad química?*, para lo cual nos centraremos en las observaciones que realizó en su viaje a Egipto.

En su viaje observó la formación de carbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , en las orillas de los lagos de las tierras egipcias a partir de las grandes concentraciones de cloruro de sodio y carbonato de calcio:



Esta reacción era lo inverso a lo establecido por las tablas de afinidad, las cuales daban cuenta de la formación de carbonato de calcio a partir de carbonato de sodio, pero sus hallazgos lo llevaron a pensar que la masa podría reversar una reacción química, pues Berthollet (1803) citado en Cruz (2013) afirma que:

“El sentido de una reacción no es un absoluto determinado por las tendencias electivas de los cuerpos presentes, esto significa que la afinidad, en lugar de caracterizar a un cuerpo en su relación con otro, se convierte en una función de estado fisicoquímico del medio en que se encuentra y, en particular, de la concentración de los reactivos presentes” (p. 70).

Por lo tanto, a partir de los trabajos de Berthollet, podemos encontrar una relación entre *masa y afinidad química*, pues de acuerdo con Quílez (2002) “una gran cantidad de uno de los reactivos podía compensar su menor afinidad con respecto a otra, posibilitando con ello la reacción inversa”

(p.105). En este sentido, las reacciones de desplazamiento nunca serían completas al tener presente que existe una relación funcional entre la afinidad y la masa de las sustancias participantes.

Teniendo en cuenta que para Berthollet la acción química depende de la masa de las sustancias y que, por tanto, es posible hablar de reacciones incompletas y reversibles, su postulado carecía de un carácter cuantitativo, es decir, no daba cuenta de una magnitud para medir la afinidad o la acción química entre sustancias, aunque estableciera un parámetro cuantitativo referida a la proporción entre las masas de las sustancias.

En este orden de ideas, la masa como una forma de medir la afinidad propuesta por Berthollet no se contempla ya que, al agregar más masa del reactivo, no reacciona en su totalidad y no se puede determinar la afinidad entre las sustancias; por lo tanto, en nuestro trabajo experimental, se usa una misma cantidad de sustancia para poder comparar la afinidad entre los metales y los ácidos<sup>10</sup>.

El análisis de los trabajos anteriores dio pie al siguiente cuestionamiento: *¿Cómo medir las fuerzas de afinidad entre sustancias?* por lo que acudimos a Wenzel, Wilhelmy, Guldberg y Waage, Berthelot y Saint Gilles, quienes abordan la velocidad de reacción como una manera de medir la afinidad entre sustancias, cuestionándonos también sobre: *¿De qué depende la velocidad de reacción?*

### **La velocidad de reacción como una manera de medir la afinidad entre sustancias**

Wenzel trabajó la acción de los ácidos sobre los metales para medir la afinidad utilizando el tiempo como factor para organizar las reacciones químicas. En estos experimentos, las superficies de los metales debían ser iguales, por lo que empleó metales con formas cilíndricas. A partir de estas

---

<sup>10</sup> En el capítulo V: Construcción del fenómeno de las reacciones entre metales y ácidos, se detalla la cantidad de sustancia y el estado físico de los metales en cada experiencia.



experiencias, observó que la velocidad de reacción del metal dependía del ácido y de su concentración, al ver que la cantidad de ácido influía en la velocidad en la cual están disueltos los metales (Oswald, 1909). Esto lo llevó a expresar una relación proporcional entre la velocidad de reacción y la concentración del ácido: “El vio que los ácidos actúan más energéticamente si están concentrados que si están diluidos y dijo expresamente que la velocidad de reacción es proporcional a su concentración” (Ostwald, 1909, p. 208)<sup>11</sup>

Aunque tras la revisión de los trabajos de Wenzel no hay formulaciones matemáticas ya que su estudio fue cualitativo, sus trabajos dieron cuenta de la relación que existe entre *velocidad* y *afinidad*: “Un cuerpo se mueve más rápido cuanto mayor es la fuerza que actúa sobre él, atribuyó al cuerpo una mayor afinidad que produce una reacción química más rápida. Tomó como ejemplo la acción de los ácidos sobre los metales” (Ostwald, 1909, p. 208). Es decir, cuando una reacción se produce más rápido, su afinidad será mayor.

Wenzel fue el primero que estableció como variable la velocidad de reacción de distintos metales en ácidos para estimar la afinidad entre sustancias y planteó que la concentración influye en la velocidad, al ver que la velocidad de reacción era mayor si el ácido estaba concentrado o era menor si estaba diluido el ácido en donde se estaban disolviendo los metales.

Además, a partir de sus trabajos, se estableció el tiempo de reacción como un factor a tenerse en cuenta a la hora de medir la afinidad entre sustancias. Tras este análisis, nos surge el siguiente interrogante: *¿la afinidad química entre las sustancias se ve afectada por la variación de la concentración del ácido?*<sup>12</sup>. Es importante mencionar que la velocidad de reacción como una

---

<sup>11</sup> Se realizó la traducción al idioma español de los fragmentos textuales de Oswald (1909) L'Evolution d'une Science. La Chimie

<sup>12</sup> Este interrogante se aborda en el montaje 2 de nuestro trabajo experimental, donde se modifican las concentraciones del ácido para ver su influencia en la velocidad de reacción y determinar si afecta o no la afinidad entre sustancias (anexo 1).

forma de medir la afinidad química también fue acogida por otros científicos como Berthelot y Saint Gilles, al expresar que la afinidad de una sustancia por otra es mayor cuando la velocidad de reacción se registra más rápido en comparación con otra, por lo que posteriormente analizaremos los trabajos que dieron lugar a este supuesto.

El trabajo de Wenzel ha servido de orientación para proponer diferentes maneras de ordenar el comportamiento del fenómeno acudiendo a la actividad experimental; por lo tanto, trabajaremos las reacciones entre metales y ácidos para explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar cualitativamente el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones, a través de la velocidad de desaparición del metal. Así, los trabajos de Wenzel contribuyeron al diseño de las experiencias de nuestro trabajo experimental (anexo 1).

Aunque los estudios de Wenzel no fueron tenidos en cuenta ya que en la época preponderaba la teoría de las afinidades electivas, fueron retomados por Wilhelmy, quien centró sus estudios en reacciones orgánicas ya que son más lentas en comparación con las inorgánicas, permitiendo un estudio más detallado sobre la velocidad de reacción. Analizaremos, a continuación, la reacción de inversión de la sacarosa por acción de los ácidos trabajada por Wilhelmy:

Wilhelmy estudió la reacción de inversión de la sacarosa en medio ácido, específicamente con el ácido nítrico. Este proceso de inversión de la sacarosa está en relación con el efecto de los azúcares reductores en el plano de polarización de la luz<sup>13</sup>; es decir, la glucosa (dextrosa) gira el plano de

---

<sup>13</sup> Los azúcares son ópticamente activos; es decir, hacen girar el plano de la luz polarizada hacia un sentido, ya sea hacia la derecha o hacia la izquierda del plano de observación en un cierto número de grados. Este ángulo de rotación puede medirse empleando el polarímetro y es un proceso que permite medir la concentración siempre y cuando el azúcar sea conocido. (Macarulla y Goñi, 2021). La sacarosa, trabajada por Wilhelmy, es un disacárido de glucosa y fructosa; por lo tanto, la glucosa al ser dextrógira provoca el giro del plano de luz polarizada hacia la derecha, por ello se le conoce como dextrosa; mientras que la fructosa, al ser altamente levógiro desvía el plano de luz polarizada hacia la izquierda, conociéndose como levulosa (Ibarra, Botero, Cortes, 2010). Estos al ser monosacáridos son azúcares reductores, en otras palabras, se oxidan ya que presentan un grupo carbonilo libre (aldehído o cetona) en su estructura.

la luz hacía la derecha, mientras que la fructosa (levulosa) lo hace hacía la izquierda por acción de los ácidos: “Cómo es sabido, el plano de polarización de la luz que pasa por su disolución, que gira a la derecha, se transforma por la acción de los ácidos en azúcar mucilaginoso que gira a la izquierda” (Wilhelmy, 1850, p. 3)<sup>14</sup>

Para el proceso anterior, Wilhelmy hizo uso de un polarímetro que le permitió revisar la duración de la reacción química, tomando como variable el tiempo de configuración de ciertos azúcares en medio ácido. De lo anterior afirma que el cambio de sacarosa a fructosa en función del tiempo es proporcional a la concentración de azúcar, ácido y temperatura (Wilhelmy, 1850).

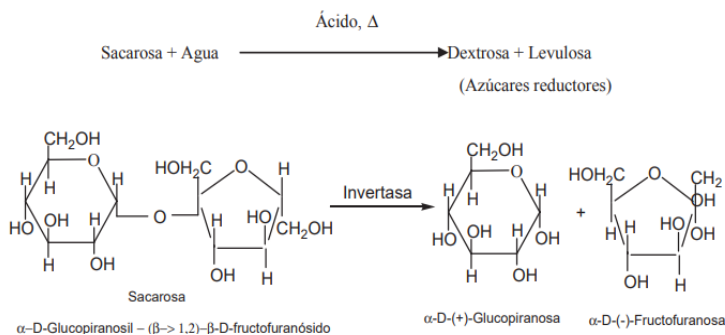


Figura 4. Proceso de inversión de la sacarosa en medio ácido por Wilhelmy (Tomado de Bárcena, A y Sánchez, A., 2007, p. 48).

Las reacciones de Wilhelmy se pueden comparar con un sistema de reacciones orgánicas similares; por ejemplo, las reacciones de inversión de otros azúcares como la lactosa o la maltosa en medio ácido, teniendo en cuenta la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición de los reactivos. Este criterio posibilita la organización del fenómeno para establecer qué azúcar es más o menos afín con respecto al ácido y podríamos dar cuenta de la afinidad entre las sustancias.

<sup>14</sup> Traducción propia

De acuerdo con lo anterior, los estudios de Wilhelmy dieron cuenta de la relación que existe entre el *tiempo* y la *pérdida de reactivo*, ya que cada vez que iba pasando la reacción, había menor cantidad de sacarosa. Entonces, para describir la velocidad de reacción en la inversión de la sacarosa en medio ácido, formuló la siguiente expresión:  $-dZ/dt = MZS$ , donde  $dZ$  indica la pérdida de sacarosa en función del tiempo  $dt$ , reconociendo la acción química entre las sustancias involucradas en la reacción,  $S$  la concentración inicial de ácido,  $Z$  la concentración inicial de sacarosa y  $M$  una constante que representa una pequeña cantidad de unidades de sacarosa que se transforman en el tiempo por acción de la cantidad de ácido (Wilhelmy, 1850)<sup>15</sup>. En dicha ecuación es posible destacar que Wilhelmy se aproxima a la definición de velocidad de reacción con la que hoy analizamos las distintas interacciones, esta entendida como la cantidad de sustancia que se transforma en unidad de tiempo (Gordon, 1973), donde la concentración de las sustancias condiciona la velocidad con la que se registra la reacción, observación realizada por este científico que manifiesta que la velocidad ( $dZ/dt$ ) es proporcional tanto a la concentración del ácido, como a la del azúcar, lo cual se evidencia en la ecuación anterior. Además, esto le permitió establecer que la masa transformada en función del tiempo es inversamente proporcional a la masa de azúcar que aún permanece, presentando pérdida de reactivo y producción de una nueva sustancia.

La formulación matemática propuesta por Wilhelmy permite asumir, de manera general, que la velocidad de reacción es proporcional a la concentración, y que depende de la cantidad de los reactivos participantes en la reacción (Oswald, 1909). De igual manera, a partir de sus estudios pudo relacionar otras variables, como la temperatura y la velocidad de reacción:

---

<sup>15</sup> Se realizó la traducción al idioma español de los fragmentos textuales de Wilhelmy, L (1850) Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Sauren auf den Rohrzucker stattfindet.

“Los resultados de las mediciones coincidieron plenamente con esta fórmula, e incluso, al variar lentamente la temperatura, se encontró una variación correspondiente en la velocidad de reacción (...) La influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción es grande; por ejemplo, un calentamiento de 10° permite duplicar la velocidad de una reacción química” (Oswald, 1909, p. 258 y 262)

Teniendo en cuenta lo anterior, Wilhelmy planteó la primera ecuación diferencial de la cinética química para expresar la pérdida de reactivo en el tiempo: “entonces la masa transformada en la unidad de tiempo es proporcional a la masa de azúcar que aún permanece, o, en otras palabras, se transforma en una unidad de tiempo siempre una fracción igual a la masa en cuestión ” (Oswald, 1909, p. 258). Aunque no lo hace explícito, reconoce la velocidad de reacción como una forma de medir la afinidad química. Igualmente, asentó la relación entre la temperatura y la velocidad de reacción al ver que, al variar la temperatura, esta influye en la medición de la pérdida de reactivo en función del tiempo ya que la reacción se produce más rápido. Aquí nos surge otra pregunta: *¿la afinidad química entre las sustancias se ve afectada por la variación de la temperatura en el sistema?*<sup>16</sup>. Es importante resaltar que más adelante trataremos la influencia de la temperatura en las constantes de velocidad, teniendo en cuenta los trabajos de Vant’Hoff.

Al igual que los trabajos anteriores, los de Wilhelmy también contribuyeron en el diseño y análisis de las actividades experimentales ya que se tuvo en cuenta la pérdida del metal en función del tiempo al reaccionar con los distintos ácidos (capítulo V).

---

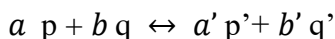
<sup>16</sup> Esta pregunta se aborda en el montaje 3 de nuestro trabajo experimental, donde se modifica la temperatura del sistema para ver su influencia en la velocidad de reacción y determinar si afecta o no la afinidad entre sustancias (anexo 1).

Tanto en los trabajos de Guldberg y Waage como en los de Berthelot y Saint Gilles también se involucra la velocidad de reacción como una magnitud de la afinidad química. Estos científicos centraron su estudio en las reacciones de esterificación dado que las velocidades de reacción se registran más lentamente en comparación con las reacciones de ácido-base.

El trabajo realizado por Guldberg y Waage fue de utilidad para explicar cómo las reacciones reversibles alcanzaban su equilibrio químico. Una de las experiencias realizadas fue la reacción entre etanol con ácido acético con el fin de establecer cuantitativamente las formulaciones matemáticas para la medición de las fuerzas químicas:



Así, para estas reacciones de esterificación, Guldberg y Waage establecieron que, si al iniciar la interacción entre las sustancias se tenían unas masas activas<sup>17</sup> p, q (reactivos) y p', q' (productos), como se muestra en la siguiente ecuación:



Cuando se alcance el equilibrio una cantidad x de las dos primeras sustancias habrá reaccionado; produciendo una cantidad x para las últimas dos sustancias, por tanto, las cantidades en el equilibrio de cada una de las sustancias será respectivamente (p - x), (q - x) y (p' + x), (q' + x), considerando que la fuerza química entre las dos primeras sustancias sería proporcional a sus masas activas; de este modo  $\alpha(p - x)^a (q - x)^b$  y, similarmente, la fuerza química de las otras dos sustancias:  $\alpha'(p' + x)^{a'} (q' + x)^{b'}$  siendo a y b coeficientes estequiométricos de los reactivos,

---

<sup>17</sup> Las masas activas hacen referencia a la cantidad de sustancia presente en la reacción bajo las mismas condiciones de temperatura, bien sea la misma cantidad para cada sustancia en diferente volumen o diferente cantidad de sustancia en un mismo volumen, las cuales interactúan entre sí. Muchas veces se interpreta a las masas activas como la concentración, puesto que esta relaciona cantidad de sustancia en un volumen determinado.

a' y b' los coeficientes de los productos, los cuales se determinaron experimentalmente,  $\alpha$  y  $\alpha'$  unas constantes de proporcionalidad, denominadas coeficientes de afinidad<sup>18</sup>. Una vez haya equilibrio químico entre las dos sustancias estas dos fuerzas se igualarían cumpliendo con la siguiente expresión, considerando que ambas interacciones ocurren de manera simultánea:  $\alpha(p - x)^a (q - x)^b = \alpha'(p' + x)^{a'} (q' + x)^{b'}$ <sup>19</sup>, representando un balance entre las fuerzas químicas, la cual aún para la época no era asociada con la ecuación de velocidad. Dicha expresión representa un punto de partida para dar un valor cuantitativo a la afinidad química (Guldberg y Waage, 1986).

Estos coeficientes  $\alpha$  y  $\alpha'$  se sustituyeron por k y k', planteándose dos ecuaciones, una para la reacción directa:  $v = \frac{dx}{dt} = k(p - x)^a (q - x)^b$  y otra para la reacción inversa:  $v = \frac{dx'}{dt} = ak'(p' - x)^{a'} (q' - x)^{b'}$ , donde v indica la velocidad de reacción, x la cantidad transformada en función del tiempo t, k una constante que depende de la naturaleza del sistema. Al realizar la diferencia entre ambas velocidades, se determina la velocidad neta, definiendo así la condición de equilibrio:  $V_{\text{neta}} = 0$  (Quílez, 2017).

Centrándonos en las reacciones inversas, las cantidades de los productos son proporcionales a la diferencia de las dos fuerzas y; por tanto, la velocidad  $v = \phi(T - T')$  que, cuando v es igual a cero,  $T = T'$ , alcanzando el estado de equilibrio (Quílez, 2017), el cual no se alcanza hasta que la

---

<sup>18</sup> Estas constantes de proporcionalidad son análogas a la constante M presentada en la ecuación matemática de Wilhelmy en sus estudios de las reacciones de la sacarosa en el ácido.

<sup>19</sup> Los estudios sobre la reactividad química desarrollados por Guldberg y Waage se basan en la ley de acción de masas que analiza las velocidades en una reacción reversible, en donde existe un estado de equilibrio cuando las velocidades se igualan. Para expresar la velocidad de reacción tienen en cuenta las concentraciones de las sustancias (masas activas) en este caso p, q, p' y q' y las cantidades de las mismas, es decir el número de moles que participan en la reacción (a y b), junto a una constante de proporcionalidad para cada reacción que se presenta, la cual se conoce como constante de velocidad ( $\alpha$  y  $\alpha'$ ). Al relacionar estas dos constantes, es decir al dividir la constante de la reacción directa e inversa se obtiene una nueva constante, conocida como constante de equilibrio. A partir de lo anterior, estos científicos establecen que, en una reacción química reversible, en el equilibrio a una temperatura constante, existe una relación constante de reactivos y productos (Guldberg y Waage, 1986).

interacción ha durado un tiempo largo dado que la reacción transcurre de forma lenta (Guldberg y Waage, 1986).

La expresión matemática formulada por Guldberg y Waage relaciona las velocidades de una reacción en donde hay dos constantes de proporcionalidad, puesto que se da en dos sentidos tal como se mostró anteriormente. La relación entre estas constantes se conoce como constante de equilibrio, que involucra la concentración y el número de moles de las sustancias que interactúan. A partir de ello, una de las implicaciones a tener en cuenta con este trabajo, son las condiciones a las cuales se llevan a cabo las reacciones, como la temperatura constante, cantidad de sustancia y concentración, que influyen en la transformación química y por ende en lo que ellos llamaban fuerza química.

Teniendo en cuenta lo anterior, los trabajos de Guldberg y Waage plantean la relación entre la *fuerza química* y el *producto de las masas activas*; es decir, el de las concentraciones y no las masas de los reactivos como lo estableció Berthollet. Así, para estos científicos, la velocidad representa la fuerza química la cual es directamente proporcional al producto de las masas activas de los reactivos y en donde la condición de equilibrio se alcanza cuando estas fuerzas, las cuales son ejercidas por ambas reacciones (directa e inversa), se igualan. Sin embargo, más adelante veremos que Vant'Hoff no relaciona el equilibrio en términos de fuerza sino de velocidad de las reacciones reversibles. Cabe mencionar que para estos autores se refleja la importancia de las expresiones matemáticas, pues se centraron en encontrar alguna relación matemática que se ajustara a los trabajos experimentales para poder dar cuenta de los resultados obtenidos sobre su estudio de las reacciones de esterificación.

Las reacciones de Guldberg y Waage se pueden comparar con las reacciones de esterificación de Berthelot y Saint Gilles, quienes tuvieron en cuenta factores como el tiempo, la temperatura y la



aparición del éter durante la reacción química al variar los ácidos o los alcoholes con el fin de determinar la velocidad de reacción y reconocer su relación con la afinidad entre los alcoholes con los ácidos. Berthelot y Saint Gilles (1862) realizaron diferentes experiencias en donde combinaron un mismo ácido con diferentes alcoholes o, al contrario, combinaron un mismo alcohol con diferentes ácidos. Por ejemplo, realizaron experiencias con el alcohol etílico y el colesterol, los cuales se mezclaron en equivalentes iguales con ácido acético a 100°, obteniendo los siguientes resultados:

DURÉE DU CONTACT A 100°.	PROPORTION D'ALCOOL ÉTHÉRIFIÉ EN CENTIÈMES.	
	Alcool éthylique.	Cholestérine.
9 heures .....	41,2	17,5
40 heures (t).....	59,8	34,1

Figura 5. Combinación de alcohol etílico y colesterol con ácido acético a 100° (Tomado de Berthelot y Saint Gilles, 1862, p. 80)

También emplearon el alcohol etílico y mentol con el mismo ácido, en equivalentes iguales, a 100°, obteniendo los siguientes resultados:

DURÉE DU CONTACT A 100°.	ALCOOL ÉTHYLIQUE.	MENTHOL.
4 heures.....	24,8	5,2
10 heures.....	43,7	11,1

Figura 6. Combinación de alcohol etílico y mentolado con ácido acético a 100° (Tomado de Berthelot y Saint Gilles, 1862, p. 80)

De acuerdo con estos resultados, se puede observar que el colesterol y el mentol se combinan con el ácido acético más lentamente que el alcohol etílico. *¿Qué determina este fenómeno?* Para Berthelot y Saint Gilles (1862), el peso del equivalente no influye en la velocidad de reacción de los alcoholes con el ácido, pues el mentol es uno de los tres alcoholes que reacciona más lentamente

y su masa molar equivale a 156, mientras que el del colesterol equivale a 372. El punto de ebullición tampoco determina el fenómeno porque el mentol es más volátil que el colesterol. En este sentido, quien determina este fenómeno es la *afinidad* entre los alcoholes con el ácido acético, deduciendo que el mentol es el menos afín con el ácido, teniendo en cuenta que fue el alcohol el que reaccionó más lentamente.

Al comparar los trabajos realizados por Guldberg y Waage y Berthelot junto con Saint Gilles, se encuentra que relacionan la *afinidad entre las sustancias con la velocidad de reacción* tal como lo había establecido Wenzel. Para los primeros autores las reacciones tienen lugar en un tiempo sensible y la duración es diferente para las diversas reacciones, encontrándose en esta duración un medio para determinar la afinidad (Guldberg y Waage, 1867). Berthelot y Saint Gilles asumen lo mismo, al afirmar que la afinidad de una sustancia por otra es mayor cuando la velocidad de reacción se ejerce más rápido en comparación con otra.

Estos trabajos también contribuyeron en el diseño de las experiencias al ver la relación que establecen entre la velocidad de reacción y la afinidad. Se diseñó la experiencia 4 (anexo 1) para medir el volumen de gas producido en cada sistema de reacciones a diferentes intervalos de tiempo para ordenar el fenómeno, teniendo en cuenta la duración de las reacciones a través de la velocidad de aparición del gas liberado.

Hasta este momento nos hemos encaminado en la relación entre velocidad y afinidad química; sin embargo, nos cuestionamos por otras maneras de medir la afinidad para ordenar las sustancias de acuerdo con su actividad química, para lo cual nos centraremos ahora en los *calores de reacción*, por lo que acudimos a J. H. Van't Hoff<sup>20</sup>. Nos enfocamos en tres elementos que consideramos son

---

<sup>20</sup> Se realizó la traducción al idioma español de los fragmentos textuales de Vant'Hoff (1896) *Studies In Chemical Dynamics* y Vant'Hoff (1884) *Études de dynamique chimique*.

útiles para comprender la afinidad y establecer su vínculo con la velocidad y los calores de reacción para comprender el problema conceptual de la reactividad química. Por lo tanto, analizaremos las relaciones que establece Vant'Hoff entre: 1) las velocidades de reacción con el equilibrio, cuestionándonos sobre si hay o no afinidad en el equilibrio, 2) las velocidades de reacción y los calores producidos con el máximo trabajo, preguntándonos sobre cómo se relaciona la velocidad y el calor con el trabajo de afinidad o la fuerza de afinidad, 3) la influencia de la temperatura con la constante de velocidad, analizando su relación con la afinidad química.

### **Otras maneras de medir la afinidad química: Los calores de reacción**

En primer lugar, uno de los experimentos descritos por Vant'Hoff (1896) en su libro *Studies In Chemical Dynamics* para dar cuenta de la relación entre velocidad y equilibrio químico fue la disociación del peróxido de nitrógeno:  $N_2O_4 \leftrightarrow 2NO_2$ , donde las velocidades de la reacción directa e inversa se igualan en el equilibrio. Para dar cuenta de este supuesto, plantea la siguiente fórmula matemática<sup>21</sup> (p.145):

$$\frac{C_2^2}{C_1^1} = \frac{k_1}{k_2} = k$$

En donde se cumple que  $k_1 C_1 = k_2 C_2^2$  o en general  $k_1 C_1^1 = k_2 C_2^2$ , donde  $C_1$  corresponde a la concentración del reactivo y  $C_2$  a la de los productos, asimismo, los exponentes 1 y 2 corresponden al número de moles participantes en cada reacción, ya que, una vez alcanzado el estado de equilibrio, las velocidades de las reacciones opuestas se igualan, tal como se mostró en los desarrollos realizados por Guldberg y Waage. Esto le permitió afirmar que las constantes de

---

<sup>21</sup> Vant'Hoff plantea una expresión matemática similar a la propuesta por Guldberg y Waage para las reacciones reversibles, relacionando unas constantes de proporcionalidad (constantes de velocidad) las cuales le permitieron obtener una constante de equilibrio para dicho sistema. De igual manera, este científico tuvo en cuenta el número de moles para cada sustancia involucrada en la reacción.

velocidad determinan la relación entre las concentraciones de las reacciones reversibles en la condición de equilibrio y, asimismo, esta relación se puede usar para determinar las constantes de velocidad (Vant'Hoff, 1896). De la expresión matemática anterior podemos evidenciar que la velocidad de reacción se relaciona con los valores de concentración de las sustancias que intervienen en el sistema, aproximándose a ésta con las constantes de velocidad.

A partir del trabajo realizado por Vant'Hoff podemos ver la relación que se puede establecer entre la velocidad y el equilibrio, encontrando que las velocidades de ambas reacciones (directa e inversa) son iguales en este estado y; como consecuencia, se obtiene la constante de equilibrio como una relación de las constantes de velocidad de reacción. Pero, aquí nos surge nuestro primer interrogante *¿Hay afinidad en el equilibrio?*, para lo cual trataremos de encontrar una respuesta más adelante a medida que vamos analizando las otras relaciones que establece el autor.

En segundo lugar, Van't Hoff se aproxima a la reactividad química a partir de una visión termodinámica, expresando que el calor podía ser una forma de medir la afinidad entre las sustancias, hallando una similitud entre esta y el trabajo en términos termodinámicos para una reacción reversible, tal como se describe a continuación:

Para dar cuenta de la relación entre calor con el trabajo de afinidad de una reacción, Vant'Hoff menciona la siguiente experiencia de manera generalizada: Un sistema condensado se convierte en otro cuando el primer sistema se transforma en el segundo a una temperatura absoluta del punto de transición (temperatura donde coexisten ambos sistemas en equilibrio,  $P$ ) absorbiendo  $q$  calorías (calor) y el segundo sistema, el cual se formó en el proceso anterior, se enfría a la temperatura  $T$  en la cual puede cambiar al primer sistema. Al realizarlo, el trabajo hecho por afinidad será equivalente a  $A$  calorías y el calor desprendido será, entonces,  $q - A$  calorías (Vant'Hoff, 1896).

Como los cambios en el sistema son reversibles, se cumple con la siguiente ecuación la cual fue planteada para poner de manifiesto dicha relación:  $A = q\left(\frac{P-T}{P}\right)$ . Esta formulación matemática expresa la relación entre trabajo de afinidad y el calor a una temperatura dada. Si la temperatura del punto de transición es igual a la temperatura a la cual ocurre la reacción, entonces  $A = 0$ ; es decir, el trabajo realizado por afinidad a la temperatura del punto de transición, y, por tanto, la fuerza de afinidad es cero (Vant'Hoff, 1896).

La ecuación anterior muestra entonces que, en el cero absoluto  $A = q$ , es decir, el trabajo hecho debido a la afinidad entre las sustancias es equivalente a la totalidad de calor liberado de la reacción. En este punto, el cambio podría suceder con un desprendimiento de  $q$  calorías y sin realizar ningún trabajo o no generar calor y realizando una cantidad de trabajo equivalente a  $q$  calorías. Lo anterior está en concordancia con el principio del trabajo máximo en el cero absoluto, según el cual la cantidad de calor liberada es una medida del trabajo que se puede realizar por afinidad (entendida por Vant'Hoff como una fuerza que produce una transformación química) y su signo indica la dirección en la que se produce el cambio; no obstante, esto no se cumple a temperaturas más altas (Vant'Hoff, 1896).

Desde esta perspectiva, podemos dar respuesta a nuestro primer interrogante: la afinidad o la diferencia de las afinidades que actúan en cada sistema es cero en el equilibrio, debido a que la afinidad de una reacción directa es igual a la de una reacción inversa en el punto de transición; por tanto, el trabajo de afinidad y la fuerza que la produce son nulas a esta temperatura. Por otro lado, por encima o por debajo de la temperatura del punto de transición, la afinidad actúa en dirección opuesta ya que cambia de signo en la diferencia de afinidades que pasan por este punto (Van't Hoff, 1884). Es decir, a temperaturas más altas su signo se invierte y, por tanto, se debe realizar

un trabajo para que la reacción se lleve a cabo y, este cambio de signo, indica el cambio de dirección de la reacción que se produce en la temperatura de transición.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede relacionar el calor de reacción como una forma de medir la afinidad química y reconocer, además, que el trabajo de afinidad y la fuerza de afinidad en sí misma son equivalentes; por tanto, en relación con la velocidad de reacción, si el trabajo de afinidad es nulo, la velocidad también lo será; si se presenta un trabajo negativo o positivo, el signo de la velocidad será el mismo y la reacción procederá hacia la dirección que corresponda.

En tercer lugar, Van't Hoff (1896) desarrolla un estudio interesante basado en formulaciones matemáticas que se ajustan a los trabajos experimentales para mostrar la influencia de la temperatura en la constante  $k$  de velocidad. Para llegar a dicha formulación, se ubica en un sistema en equilibrio donde se ponen de manifiesto dos cambios que tienen lugar en direcciones opuestas cuya constante de velocidad tiene un valor definido para cada uno representado como  $k_1$  y  $k_2$  a una temperatura determinada, planteando así la siguiente expresión (p.122):

$$\frac{d \text{Log } k_1}{dT} - \frac{d \text{Log } k_2}{dT} = \frac{q}{2T^2}$$

Donde  $T$  representa la temperatura absoluta y  $q$  la cantidad de calor que se desarrolla por la transformación del primer sistema en el segundo a un volumen constante. La ecuación anterior no refleja la relación entre las constantes de velocidad  $k$  y la temperatura, por lo que se formula la siguiente ecuación, donde  $A$  y  $B$  son constantes (p.123):

$$\frac{d \text{Log } k}{dT} = \frac{A}{T^2} + B$$

Sí  $A$  fuera igual a cero, entonces se obtiene la siguiente ecuación:  $\frac{d \text{Log } k}{dT} = B$ , que corresponde a la expresión  $k = ab^t$ , propuesta por Berthelot al estudiar las reacciones de esterificación. Los resultados de la experiencia concuerdan con la fórmula cuando se asume que  $B$  es igual a cero, obteniendo la siguiente ecuación de Arrhenius:  $\frac{d \text{Log } k}{dT} = \frac{A}{T^2}$ , que al integrarla se obtiene:  $\text{Log } k = -\frac{A}{T} + \text{constante}$

Esta formulación se realizó independientemente de la temperatura, sin embargo, la cantidad de calor desprendido por una reacción cambia en función de la temperatura; por tanto, teniendo en cuenta que  $q_t = q_0 + bT$ , donde  $b$  es la diferencia entre los calores específicos de ambos sistemas, se obtiene la siguiente ecuación de Kooy:  $\frac{d \text{Log } k}{dT} = \frac{A+Bt}{T^2}$ , que por integración se obtiene:  $\text{Log } k = -\frac{A}{T} + B \log T + \text{constante}$ . Si se asume que  $A$  es igual a cero, se obtiene la siguiente ecuación matemática planteada por Harcourt y Esson:  $\frac{d \text{Log } k}{dT} = \frac{B}{T}$ , y al integrarla obtenemos:  $\text{Log } k = B \log T + \text{constante}$ .

La ecuación de Arrhenius hace posible determinar el efecto de la variación de la temperatura sobre la velocidad de reacción y la ecuación de Berthelot representa la principal característica de la relación entre la velocidad y la temperatura: “Si las temperaturas forman una serie aritmética, las tasas de cambio a estas temperaturas formarán una serie geométrica” (Vant’Hoff, 1896, p. 124).

Por tanto, por integración entre  $T_1$  y  $T_2$  de la ecuación de Arrhenius, se obtiene:  $\text{Log } \frac{k_1}{k_2} = A \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2}$ , donde  $k_1$  y  $k_2$  representan las constantes de velocidad a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  (Vant’Hoff, 1896).

Esta ecuación expresa la variación de la constante de velocidad  $k$  con la temperatura  $T$ . Para llegar a esta formulación fue necesario realizar un tratamiento matemático retomando ecuaciones formuladas por otros científicos como se pudo ver anteriormente. Así, vemos que la diferencia

entre ambas temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  da cuenta de la relación que presentan las constantes de velocidad  $k_1$  y  $k_2$ , influyendo en la velocidad de reacción.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que:

“Vemos de esto, y en este punto coinciden todas las funciones propuestas, que a temperaturas más altas el aumento en la relación de las constantes de velocidad producido por un aumento de temperatura de 10 grados será menor que a temperaturas más bajas”  
(Vant’Hoff, 1896, p. 124)

En este sentido, un aumento de temperatura produce un aumento en las constantes de velocidad de reacción. Por ejemplo, un aumento de temperatura de 10 grados duplica o triplica la velocidad de una reacción, teniendo en cuenta que las constantes de velocidad, cuando una temperatura  $T_1$  y  $T_2$  difieren en  $10^\circ$ , tienen una relación entre 2 y 3. Esto es diferente con la constante de equilibrio, la cual disminuye con el aumento de temperatura siempre y cuando la reacción libere calor; sin embargo, aumenta con el aumento de la temperatura si la reacción absorbe calor. También se puede dar que, si un desplazamiento del equilibrio no afecta la temperatura, la variación de temperatura no desplazará el equilibrio.

Ahora, expondremos la relación entre la expresión matemática planteada anteriormente junto con los trabajos experimentales de Vant’Hoff (1896) para evidenciar la influencia de la temperatura en la constante  $k$  de velocidad. Para ello, citamos uno de los ejemplos que expone en su libro *Studies In Chemical Dynamics* para describir la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción entre clorato de potasio y sulfato ferroso en presencia de ácido sulfúrico, donde se obtuvieron los resultados contemplados en la siguiente tabla cumpliendo con la fórmula de Arrhenius:



Temper- ature.	k.		Temper- ature.	k.	
	Observed.	Calculated.		Observed.	Calculated.
10	1.00	1.00	20	2.51	2.54
12	1.21	1.21	22	2.96	3.02
14	1.46	1.46 <sup>*</sup>	24	3.59	3.62
16	1.73	1.76	28	5.08	5.03 <sup>*</sup>
18	2.11	2.11	30	6.04	6.04
—	—	—	32	7.15	7.11

Figura 7. Influencia de la temperatura en las constantes de velocidad de la reacción entre el clorato de potasio y sulfato ferroso en presencia de ácido sulfúrico (Tomado de Vant'Hoff, 1896, p.132)<sup>22</sup>

Observamos en la tabla que un aumento de temperatura produce un aumento en las constantes de velocidad, ahora *¿Qué tanto aumenta?* podemos ver que la constante de velocidad de la reacción casi se triplicó al aumentar la temperatura 10 grados, estando en concordancia con lo expresado por Vant'Hoff: Un aumento de temperatura de 10 grados duplica o triplica la velocidad de una reacción. Tras este análisis nos cuestionamos *¿La influencia de la temperatura en la constante k de velocidad influye en la afinidad química?*, a modo de hipótesis, consideramos que la afinidad entre las sustancias no se ve afectada ya que la formación de nuevas sustancias se da, debido a las fuerzas de afinidad que existen entre las sustancias para que se junten. Para dar cuenta de ello, esta cuestión se aborda en nuestro trabajo experimental (capítulo V).

Los trabajos de Vant'Hoff fueron significativos ya que nos otorga elementos para poder interpretar el fenómeno de la reactividad química y la manera en cómo se puede ordenar teniendo en cuenta la vinculación que logramos establecer entre la afinidad con el calor y la velocidad de reacción. Además, sus trabajos nos permitieron consolidar la definición de afinidad química y contribuyeron

<sup>22</sup>Los valores de k se obtuvieron mediante la fórmula:  $\log k = -\frac{7695}{T} + 27.189$ .

en el diseño de la experiencia 5 (anexo 1) al comprender que el calor es otra manera de medir la afinidad entre sustancias.

Vemos como las preguntas planteadas permitieron relacionarnos con los científicos y fueron modificándose en dicha relación contribuyendo a la concreción de planteamientos teóricos al surgir modificaciones en las maneras de pensar y hablar del fenómeno de la reactividad química. Se encontraron diferentes comprensiones acerca de la afinidad las cuales dependen de las intenciones de los autores y de las relaciones entre las diferentes variables expresadas a través de formulaciones matemáticas ajustadas al trabajo experimental. Así, vemos que hay una primera construcción de afinidad como una relación entre las sustancias, en donde existe un vínculo entre afinidad y la masa de las sustancias propuesta por Berthollet, al ver que una cantidad mayor de uno de los reactivos podía compensar su menor afinidad en relación con otro; dando lugar a reacciones inversas; sin embargo, se descartó este supuesto ya que no se podía determinar la afinidad entre las sustancias puesto que una reacción no iba a terminar si se agregaba más masa del reactivo; por lo cual vemos que surgen otras relaciones entre las cuales se destaca la velocidad de reacción y, además, nuevas expresiones matemáticas en donde se relacionan otras variables; como la pérdida de reactivo en función del tiempo planteada por Wilhelmy, en donde vemos que se ajusta al trabajo experimental y que también está en concordancia con los estudios de Wenzel, Guldberg y Waage, Berthelot y Saint Gilles que relacionan la velocidad y la afinidad al sostener que la afinidad de una sustancia por otra es mayor cuando la velocidad de reacción se registra más rápido en comparación con otra; por tanto, las reacciones se producen en un tiempo sensible y la duración es diferente para cada una de ellas, considerándose un medio para determinar la afinidad química. Pero, esta manera de medir la afinidad no daba cuenta por cuánto es más afín una sustancia en relación con otra, por lo que vemos un desarrollo matemático como el trabajado por

Vant'Hoff donde relaciona el calor con la afinidad química, infiriéndose que la afinidad es equivalente a la totalidad de calor que se desprende en una reacción química. Por lo tanto, aquí se construye un nuevo significado de afinidad donde Vant'Hoff retoma la termodinámica para concebirla como una fuerza que produce una transformación química ajustándose a la actividad experimental, al observarse la formación de nuevas sustancias y la liberación de calor que dan cuenta de la producción de una reacción química debido a las fuerzas de afinidad que hacen que unas sustancias se junten con otras. Esta liberación de calor puede cuantificarse y podemos llevar a cabo relaciones de orden cuantitativo para expresar por cuánto es más afín una sustancia en relación con otra.

Cabe mencionar que también se analizaron otras relaciones como la velocidad de reacción y la concentración establecida por Wenzel, encontrándose que la velocidad es mayor si la sustancia está concentrada o menor si esta diluida, por lo que se infiere que la concentración influye en la velocidad de reacción. También vemos la relación entre temperatura y velocidad al ver que si se modifica la temperatura esta influye en la medición de pérdida de reactivo dado que la velocidad de reacción se registra más rápido. Estas conceptualizaciones construidas se pusieron en juego en las actividades experimentales permitiendo establecer que estas condiciones afectan la velocidad de reacción más no a la afinidad entre sustancias, pues estas van a interactuar ya que su naturaleza no cambia; es decir, siguen siendo las mismas sustancias y, por tanto, van a reaccionar entre sí. De igual manera, vemos la relación directamente proporcional que establecen los científicos Guldberg y Waage entre velocidad, la cual representa una fuerza química para estos autores, con el producto de las masas activas de los reactantes involucrados en la reacción, estableciendo que el estado de equilibrio se alcanza cuando la velocidad de la reacción directa es igual a la velocidad de la reacción inversa, por lo que las concentraciones se vuelven constantes permitiendo determinar la constante de equilibrio. Vant'Hoff también retoma estos estudios, pero relaciona el equilibrio en

términos de velocidad y no de fuerzas como Guldberg y Waage, estableciendo que en el equilibrio no hay afinidad puesto que la afinidad de una reacción directa es igual a la de la reacción inversa, por lo que las sustancias se producen y se consumen a la misma velocidad. Asimismo, vemos la relación entre las formulaciones matemáticas planteadas por Vant'Hoff, en donde establece la relación entre las constantes de velocidad con la temperatura, con el trabajo experimental desarrollado por él mismo, al ver que un aumento de temperatura hace que la velocidad de reacción se registre más rápido.

Este análisis histórico-crítico permitió consolidar nuestras comprensiones sobre el fenómeno de la reactividad química, configurar nuevos modos de hablar sobre la afinidad, ya que antes era vista como una propiedad de la sustancia, sin embargo, a partir de este análisis se construyó una nueva perspectiva de la misma, involucrando la velocidad y los calores de reacción como una forma de medirla para entender e interpretar la reactividad entre las sustancias. Así, se construyeron proposiciones conceptuales que fueron útiles en el momento de diseñar las actividades experimentales para ampliar nuestras propias explicaciones del fenómeno.

#### **IV. LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE EXPLICACIONES**

En este capítulo profundizaremos acerca del papel de la actividad experimental en la construcción de explicaciones a propósito del ejercicio que realizamos en el capítulo V, partiendo, en primer lugar, desde una perspectiva fenomenológica para hablar sobre la explicación en ciencias; en segundo lugar, el papel de la actividad experimental y su relación con el estudio histórico de textos científicos para la elaboración de explicaciones y comprensiones del fenómeno. Finalmente, mencionaremos las intenciones que tenemos en el aula con los estudiantes, teniendo en cuenta las discusiones desarrolladas en el capítulo.

Para hablar sobre la explicación nos centraremos en la perspectiva fenomenológica de Duhem, quien critica el mecanicismo por su carácter reduccionista al negar las cualidades que no son geométricas; es decir, que no son ni extensión ni movimiento local. Estas categorías son vistas como propiedades privilegiadas que se reducen a la “cantidad”, donde la cualidad no tiene lugar allí. Por tal razón, Duhem plantea otro tipo de magnitudes diferentes a las extensivas, propias de la mecánica, para dar cabida a la cualidad: las intensivas. Así, Duhem establece categorías más generales como la magnitud y la medida, donde el campo fenomenológico no se reduce al mecánico (Rodríguez, 2008) dado a que estas categorías involucran tanto la cantidad como la cualidad.

Duhem plantea que las leyes experimentales no se explican, por lo que no apoya la perspectiva mecanicista de buscar realidades bajo las apariencias sensibles, pues para esta corriente las leyes físicas deben ser explicadas y se debe buscar en ellas una realidad que vendrían siendo las causas últimas. Rodríguez (2008), siguiendo la perspectiva de Duhem, afirma que:

Lo sensible, nuestras percepciones y las leyes experimentales no son considerados como apariencias de la verdad que se oculta tras ellas; pues no interesa la indagación por causas últimas, sino que se limita nuestro conocimiento a los efectos, a lo observable, a lo medible (p. 59)

Así, Duhem sitúa la búsqueda de realidades para dar explicaciones a las leyes físicas como objeto de la metafísica al afirmar que:

¿Existe una realidad material distinta de las apariencias sensibles?, ¿cuál es la naturaleza de esta realidad?, no son de la competencia del método experimental ya que ese método conoce las apariencias sensibles y no podría descubrir nada que las superara. La respuesta a estas preguntas trasciende de los métodos de observación que utiliza la física; es objeto de la metafísica (Duhem, 2003, p. 9)

De igual forma, Sandoval et.al, (2018), afirma que las explicaciones que se elaboran no necesitan de entidades ocultas o metafísicas más allá de lo que vemos dado que el fenómeno es un conjunto organizado de cualidades que no oculta ni esconde nada detrás de sí, se presenta tal cual es; además, no es estático, sino que va cambiando al ser inherente de una conciencia que lo organiza y que, por ende, también cambia; por lo que las explicaciones que construimos del fenómeno están relacionadas con lo que éste muestra. En nuestro caso particular, las observaciones del fenómeno (capítulo V) fueron posibles por la relación que tuvimos con él cuando acudimos a la actividad experimental. Asimismo, el fenómeno fue transformándose y construyéndose a medida que realizamos organizaciones distintas de lo que percibimos, por lo que no es posible concebirlo como algo externo a nosotras.

En este sentido, Duhem plantea que la teoría física está constituida en dos partes: explicativa, centrada en buscar la realidad que hay detrás de los fenómenos, y representativa, enfocada en clasificar las leyes. Así, para este científico, una teoría física no es explicativa sino representativa, es un conjunto de proposiciones matemáticas que tienen como finalidad representar un conjunto de leyes experimentales (Galles, 2010) donde las cualidades pueden describirse empleando expresiones matemáticas (Marcos, 1988).

En el ejercicio experimental que desarrollamos observamos que no podemos hablar de lo cuantitativo sin relacionarlo con lo cualitativo, puesto que, cuando acudimos a la actividad experimental, llevamos a cabo una organización de cualidades que, al indagar sobre las mismas, reflexionamos sobre el proceso de construcción de magnitudes intensivas como la medición. En nuestro caso particular, cuando hacemos reaccionar diferentes metales con ácido clorhídrico y ácido acético observamos que un metal es más afín en relación con otro al relacionarse con el ácido. Esta organización permite hacer una primera clasificación respecto a qué metales son o no afines con los ácidos, después realizar una ordenación de mayor a menor actividad química entre las sustancias y, posteriormente, hacer una medición para establecer cuántas veces es más o menos afín un metal en relación con otro, por ejemplo, por cuánto es más afín el magnesio en relación con el aluminio al reaccionar con ácido clorhídrico. Esta actividad rompe con la dicotomía cualitativo – cuantitativo al reflejarse el vínculo que existe entre ambas, pues de acuerdo con Malagón et.al, (2013) las cualidades son las que permiten llegar a elementos de orden cuantitativo, dado a que una cualidad puede ser pensada y determinada en grados o intensidades.

Entonces, Duhem afirma que es preferible rescatar la experimentación junto con el sujeto como interprete a que muchos elementos se pongan a priori para la comprensión de una fenomenología. De igual forma, Sandoval et.al, (2018), manifiesta que para comprender el fenómeno no se debe

partir de una explicación a priori dado que está fundamentada en ideas metafísicas donde no hay evidencia de su existencia, sino de “la organización de cualidades, la construcción de escalas de intensidad de una cualidad y el establecimiento de magnitudes y de formas de medida” (p.20), pues las construcciones elaboradas a partir de ideas metafísicas no son producto de la organización que hacemos del fenómeno y, por ende, no se podría partir de entidades ocultas para construir los modos de hablar de éste.

Teniendo en cuenta lo anterior, nos acogemos a la perspectiva fenomenológica Duhemiana ya que las explicaciones que construimos en el capítulo V son producto de la organización que realizamos del fenómeno. Así, la actividad experimental aportó a la construcción de explicaciones a propósito del problema de la reactividad química al proveernos elementos como: La *clasificación* que se puede hacer de los metales que son afines o no con los ácidos y que, una vez clasificados, llevamos a cabo una *ordenación* por grado de mayor a menor actividad química entre las sustancias a partir de los elementos de organización de la actividad experimental, como la velocidad de desaparición del metal en función del tiempo o la cantidad de calor liberada de reacción; por ejemplo, el aluminio es menos afín con los ácidos en relación con el magnesio, puesto que reaccionó más lento ya que puede observarse una mayor cantidad del mismo, mientras que el magnesio se combinó con una proporción mayor a ambos ácidos, por lo que su velocidad de reacción se ejerció más rápido en los mismos tiempos. De esta ordenación, podemos realizar una *ordenación cuantitativa* para establecer diferencias de grados para saber por cuánto es más afín un metal en relación con otro al combinarse con un ácido; por ejemplo, el litio es más afín con el ácido clorhídrico que con el ácido acético, dado que la cantidad de calor de reacción producido fue de 6750,21J, mientras que con el ácido acético fue de 5464,45J. También el litio es más afín en



relación con el magnesio al reaccionar con ácido clorhídrico, ya que la cantidad de calor liberado de la reacción entre magnesio y el ácido fue de 5143,02J.

Lo expresado anteriormente fue posible partiendo de las preguntas que nos surgieron respecto al problema conceptual de la reactividad química y de las observaciones intencionadas. Estas nos llevaron a una organización de cualidades y a un establecimiento de formas de medida que contribuyeron a la construcción de explicaciones del fenómeno. Además, el cuestionarnos si varía o no la afinidad química entre las sustancias al modificar las condiciones de concentración y temperatura del sistema, hizo parte del ejercicio de pensar y hablar del fenómeno.

En segundo lugar, analizaremos el vínculo de la actividad experimental con el análisis histórico-crítico de textos científicos para la construcción de los diferentes modos de hablar del fenómeno. Según Malagón et.al, (2011) el papel del experimento no puede reducirse como un medio para verificar la teoría, por lo que no es posible hablar de una dicotomía entre teoría – experimento desde una perspectiva fenomenológica dado a que éstas mantienen una relación dinámica, es decir, el trabajo experimental va ligado a referentes conceptuales que “permiten decidir cómo organizar y disponer los aparatos y montajes experimentales, y determinar qué se quiere observar y medir y cómo hacerlo” (p.24). De igual manera, Romero-Chacón, Aguilar y Mejía (2017) afirman que el experimento, bajo esta perspectiva, no se concibe como un verificador de planteamientos conceptuales o como la única fuente de conocimiento para obtener diferentes teorías. Así, el experimento y la teoría no deben tipificarse como dimensiones separadas, sino como dimensiones complementarias imbricadas en los procesos de producción de conocimiento.

En línea con lo anterior, consideramos que la actividad experimental está relacionada con la actividad teórica pues al momento de diseñar nuestras actividades experimentales fue

indispensable hacer un *análisis histórico de textos científicos*, principalmente, de Wenzel y Vant'Hoff, en los cuales se estudian las velocidades de reacción y los calores producidos en relación con la mayor o menor actividad química entre sustancias. Ayala (2006) afirma que los estudios histórico-críticos son procesos de recontextualización de saberes científicos y la recurrencia a éstos no es para mostrar lo que los científicos pensaban sobre un fenómeno ni para hacer seguimientos de la evolución de un concepto científico, se trata de “establecer un diálogo con los autores a través de los escritos analizados, con miras a construir una estructuración particular de la clase de fenómenos abordados” (p.29). Sandoval et.al, (2018), manifiesta que acudir a los estudios histórico-crítico está ligado con la comprensión de los fenómenos que abordamos y que configuramos en objetos de estudio en la enseñanza de las ciencias. También sostiene que:

Resaltamos la necesidad de relacionarnos con los autores de los textos originales desde nuestras propias preguntas, que no toman forma de manera inmediata y casi nunca anteceden a la lectura del texto original; estas se van modificando y la formulación de nuestras intenciones en la lectura se consolida en la medida que esto sucede (p.25).

Por lo tanto, si acudimos a los textos de los científicos no fue para replicar sus experimentos o describir sus aportes cronológicamente, fue para establecer un diálogo con los mismos a partir de las preguntas que nos surgieron y que fueron cambiando en dicha relación y en el trabajo experimental, contribuyendo a la recontextualización de saberes para la enseñanza de las ciencias al surgir cambios en las maneras de hacer, pensar y hablar del fenómeno de la reactividad química. Es así como las conceptualizaciones construidas del análisis histórico de los textos científicos orientaron el diseño de los montajes experimentales relacionados con las reacciones entre metales

y ácidos inorgánicos (capítulo V) para ampliar nuestras comprensiones del fenómeno y construir explicaciones propias sobre el mismo.

Como vemos, la actividad experimental permite la vinculación entre teoría-experimento, por ello no debe concebirse como una actividad estandarizada, minimizada como un “recetario” con unos pasos a seguir para comprobar planteamientos teóricos, sino como un proceso intencional que amplía y transforma la experiencia sensible cuando es cuestionada, modificada y organizada, contribuyendo así a la construcción de explicaciones y comprensiones del fenómeno (Sandoval, Malagón y Ayala, 2011). Asimismo, de acuerdo con Malagón et.al, (2013), la actividad experimental es un espacio donde se dispone una relación dinámica entre la construcción de una fenomenología y los procesos de formalización que permiten hablar del fenómeno<sup>23</sup>, aportando a la ampliación de la experiencia del sujeto y a la concreción de planteamientos conceptuales<sup>24</sup> fundamentados desde un enfoque *histórico – epistemológico*. Por ello, resaltamos la importancia del estudio histórico – crítico de textos y fuentes primarias en la recontextualización de saberes científicos, los cuales fueron empleados para el diseño de nuestras propias actividades experimentales y que, además, contribuyeron a la elaboración de la ruta de aula propuesta para los estudiantes, que contiene montajes experimentales y preguntas respecto al problema abordado<sup>25</sup>

De acuerdo con las discusiones presentadas, nuestras intenciones en el aula van encaminadas a contribuir a los procesos de conceptualización y construcción de conocimiento científico, por lo que la actividad experimental debe concebirse como una actividad que aporta al planteamiento de

---

<sup>23</sup> La formalización hace referencia a una serie de procesos que se llevan a cabo durante la organización de cualidades; por ejemplo, cuando se construyen descripciones, clasificaciones, comparaciones y relaciones de orden. También hace alusión a la construcción de palabras, signos, proposiciones, representaciones, entre otras, que permiten hablar del fenómeno (Malagón et.al, 2013).

<sup>24</sup> La ampliación de la experiencia se refiere a la construcción del campo de efectos, relaciones y lenguajes que dan cuenta del fenómeno abordado (Malagón et.al, 2013).

<sup>25</sup> La ruta de aula propuesta para los estudiantes está detallada en el anexo I.

problemas conceptuales y a la construcción de explicaciones y comprensiones del fenómeno a partir de organizaciones conceptuales que se van construyendo durante el desarrollo de la experiencia cuando llevamos a cabo observaciones, cuestionamientos de lo que percibimos, organización de cualidades: descripciones, clasificaciones, comparaciones, relaciones de orden y elaboración de formas de medida del fenómeno. Esta manera de abordar la actividad experimental rompe con la dicotomía teoría-experimento y cualitativo-cuantitativo; además de posibilitar la ampliación y formalización de la experiencia del sujeto. También debe incluirse el análisis histórico-crítico de textos científicos ya que permiten la concreción de supuestos conceptuales y la reformulación de nuestras prácticas de enseñanza.

Por último, este tipo de enseñanza privilegia una imagen de ciencia como actividad científica que evoluciona, cambia y se transforma continuamente y que también propende por una ciencia como conocimiento compartido donde está imbricada la relación sujeto-objeto y en donde el lenguaje juega un rol significativo para la construcción de conocimiento al permitir la interacción del sujeto con el otro y con su contexto.

## V. CONSTRUCCIÓN DEL FENÓMENO DE LAS REACCIONES ENTRE METALES Y ÁCIDOS

Teniendo en cuenta el análisis histórico - crítico de los textos científicos, los cuales aportaron para la construcción de conceptualizaciones relacionadas con el fenómeno de la reactividad química, diseñamos cinco actividades experimentales sobre las reacciones entre metales y ácidos con el fin de organizar el fenómeno a partir de la afinidad química<sup>26</sup> y su relación con la velocidad y calores de reacción para ampliar nuestras explicaciones y comprensiones propias del fenómeno. De igual manera, cuestionarnos sobre cómo varían las reacciones si modificamos algunas condiciones experimentales como la concentración del ácido o la temperatura del sistema configuró nuestros modos de pensar y hablar de la reactividad química. Así, la actividad experimental y el análisis histórico-crítico de textos científicos contribuyen a los procesos de construcción y comprensión del fenómeno al permitir llevar a cabo observaciones, cuestionamientos y organizaciones sobre el mismo, lo cual posibilita establecer procesos de formalización y ampliación de la experiencia

Para el análisis de las experiencias se tuvieron en cuenta las siguientes preguntas: *¿Qué significado terminó teniendo la afinidad entre las sustancias?, ¿cuál es la importancia de ordenar el fenómeno en relación a la afinidad química?, ¿cómo la experimentación juega un papel importante para proporcionar elementos de ordenación? y ¿cómo se relaciona la afinidad con la velocidad y calores de reacción?*, además de las preguntas desencadenantes que planteamos y mencionamos en la propuesta de aula (anexo 1), con el fin de comprender el fenómeno en cuestión.

---

<sup>26</sup> La idea de afinidad surge cuando nos cuestionamos acerca de cómo estamos entendiendo las interacciones entre las sustancias y la manera en la que ha sido abordada en el aula, lo cual se discutió en el capítulo I. Así, encontramos en la afinidad química una manera para clasificar, ordenar y medir la actividad química entre las sustancias en virtud de su velocidad y calores de reacción, contribuyendo a la construcción y comprensión del fenómeno. Esta manera de pensar y hablar del fenómeno fue posible al llevar a cabo un análisis histórico – crítico de textos científicos y vincular los elementos que nos ofrece la actividad experimental para la concreción de conceptos científicos.

Para las experiencias 1, 2 y 3 tuvimos en cuenta un análisis basado en la cinética química, en donde se estudiaron las reacciones de Li y Mg, siendo estas las dos reacciones que se desarrollaron con mayores cambios a lo largo del tiempo según el orden de reacción que presentó cada una<sup>27</sup>. En este punto nos enfocamos en la ley de velocidades para llegar a una construcción del fenómeno y su comprensión, por ende, realizamos las gráficas para poder describir el comportamiento de los metales al reaccionar con los ácidos. En unos casos se graficó  $\ln mol$  del reactivo restante en función del tiempo y en otros los *moles* del reactivo restante en función del tiempo, de acuerdo con el orden de reacción que se determinó según la gráfica, teniendo en cuenta la correlación entre las dos variables si se analiza cada sistema como un comportamiento lineal, considerando el valor de  $R^2$  para describir esta relación. La relación lineal se tiene en cuenta en el análisis ya que fue evidente una proporcionalidad entre la cantidad de reactivo restante y el tiempo transcurrido, observando que la cantidad de reactivo disminuye cuando el tiempo aumenta.

En este sentido, el coeficiente de correlación lineal es la medida específica que cuantifica la relación lineal, comparando cada dato respecto a la media de la variable (Lahura, 2003), para indicar hasta qué punto la relación de las variables se ajusta a una linealidad, por lo que entre más próximo sea el valor a 1, más fuerte es la relación lineal entre las variables. Este valor se determinó a partir de la siguiente fórmula, en donde  $x_i$  hace referencia a un dato del tiempo,  $\bar{x}$  corresponde a la media del tiempo,  $y_i$  representa un dato que, en nuestro caso, es la cantidad de reactivo restante,  $\bar{y}$  es la media de las cantidades restantes de reactivo en los diferentes tiempos.

---

<sup>27</sup> El orden de reacción hace referencia a la relación de la concentración de los reactivos con la velocidad de desaparición de los mismos. Cabe señalar que, en el estudio cinético, el orden 0 de reacción se presenta cuando la velocidad de reacción es independiente de la concentración de las sustancias que interactúan. Así, las reacciones son de orden 0 sólo en ciertos intervalos de concentración (concentraciones que se pueden considerar altas). Si la concentración disminuye, la velocidad de reacción es dependiente de la concentración o de la cantidad de sustancia, por lo que el orden de reacción será superior a 0 (Gordon, 1973)

$$r = \frac{\sum [(x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 * \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Para cada experiencia escogimos la gráfica que mostró una mayor correlación; es decir, donde el valor de correlación lineal fuera próximo a 1, con el fin de determinar la dependencia funcional entre las variables de cantidad de reactivo restante y tiempo, las cuales nos permitieron describir la velocidad de reacción. Es importante aclarar que el análisis cinético se hace en términos de concentración, pero en las experiencias que se propusieron no se realizó en estos términos, sino en términos de cantidad de sustancia, siendo estos los valores que se graficaron, debido a que se tomaron cantidades de cada metal en su estado sólido. En la mayoría de los casos, las gráficas que se tuvieron en cuenta fueron las que describían la cantidad de reactivo restante en función del tiempo, presentando el coeficiente de correlación cercano a uno, este tipo de gráficas se asociaron a orden de reacción 0 que, en el estudio cinético, nos indica que existe una relación directa de proporcionalidad entre la velocidad de reacción y la cantidad de metal que reacciona. De igual manera, en otros casos se tuvo en cuenta las gráficas de orden 1, las cuales hacen referencia a que la velocidad de reacción es proporcional al Ln de la cantidad de metal que reacciona.

Al tener una relación lineal entre las variables, la ecuación de la recta nos permitió analizar el comportamiento de las reacciones. Igualmente, al tener presente la pendiente en cada una de las ecuaciones fue posible conocer el valor de la constante de velocidad<sup>28</sup>, siendo esta una medida útil

---

<sup>28</sup> El valor de la constante de velocidad describe la rapidez con la que se lleva a cabo la reacción siendo mayor a velocidades altas y menor cuando la reacción no se lleva a cabo rápidamente. Esta tiene unidades dependiendo el comportamiento de la reacción, si la reacción es de orden 0, las unidades de la constante serán en este caso mol/s o mol/min, si la reacción de orden 1 será s<sup>-1</sup> o min<sup>-1</sup> y en el caso de que la reacción se clasifique como una reacción de segundo orden las unidades para la constante de velocidad será de 1/mol\*s o 1/mol\*min.

\*\*Recordemos que hablamos en término de moles, no en término de concentración (M), siendo esta última la unidad utilizada en el estudio cinético, sin embargo, al trabajar con los metales en estado sólido, no es posible referirnos a concentración molar, por ende, las unidades de la constante se encuentran en unidades de cantidad de sustancia

para aproximarse a la velocidad de la reacción a una temperatura determinada. De este modo fueron comparadas y ordenadas las diferentes reacciones, ya que, si dos constantes tienen valores cercanos, su velocidad de reacción también lo es (Avery, 1982) y entre más grande es esta constante mayor es la velocidad de reacción.

En este orden de ideas, el análisis que presentamos a continuación fue realizado por nosotras vinculando los elementos que nos proporciona la actividad experimental con elementos de orden histórico y disciplinar para la configuración y comprensión del problema de la reactividad química. A partir de este ejercicio, se diseñó la ruta de aula que se encuentra en el capítulo VI, donde se muestran los alcances, las explicaciones y las reflexiones hechas para esta manera de proceder en el aula.

### **Montaje 1. Reacciones entre metales (Al, Mg, Li, Cu) con diferentes ácidos (ácido clorhídrico y vinagre)**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al tener condiciones iguales de estado de agregación, cantidad de sustancia, temperatura y concentración

#### **Metodología**

- Colocar en una gradilla 4 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL



- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones a 5, 10, 15 y 20 minutos (para el litio tomar las observaciones en segundos)

### Observaciones

Las cantidades que se pesaron de cada metal contienen la misma cantidad de sustancia que corresponde a 0,0039 moles. Se observó la reacción entre los ácidos y metales y se registró la cantidad de reactivo restante en diferentes intervalos de tiempo que, para Mg, Al y Cu, fueron cuatro intervalos iniciando desde el minuto 5 y para el litio fueron intervalos de 5 segundos, iniciando desde el segundo 10, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Metal / HCl	Reactivo (moles) restante en función del tiempo			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0035	0,0024	0,0016	0,0012
Al	0,0038	0,0038	0,0038	0,0038
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Metal / HCl	Reactivo (moles) restante en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0027	0,0016	0,00072	0

Tabla 2. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1M. Elaboración propia

Con el fin de ordenar el fenómeno a partir de sus velocidades de reacción, se realizaron las gráficas correspondientes a la pérdida de reactivo con respecto al tiempo, teniendo en cuenta el coeficiente de correlación lineal, que indica la correlación, en este caso, entre pérdida de reactivo y el tiempo. A partir de las gráficas se determinaron las constantes de la velocidad de la reacción de Li y Mg con el ácido clorhídrico 1M para dar cuenta de la velocidad tal como se mencionó anteriormente,

puesto que fueron las interacciones que mostraron una pérdida significativa de reactivo detectada por los instrumentos de medida empleados. Para la reacción entre el Li y el ácido, la figura 8 describe el cambio producido con una constante de velocidad de  $k=0,0002\text{mol/s}$ . Así mismo, para la reacción entre el Mg y el ácido, en donde se analiza la figura 9 a partir de la regresión lineal y la ecuación de la recta, se presenta una constante de velocidad para esta reacción de  $k= 0,0713\text{min}^{-1}$ .

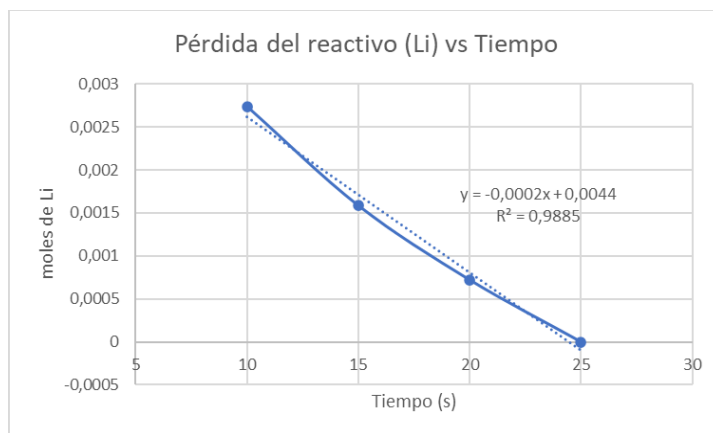


Figura 8. Pérdida de litio en la reacción con HCl 1M en función del tiempo. Elaboración propia

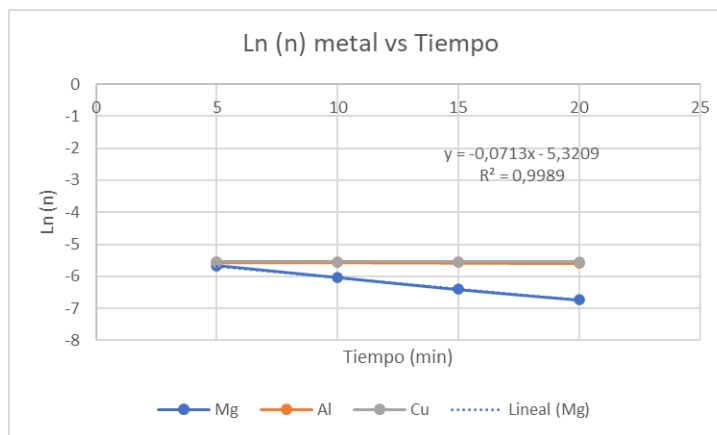


Figura 9. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1M en función del tiempo. Elaboración propia

Teniendo en cuenta el valor de las constantes y sus unidades, es posible afirmar que la reacción con mayor velocidad es la de Li ya que se consume más rápido con el ácido que el Mg, pues lo hace en un menor tiempo. Si se tiene en cuenta la figura 10 en donde se supone que dicha reacción

tiene un orden similar al Mg con el ácido, sin tener en cuenta el coeficiente de correlación lineal, evidenciamos que la constante de velocidad para esta reacción es de  $k=0,1335s^{-1}$ . Sin embargo, esta gráfica cuenta con la toma de menos valores puesto que a los 25 segundos ya se había consumido todo el Li y no fue posible graficar dicho valor, por lo que se tuvo en cuenta la figura 8 para evidenciar los cambios en los tiempos registrados. No obstante, a partir de ella es posible llegar a la afirmación de que la reacción con una mayor velocidad es la del Li con el HCl, teniendo una constante mayor.

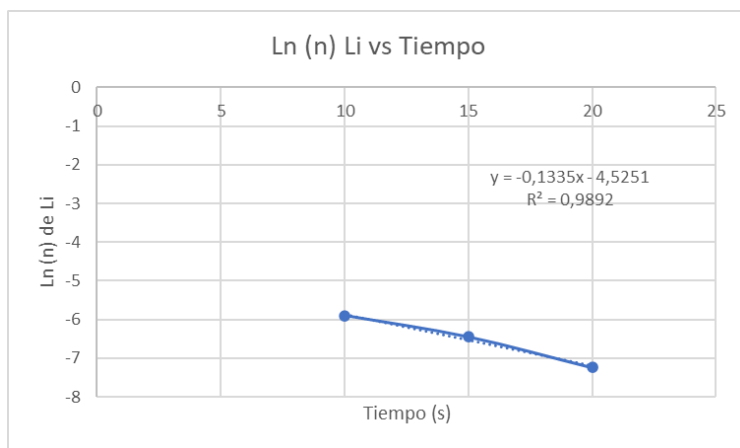


Figura 10. Pérdida de Li teniendo en cuenta un orden 1 de reacción. Elaboración propia

Un análisis similar se realizó con las reacciones entre los metales y el ácido acético, donde se registró la cantidad de reactivo restante en distintos intervalos de tiempo, del mismo modo, se realizaron las gráficas de los cambios presentados en estas interacciones con el fin de cuantificar y dar cuenta de la velocidad de reacción que nos permitiera dar un ordenamiento al fenómeno, tal como se muestra a continuación:

Metal / Ác. acético	Reactivo (moles) restante en función del tiempo			
	Tiempo (minutos)			
	5	10	15	20
Mg	0,0035	0,0025	0,0017	0,0013
Al	0,00389	0,00389	0,00385	0,00381
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Metal / Ác. acético	Reactivo (moles) restante en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0030	0,0020	0,0011	0

Tabla 3. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 1M. Elaboración propia

Al igual que lo anterior, las gráficas que se tuvieron en cuenta fueron aquellas en donde el coeficiente fuera cercano a 1, obteniendo a partir de la pendiente el valor de la constante de velocidad específicamente para la reacción entre el litio y el magnesio, siendo estos los metales con mayor actividad con los ácidos. En ese sentido, el valor de k para la reacción entre el ácido acético y el litio es de 0,0002 mol/s (figura 11) y la constante para la reacción entre el magnesio y los ácidos es de  $k = 0,0671 \text{ min}^{-1}$  (figura 12)

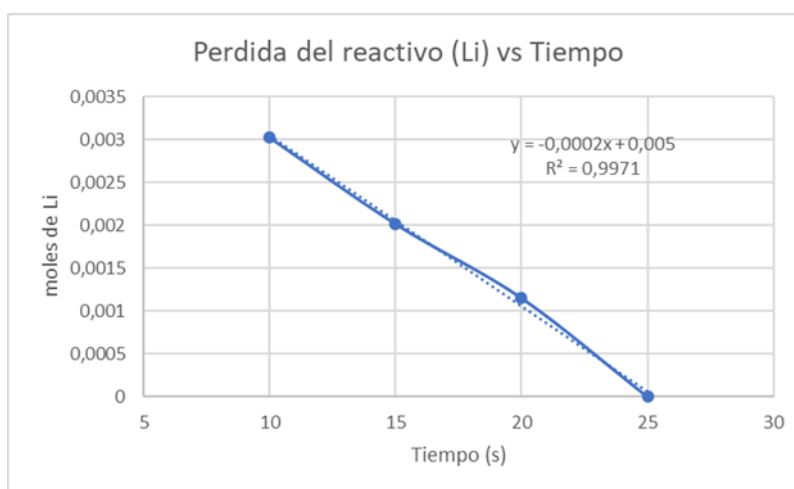


Figura 11. Pérdida de litio en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1M en función del tiempo. Elaboración propia

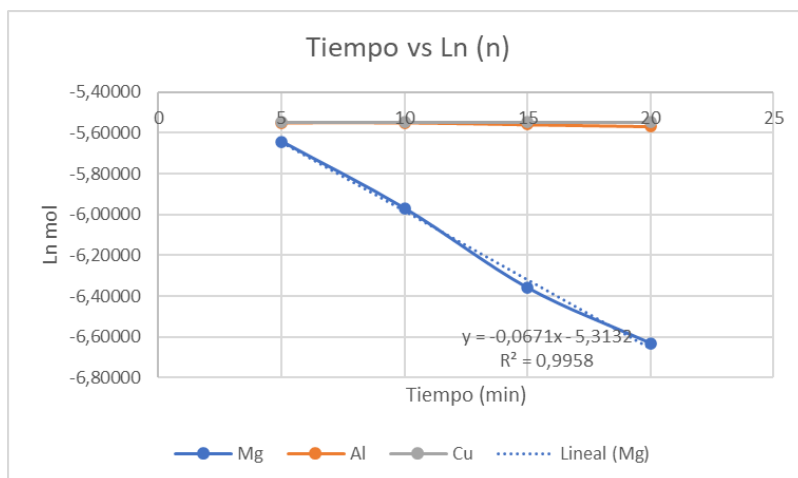


Figura 12. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1M en función del tiempo. Elaboración propia

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta primera experiencia, se puede observar que las reacciones de los metales con ambos ácidos tienen lugar en un tiempo determinado y la duración es diferente para cada reacción. Al hacer reaccionar cada metal con ácido clorhídrico y ácido acético, se evidencia que hay pérdida de reactivo en función del tiempo, en donde el litio desapareció a los 25 segundos, además, partiendo del valor de  $k$  para las reacciones entre el litio y los ácidos, es posible afirmar que las velocidades son muy cercanas para las dos situaciones, seguido de magnesio y aluminio, quienes a los 20 minutos aún no habían terminado la reacción; sin embargo, en el mismo tiempo, hay mayor pérdida de magnesio que de aluminio. Al comparar las constantes de velocidad para la reacción entre el ácido acético con el Mg y el ácido clorhídrico con el mismo metal, vemos que dichas reacciones ocurren a velocidades muy cercanas, sin embargo, es mayor la velocidad de la reacción con el HCl. En el caso del cobre, no se evidenció pérdida de reactivo, manteniéndose la cantidad inicial.

En este orden de ideas, el metal que tiene una mayor velocidad de desaparición es el litio, seguido de magnesio quien tuvo una mayor velocidad de desaparición a los 5, 10, 15, 20 minutos en

comparación con el aluminio y, por último, encontramos el cobre que no reaccionó con el ácido clorhídrico ni acético ya que no hubo pérdida de reactivo en este intervalo de tiempo, puesto que no fue perceptible alguna variación en el reactivo. Por lo tanto, cuando la velocidad de reacción transcurre más rápidamente hay una mayor pérdida de cantidad de sustancia. Esto está en concordancia con lo manifestado por Wilhelmy, quien, a partir de su trabajo centrado en la reacción de inversión de la sacarosa en ácido nítrico, dio cuenta de la relación entre la unidad de tiempo y la pérdida de reactivo, ya que cada vez que iba pasando la reacción, había menor cantidad de sacarosa.

Ahora, al comparar los resultados obtenidos con ambos ácidos, se observa que la afinidad del litio por el ácido clorhídrico es mayor teniendo en cuenta que la velocidad de reacción se ejerce más rápidamente que con el ácido acético, pues, al cabo de 15 segundos, hay menor cantidad de litio (0,0016 mol); ya que se ha combinado en una proporción mayor que la que ocurre con el ácido acético en el mismo tiempo. Sin embargo, a los 25 segundos, el litio se ha consumido totalmente. Consideramos que a este tiempo debió quedar una cantidad mínima con el ácido acético.

En el caso del magnesio, hay una mayor afinidad por el ácido clorhídrico que con el acético, ya que la velocidad de reacción fue más rápida, pues, al cabo de 10 minutos, hay una menor cantidad de magnesio (0,0024 mol), ya que ha reaccionado una proporción mayor que la que reacciona con ácido acético en el mismo tiempo. La reacción a los 20 minutos aún no ha terminado para ambos ácidos con el metal, pero, hay menos reactivo con el ácido clorhídrico, evidenciándose una reacción más rápida con este ácido que con el ácido acético.

Al comparar los resultados con el aluminio, la reacción fue muy lenta con ambos ácidos; no obstante, se evidencia que a los 20 minutos hay una menor cantidad de aluminio (0,00378 mol), reaccionando con el ácido clorhídrico una cantidad mayor que la que se ha combinado con el ácido

acético en el mismo tiempo. En este sentido, se podría considerar una mayor afinidad con el ácido clorhídrico ya que la velocidad de reacción es mayor. Finalmente, se observa que el cobre no reaccionó con el ácido clorhídrico ni con el acético a este tiempo, por tanto, se considera que este metal es el que tiene menor afinidad con los ácidos, se cree que éste puede ser oxidado por el ácido con el paso de las horas, puesto que en experiencias anteriores en las que se dejó el metal en contacto con los ácidos por 24 horas, hubo cambio de coloración.

En este sentido, un metal reacciona más rápido con un ácido que con el otro debido a la afinidad entre las sustancias. Teniendo en cuenta uno de los postulados de Wenzel, quien afirma que cuando una reacción se produce más rápido, su afinidad será mayor; se encontró en las observaciones de esta experiencia que; por ejemplo, la afinidad de magnesio por el ácido clorhídrico es mayor considerando que la velocidad de reacción procede más rápidamente que con el ácido acético, pues, en los diferentes tiempos, se evidencia menos reactivo ya que se ha combinado una proporción mayor que con el ácido acético en los mismos tiempos.

Esta experiencia nos permite ordenar el fenómeno de la reactividad química teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición del metal, al tener las mismas condiciones experimentales de estado físico, cantidad de sustancia, temperatura y concentración. Así, el orden establecido es el siguiente:

- La afinidad entre el cobre y los ácidos es menor, pues no hubo ningún cambio químico en los intervalos de tiempo establecidos.
- El aluminio tiene poca afinidad con los ácidos, teniendo en cuenta que fue el metal que reaccionó más lentamente al observarse una mayor cantidad del mismo en comparación con el magnesio en cada uno de los tiempos, donde este se combinó con una proporción mayor con ambos ácidos, llevándose a cabo más rápidamente la reacción.

- El litio es el más afín con los ácidos, ya que fue el metal que reaccionó más rápidamente y tiene una constante de velocidad mayor que los demás metales.

La actividad experimental nos permitió caracterizar las reacciones entre los metales y ácidos, tal como sigue:

<b>¿Cómo ocurre la reacción del metal con el ácido?</b>		
<b>Metal</b>	<b>Ácido Clorhídrico</b>	<b>Ácido Acético</b>
Litio	Reaccionó con el ácido clorhídrico produciendo una sal acuosa, la cual corresponde al cloruro de litio, y la liberación de hidrógeno gaseoso. La reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido clorhídrico se descompone ya que la afinidad entre el cloro y el litio es mayor que con el hidrógeno, privilegiando la formación de la sal y el desprendimiento de hidrógeno. Es una reacción espontánea y exotérmica ya que hay liberación de calor.	Reaccionó con el ácido acético produciendo una sal blanca, la cual corresponde al acetato de litio, y la producción de hidrógeno gaseoso. La reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido acético se descompone ya que la afinidad entre el ión acetato y el litio es mayor que con el hidrógeno, privilegiando la formación de la sal y el desprendimiento de hidrógeno. Es una reacción espontánea y exotérmica ya que hay liberación de calor.
Magnesio	Reaccionó con el ácido clorhídrico ya que al transcurrir la reacción hubo pérdida de magnesio; sin embargo, no se observó la sal producida ya que a los 20 minutos aún no había terminado la reacción. Teóricamente, la reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido clorhídrico se descompone ya que la afinidad entre el cloro y el magnesio es mayor que con el	Reaccionó con el ácido acético ya que al transcurrir la reacción hubo pérdida de magnesio; sin embargo, no se observó la sal producida ya que a los 20 minutos aún no había terminado la reacción. Teóricamente, la reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido se descompone ya que la afinidad entre el ión acetato y el magnesio es mayor que con el hidrógeno,



	hidrógeno, privilegiando la formación de la sal cloruro de magnesio y la producción de hidrógeno gaseoso. Es una reacción exotérmica ya que hay liberación de calor.	privilegiando la formación de la sal acetato de magnesio y la producción de hidrógeno gaseoso. Es una reacción exotérmica ya que hay liberación de calor.
Aluminio	Reaccionó con el ácido clorhídrico ya que al transcurrir la reacción hubo pérdida de aluminio; sin embargo, fue una reacción muy lenta y no se pudo observar la sal. Teóricamente, la reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido se descompone ya que la afinidad entre el cloro y el aluminio es mayor que con el hidrógeno, privilegiando la formación de la sal cloruro de aluminio. Es una reacción endotérmica ya que no hubo liberación de calor.	Reaccionó con el ácido acético ya que al transcurrir la reacción hubo pérdida de aluminio; sin embargo, fue una reacción muy lenta y no se pudo observar la sal. Teóricamente, la reacción entre este metal con el ácido ocurre cuando el ácido se descompone ya que la afinidad entre el ión acetato y el aluminio es mayor que con el hidrógeno, privilegiando la formación de la sal acetato de aluminio. Es una reacción endotérmica ya que no hubo liberación de calor.
Cobre	El cobre no reaccionó con el ácido clorhídrico a estos intervalos de tiempo lo que indica que la afinidad entre cloro e hidrógeno es mayor que con el cobre. No se produjo ninguna transformación química.	El cobre no reaccionó con el ácido acético a los 20 minutos, es decir, la afinidad entre el ión acetato e hidrógeno es mayor que con el cobre. No se produjo ninguna transformación química.

*Tabla 4. Caracterización de las reacciones entre los metales y ácidos. Elaboración propia*

Los metales se usaron en el mismo estado físico y con las mismas cantidades de sustancia teniendo en cuenta que son factores que pueden llegar afectar la afinidad entre las sustancias y no se podría llevar a cabo una comparación entre estas reacciones. Por ejemplo, al agregar una mayor cantidad

de reactivo con respecto a otro, la reacción no va a terminar y no se podría determinar su afinidad y tampoco compararse con otra reacción.

## **Montaje 2. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético a diferentes concentraciones con Al, Mg, Li, Cu**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al variar la concentración de los ácidos y analizar cómo esto influye en la velocidad de reacción.

### **Metodología**

- Colocar en una gradilla 4 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones a 5, 10, y 15 minutos (Para el litio tomar las observaciones en segundos)

### **Observaciones**

Las cantidades que se pesaron de cada metal contienen la misma cantidad de sustancia que corresponde a 0,0039 moles, al igual que la anterior experiencia, se registró la cantidad de reactivo restante con respecto al tiempo para poder ordenar las velocidades de reacción a partir de la gráfica correspondiente y el valor de la constante de velocidad, tal como se muestra a continuación:

Metal / HCl 0,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0039	0,0028	0,0021	0,0017
Al	0,0039	0,0039	0,0038	0,0038
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Metal / HCl 0,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0032	0,0020	0,0013	0,00043

Tabla 5. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 0,5M. Elaboración propia

A partir de lo anterior, vemos que la velocidad de Li con HCl a una concentración de 0,5M es similar a la anterior con el ácido a 1M, ya que esta interacción es rápida, siendo este un metal muy reactivo tal como se evidencia en las distintas reacciones con los ácidos a las diferentes concentraciones. Así mismo, el Mg muestra una constante cercana, no obstante, a esta concentración es posible evidenciar un cambio en dicha constante, mostrando su reducción, siendo de  $k=0,0548\text{min}^{-1}$  (figura 13), este cambio se cree que fue por la disminución en la concentración del HCl, lo que nos permite evidenciar la relación de la velocidad con la concentración. Sin embargo, es evidente un comportamiento similar a la anterior siendo la constante de velocidad para la reacción entre el Li y el HCl igual ( $0,0002\text{mol/s}$ ) (fig.14). Teóricamente se afirma que la constante de velocidad no se ve afectada por la concentración, por ende, a pesar de la disminución considerable para el ácido las constantes no presentaron un cambio significativo. Es importante mencionar que el ordenamiento sigue siendo el mismo, contemplando tanto en la parte experimental como en la determinación de las constantes de velocidad, que el Li es el metal que reacciona más rápidamente, seguido el Mg con el ácido a esta concentración.

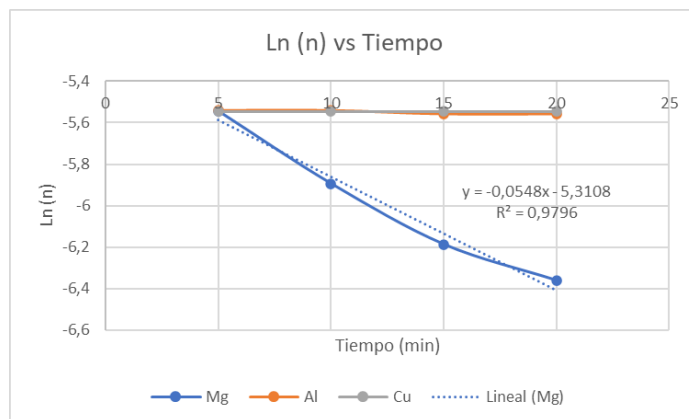


Figura 13. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 0,5 M con respecto al tiempo. Elaboración propia

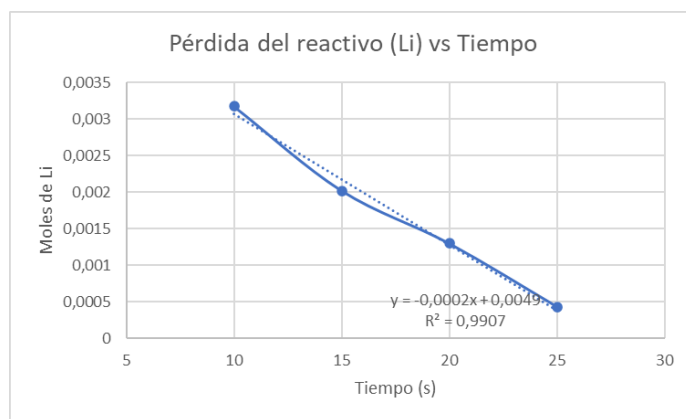


Figura 14. Pérdida de litio en la reacción con HCl 0,5 M con respecto al tiempo. Elaboración propia

La misma experiencia se realizó con el ácido acético a una concentración de 0,5M. Los datos obtenidos de la cantidad de reactivo restante con respecto al tiempo se encuentran a continuación:

Metal / Ác. acético 0,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0038	0,0031	0,0026	0,0019
Al	0,0039	0,0039	0,0039	0,0038
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Metal / Ác. Acético 0,5M	Pérdida del metal en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0035	0,0024	0,0016	0,00072

Tabla 6. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 0,5M. Elaboración propia

Aquí es importante notar que la gráfica que muestra una correlación mayor para la descripción de la reacción entre Mg y ácido acético a 0,5M es la que corresponde a un orden 0 según el estudio cinético, obteniéndose, a partir de ello, una constante  $k=0,0001\text{mol}/\text{min}$  (figura 15). Por otra parte, la reacción entre Li y ácido acético a esta concentración muestra una velocidad considerable y muy cercana a las anteriores experiencias, mostrando una constante de  $0,0002\text{mol}/\text{s}$  (figura 16) debido a que el comportamiento fue parecido, pero menor ya que no todo el reactivo fue consumido a los 25 segundos. En este punto y teniendo unidades semejantes es posible afirmar que, al comparar la reacción entre Li y HCl con Mg y el mismo ácido, la primera se lleva a cabo con una velocidad mayor, ya que se consume mayor reactivo en un menor tiempo.

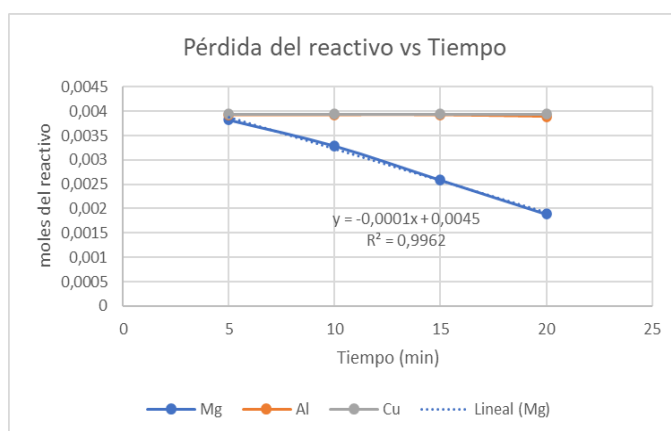


Figura 15. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M en unidad de tiempo. Elaboración propia

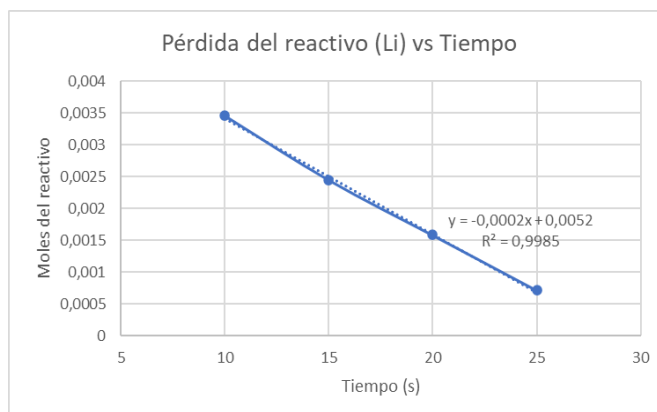


Figura 16. Pérdida de litio en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,5 M en unidad de tiempo. Elaboración propia

Del mismo modo, al realizar las reacciones con los metales y el HCl a 1,5M, se obtuvieron los siguientes resultados, en donde se analizan las constantes de velocidad para dar cuenta de cuál reacción se llevó a cabo más rápidamente:

Metal / HCl 1,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0033	0,0021	0,0014	0,00099
Al	0,0038	0,0038	0,0037	0,0037
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
Metal / HCl 1,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0024	0,0011	0,00029	0

Tabla 7. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1,5M. Elaboración propia

A partir de la gráfica (figura 17) se obtuvo la constante de velocidad para la reacción entre el Mg y el HCl 1,5 M, la cual corresponde a  $k=0,0802\text{min}^{-1}$ . Con respecto a la gráfica que describe la reacción entre Li y HCl a esta concentración se evidencia que la constante de velocidad sigue siendo  $0,0002\text{mol/s}$  (figura 18). Al igual que bajo las condiciones anteriores, el comportamiento de las reacciones sigue siendo el mismo, donde la reacción que se lleva a cabo con una mayor velocidad es la del Li, seguida la reacción entre el ácido y Mg.

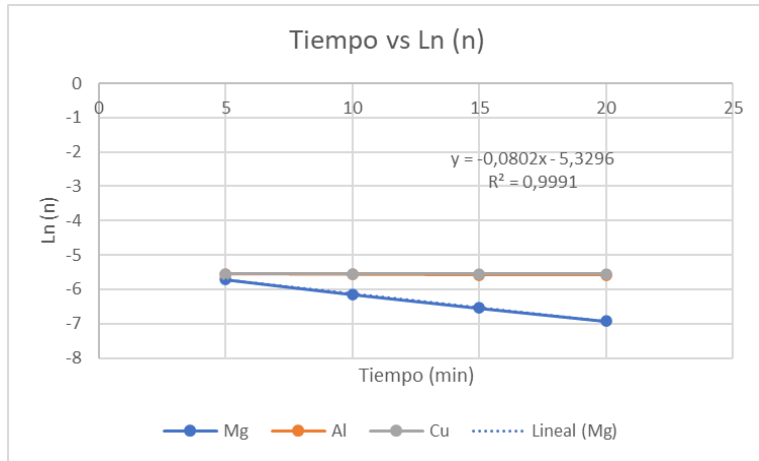


Figura 17. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1,5 M en función del tiempo. Elaboración propia

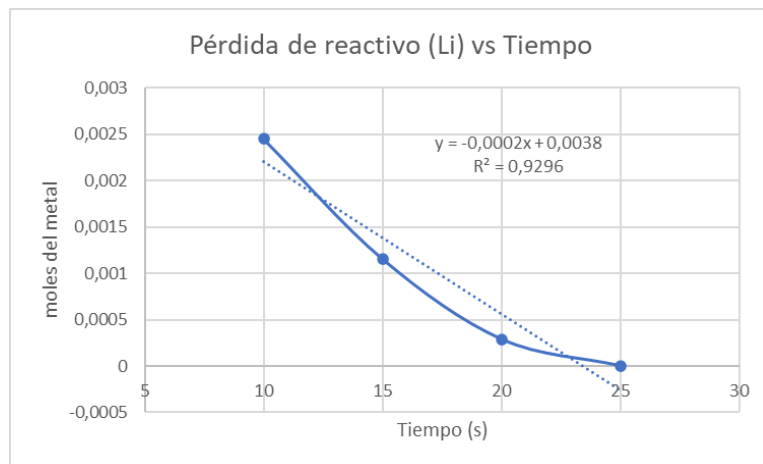


Figura 18. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1,5 M en función del tiempo. Elaboración propia

Con el fin de comparar y evidenciar la relación de la velocidad de reacción con la concentración, se realizó la experiencia con ácido acético a una concentración de 1,5M, obteniendo los siguientes datos de la cantidad de reactivo restante en unidad de tiempo. Estos resultados se graficaron para evidenciar dicho comportamiento y comparar con las concentraciones de los ácidos anteriores.

Metal / Ác. acético 1,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0034	0,0024	0,0016	0,0011
Al	0,0039	0,0038	0,0038	0,0037
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039

Metal / Ác. Acético 1,5M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo			
	Tiempo (segundos)			
	10	15	20	25
Li	0,0027	0,0016	0,00072	0

Tabla 8. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con ácido acético 1,5M. Elaboración propia

A partir de las gráficas obtenidas, para la reacción entre Mg y ácido acético a 1,5M, la constante de velocidad es de  $k=0,0758\text{min}^{-1}$  (figura 19) y para la reacción entre el Li con el mismo ácido a esta concentración, la constante de velocidad corresponde a  $0,0002\text{mol/s}$  (figura 20), lo que muestra nuevamente que esta reacción ocurre a una velocidad mayor, consumiéndose mayor cantidad de reactivo en un menor tiempo. Es importante mencionar que, a pesar de tener un comportamiento similar a la reacción anterior con el mismo ácido a una concentración de 0,5M, esta reacción finalizó en el segundo 25 ya que todo el litio había reaccionado; por tanto, existe una relación entre la velocidad de reacción y la concentración.

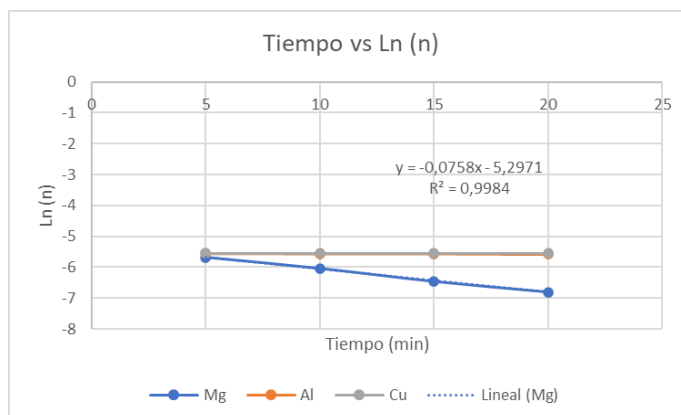


Figura 19. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1,5 M en función del tiempo. Elaboración propia



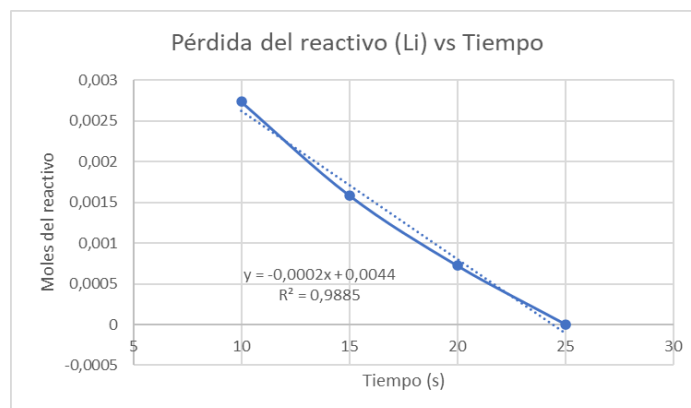


Figura 20. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1,5 M en función del tiempo. Elaboración propia

En esta segunda experiencia se modificaron las concentraciones de ácido clorhídrico y ácido acético para observar su influencia en la velocidad de reacción y si llegaba a afectar también la afinidad entre las sustancias. Al comparar las reacciones de los metales con ácido clorhídrico y acético a diferentes concentraciones, observamos que la velocidad de reacción se ve afectada ya que la pérdida de reactivo fue diferente para cada sistema de reacciones en los mismos tiempos; sin embargo, la afinidad entre los metales y ácidos no se modificó manteniéndose el orden de la primera experiencia.

Al hacer reaccionar el litio con ácido clorhídrico y acético a 1,0M y 1,5M se evidencia la pérdida de reactivo en función del tiempo, en donde el litio desapareció a los 25 segundos; sin embargo, al reaccionar con estos ácidos a 0,5M en el mismo tiempo, se observa una pequeña cantidad de litio sin reaccionar. En el caso del magnesio y el aluminio, al reaccionar con ácido clorhídrico y acético en diferentes concentraciones, se observa que al pasar los 20 minutos aún no ha culminado la reacción; sin embargo, al igual que la primera experiencia, se evidencia una mayor pérdida de magnesio que de aluminio en el mismo tiempo. En el caso del cobre, no se evidencia pérdida de reactivo, manteniendo la cantidad inicial. En este sentido, el metal que tiene mayor velocidad de

desaparición es el litio, seguido de magnesio, aluminio y cobre, quien este último no reaccionó con los ácidos al no evidenciarse pérdida del metal.

Al comparar los resultados de litio con ácido clorhídrico, se observa que, a una concentración de 0,5M, hay mayor cantidad del metal (0,0013 mol) que cuando se hace reaccionar con el mismo ácido a 1,0M, pues se evidencia una menor cantidad de litio (0,00072 mol); sin embargo, cuando se hizo reaccionar con una concentración mayor de ácido, se observó una cantidad mucho menor (0,00029 mol) que la anterior a los 20 segundos. La tendencia fue similar con el ácido acético, donde se evidencia que a medida que aumenta la concentración del ácido, la velocidad de reacción aumenta al combinarse una mayor proporción del metal con el ácido y; por tanto, observándose una menor cantidad del metal en el mismo tiempo:

Metal	<b>Reactivo restante (moles) en función del tiempo</b>		
	Tiempo 20s		
	0,5M	1,0M	1,5M
Litio	0,0016	0,0011	0,00072

*Tabla 9. Comparación del reactivo restante de Li al reaccionar con ácido acético a diferentes concentraciones. Elaboración propia*

La afinidad del litio por el ácido acético es menor ya que la reacción procede más lenta que con el ácido clorhídrico, pues, al revisar cada uno de los tiempos tomados, hay mayor cantidad de litio, por lo que se une con una proporción menor que la que se une con el ácido clorhídrico en los mismos tiempos. Esta tendencia fue similar con el magnesio al reaccionar con los ácidos; es decir, la cantidad de metal fue disminuyendo ya que la velocidad de reacción fue aumentando a medida que aumentaba la concentración del ácido:

<b>Reactivo restante (moles) en función del tiempo</b>						
Metal	Ácido clorhídrico			Ácido acético		
	Tiempo 15 min					
	0,5M	1,0M	1,5M	0,5M	1,0M	1,5M
Magnesio	0,0021	0,0016	0,0014	0,0026	0,0017	0,0016

*Tabla 10. Comparación del reactivo restante de Mg al reaccionar con ácido acético y clorhídrico a diferentes concentraciones. Elaboración propia*

La afinidad del magnesio no se vio afectada al modificarse la concentración del ácido, pues puede observarse que el metal reacciona con el ácido acético más lentamente que con el ácido clorhídrico en cada uno de los tiempos registrados, por ejemplo, a los 15 minutos, la cantidad de magnesio es mayor, combinándose con una proporción menor que la que se une con el HCl en el mismo tiempo.

Al comparar las reacciones a diferentes concentraciones de ácido con el aluminio se observa que la reacción fue muy lenta ya que no hay una pérdida significativa del metal en cada uno de los tiempos registrados; por ejemplo, a 0,5M de ácido clorhídrico hay 0,0038 moles de litio y a una concentración de 1,5M del mismo hay 0,0037 moles a los 15 minutos. De igual manera, la pérdida del metal al reaccionar con ácido acético a 0,5M es mínima, pues a los 15 minutos hay 0,0039 moles y a los 20 minutos 0,00389 moles. De manera similar pasa al reaccionar con el mismo ácido a 1,5M, encontrando que a los 15 minutos hay 0,0038 moles y a los 20 minutos hay 0,0037 moles.

Al igual que los metales anteriores, la afinidad del aluminio no se vio afectada. Por ejemplo, al comparar la reacción con ácido clorhídrico y acético a los 15 minutos, se observa una mayor cantidad de aluminio con el acético; por tanto, reaccionó una cantidad menor con acético que la que se une con el ácido clorhídrico en el mismo tiempo. Por consiguiente, la afinidad del aluminio por el ácido acético es menor teniendo en cuenta que su velocidad de reacción fue más lenta en comparación con la del ácido clorhídrico. Finalmente, el cobre no reaccionó con los ácidos a

diferentes concentraciones ya que la afinidad entre el ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el ión acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) con el hidrógeno es mayor que con el cobre.

En este orden de ideas, la concentración del ácido influye en la velocidad en la cual están disueltos los metales, por tanto, al aumentar la concentración de los ácidos, aumenta la velocidad de reacción al evidenciarse una menor cantidad del metal en función del tiempo al reaccionar una proporción mayor con el ácido. Esto está en concordancia con lo manifestado por Wenzel, quien sustentó que la velocidad de reacción del metal dependía del ácido y de su concentración, al demostrarse experimentalmente una relación proporcional entre la velocidad de reacción y la concentración del ácido. Sin embargo, al verse afectada la velocidad por la concentración del ácido, la afinidad entre los metales y los ácidos no cambia. El aluminio continúa siendo el menos afín con los ácidos, ya que la reacción fue más lenta en comparación con el magnesio, al observarse mayor cantidad del metal en los mismos tiempos. El litio continúa siendo el más afín, pues su reacción procedió más rápidamente que las anteriores y el cobre no reaccionó con los ácidos porque no hay fuerzas de afinidad entre éstos.

### **Montaje 3. Reacción de ácido clorhídrico con Al, Mg y Cu teniendo en cuenta la variación de la temperatura en el sistema**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al variar la temperatura en el sistema y analizar cómo esto influye en la velocidad de reacción.

## Metodología

- Colocar en una gradilla 3 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL.
- Llevar el sistema a una temperatura de 46°C
- Registrar observaciones a 5, 10 y 15 minutos

## Observaciones

Las cantidades que se pesaron de cada metal contienen la misma cantidad de sustancia que corresponde a 0,0039 moles

Metal / HCl 1M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo a 46°C			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Magnesio	0,0031	0,0016	0,00037	0,000082
Aluminio	0,0038	0,0036	0,0035	0,0033
Cobre	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039

Tabla 11. Cantidad de sustancia sobrante del metal en función del tiempo al reaccionar con HCl 1,0M a una temperatura de 46 °C. Elaboración propia

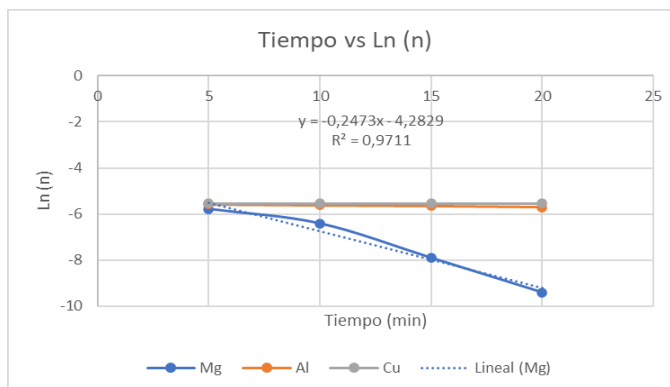


Figura 21. Pérdida de Mg, Al y Cu en la reacción con HCl 1M con respecto al tiempo a una temperatura de 46°. Elaboración propia

En esta tercera experiencia se modificó la temperatura del sistema (46°C) para observar su influencia en la velocidad de reacción y si llegaba a afectar también la afinidad entre las sustancias. Al comparar esta experiencia con el primer montaje, el cual se realizó a temperatura ambiente, se observa que la temperatura influye en la velocidad de reacción ya que hay mayor pérdida de reactivo en los mismos tiempos. Así mismo, es posible afirmar que la constante de velocidad se vio modificada en gran medida por dicha condición siendo a temperatura ambiente de  $k= 0,0713 \text{ min}^{-1}$  (figura 9) y a los 46°C de  $k=0,2473\text{min}^{-1}$  (figura 21). Sin embargo, es evidente que el aumento de la temperatura no modifica la afinidad química, en el sentido de que las sustancias reaccionan entre sí, siendo el Mg siempre el más afín con el ácido clorhídrico que el Al y Cu; es decir al no cambiar la naturaleza de las sustancias que interactúan, estas reaccionan de manera similar, presentando una mayor velocidad de reacción el Mg con el ácido, seguido de Al y Cu con HCl 1,0M, tal como sucede en los montajes anteriores.

Metal / HCl 1M	Reactivo restante (moles) en función del tiempo a temperatura ambiente			
	Tiempo			
	5 min	10 min	15 min	20 min
Mg	0,0035	0,0024	0,0016	0,0012
Al	0,0038	0,0038	0,0038	0,0037
Cu	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039

Resultados de la primera experiencia con HCl 1,0M a temperatura ambiente. Elaboración propia

En este sentido, la velocidad de reacción a 46°C es mayor, por ejemplo, a los 10 minutos hay una menor cantidad de magnesio (0,0016 mol), por lo que reacciona una mayor proporción que la que se combina con el mismo ácido a temperatura ambiente, pues hay una cantidad del metal superior (0,0024 mol) en el mismo tiempo. De manera análoga pasa con el aluminio, por ejemplo, a los 15 minutos hay una menor cantidad del metal (0,0035 mol) al reaccionar con ácido clorhídrico a 46°C,

por lo que se une una proporción mayor que la que reacciona con el mismo ácido a temperatura ambiente, pues hay una mayor cantidad del metal (0,0038 mol) en el mismo tiempo.

Pasados los 20 minutos se observa que la reacción tanto del magnesio como la del aluminio no ha culminado; sin embargo, hay una mayor pérdida de reactivo cuando se hace reaccionar a 46°C, en comparación con los resultados obtenidos a temperatura ambiente, donde se refleja una menor pérdida del metal en el mismo tiempo y, por tanto, una velocidad de reacción más lenta. Finalmente, no se observan cambios con el cobre, manteniéndose la cantidad inicial del metal.

El orden de mayor a menor actividad química teniendo en cuenta la afinidad como una forma de establecer este ordenamiento es igual como en las experiencias anteriores; por ejemplo, hay una mayor afinidad entre el magnesio y el ácido clorhídrico, ya que hay una menor cantidad del metal en cada uno de los tiempos; por tanto, la velocidad de reacción fue mayor que con el aluminio, pues éste se combinó en una proporción menor con el ácido, observándose una mayor cantidad del metal, dado que su velocidad de reacción fue más lenta y esto hace que sea menos afín con el ácido clorhídrico. En el caso del cobre, no hay fuerzas de afinidad que hagan que el ácido se descomponga dado que la afinidad entre el cloro y el hidrógeno es mayor que con el cobre.

En este sentido, la temperatura del sistema influye en la velocidad de reacción; es decir, al aumentar la temperatura, la velocidad de reacción se hace más rápida al observarse una menor cantidad de metal en función del tiempo. Esto está en concordancia con lo manifestado por Wilhelmy, quien afirma que la variación de la temperatura influye en la medición de la pérdida de reactivo en función del tiempo, dado que la reacción se produce más rápidamente. Sin embargo, al verse afectada la temperatura en el sistema, la afinidad entre los metales y los ácidos no cambia, manteniéndose el orden descrito anteriormente.

#### **Montaje 4. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo el volumen de gas obtenido teniendo en cuenta intervalos de tiempo**

**Objetivo:** Medir el volumen de gas producido en cada uno de los sistemas de reacciones a diferentes intervalos de tiempo con el fin de ordenar el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de aparición del gas.

#### **Metodología**

- Colocar en un balón con desprendimiento lateral una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu.
- Adicionar para cada balón 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL.
- Medir el gas producido a diferentes intervalos de tiempo: 1, 3, 5 y 7 minutos.
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones

#### **Observaciones**

En esta experiencia se recolecta el volumen de hidrógeno producido en las reacciones entre los diferentes metales y los ácidos clorhídrico y acético, ambos a una concentración de 1,0M. Es importante mencionar que dicha experiencia muestra resultados muy similares a las anteriores, por lo que corrobora la afinidad entre reactivos como el litio y el ácido clorhídrico y acético, de igual forma, la afinidad entre el magnesio y los mismos ácidos. Por otra parte, es evidente que el cobre junto a los ácidos no son afines, ya que en ninguna de estas situaciones es evidente el desprendimiento de hidrógeno, lo que nos permite afirmar que estas reacciones no se dan a estas condiciones o simplemente no sucede bajo ninguna condición. Con respecto al aluminio cuando



se modificó la temperatura del sistema (experiencia 3) se observó que se consumió este metal durante la reacción con los ácidos, por lo que es una reacción que seguramente ocurre bajo ciertas condiciones, lo que da cuenta de la afinidad entre estas sustancias.

Los resultados obtenidos en esta experiencia se presentan a continuación:

Metal	Ácido clorhídrico 1M			
	volumen de gas (mL) desplazado en unidad de tiempo			
	Tiempo (s)			
	5	10	15	20
Litio	20	30	35	42
Magnesio	5	8	16	28
Aluminio	0	0	0	0
Cobre	0	0	0	0

Tabla 12. Volumen de  $H_2$  desplazado en la reacción entre los metales con  $HCl$  1M a diferentes tiempos.  
Elaboración propia

Metal	Ácido acético 1M			
	Volumen de gas (mL) desplazado en unidad de tiempo			
	Tiempo (min)			
	1 min	3 min	5 min	7 min
Litio	5	27	35	39
Magnesio	3	20	29	34
Aluminio	0	0	0	0
Cobre	0	0	0	0

Tabla 13. Volumen de  $H_2$  desplazado en la reacción entre los metales con ácido acético 1M a diferentes tiempos.  
Elaboración propia

De estos resultados es importante mencionar que la afinidad siempre debe ser analizada entre varias sustancias, no es posible caracterizarla a partir de una sola reacción, ya que es desde la interacción con varias sustancias que se puede caracterizar y ordenar; asimismo, en esta experiencia se tuvo en cuenta la afirmación propuesta por Wilhelmy, en donde se relaciona la cantidad de producto obtenido con la afinidad química, siendo medida en diferentes tiempos con el fin de observar cuáles de los metales reaccionaban de manera más rápida, es decir, a un menor

tiempo con los ácidos dando como resultado un mayor número de moles de hidrógeno. Estos resultados se pueden detallar a continuación:

METAL	5 s	10 s	15 s	20 s
<b>Li</b>	0,00083 mol	0,0012 mol	0,0014 mol	0,0017 mol
<b>Mg</b>	0,00021 mol	0,00033 mol	0,00066 mol	0,0011 mol
<b>Al</b>	0 mol	0 mol	0 mol	0 mol
<b>Cu</b>	0 mol	0 mol	0 mol	0 mol

Tabla 14. Moles de hidrógeno obtenidas en la reacción entre los metales y ácido clorhídrico 1M. Elaboración propia

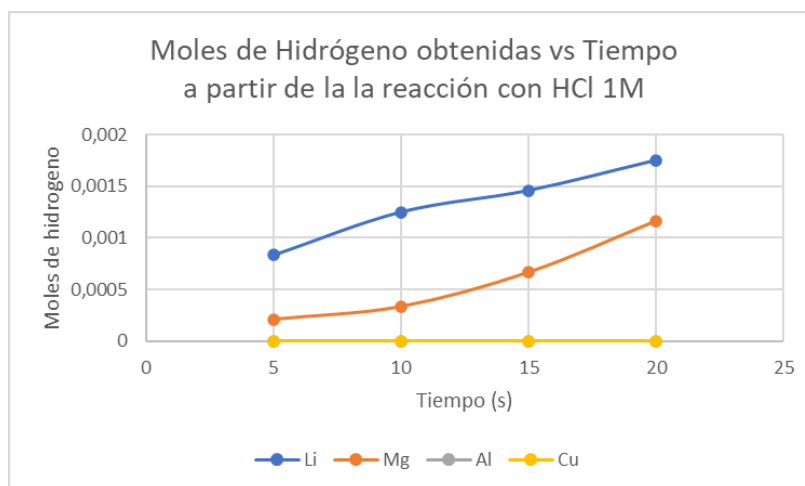


Figura 22. Cantidad de hidrógeno producido en la reacción entre Li, Mg, Al y Cu con HCl 1M. Elaboración propia

A partir de estos resultados donde el mayor producto obtenido en un menor tiempo lo tuvo el litio al reaccionar con HCl, es posible afirmar que estas dos sustancias son más afines con respecto a las demás interacciones entre los demás metales con el ácido, puesto que reacciona completamente a los 20 segundos, sin embargo, también se destaca la velocidad con la cual reacciona el Mg con el ácido, dando cuenta de la afinidad que existe entre estas dos sustancias al consumirse gran parte de él a los 20 segundos de iniciada la reacción.

Por otra parte, tal como se ha observado en las anteriores experiencias, el ácido con el cobre no son afines, por lo menos a estas condiciones a las cuales se llevaron a cabo las reacciones, produciendo 0 moles de hidrógeno, debido a que no hubo reacción en el transcurso de los 5 a los 20 segundos, tal como se evidencia en la gráfica. En el caso del aluminio tampoco hubo producción de hidrógeno, sin embargo, las experiencias anteriores dieron cuenta de una afinidad mínima con los ácidos al evidenciarse un consumo lento del metal en función del tiempo.

<b>METAL</b>	<b>1 min</b>	<b>3 min</b>	<b>5 min</b>	<b>7 min</b>
<b>Li</b>	0,00020 mol	0,0011 mol	0,0014 mol	0,0016 mol
<b>Mg</b>	0,00012 mol	0,00083 mol	0,0012 mol	0,0014 mol
<b>Al</b>	0 mol	0 mol	0 mol	0 mol
<b>Cu</b>	0 mol	0 mol	0 mol	0 mol

Tabla 15. Moles de hidrógeno obtenidas en la reacción entre los metales y ácido acético 1M. Elaboración propia

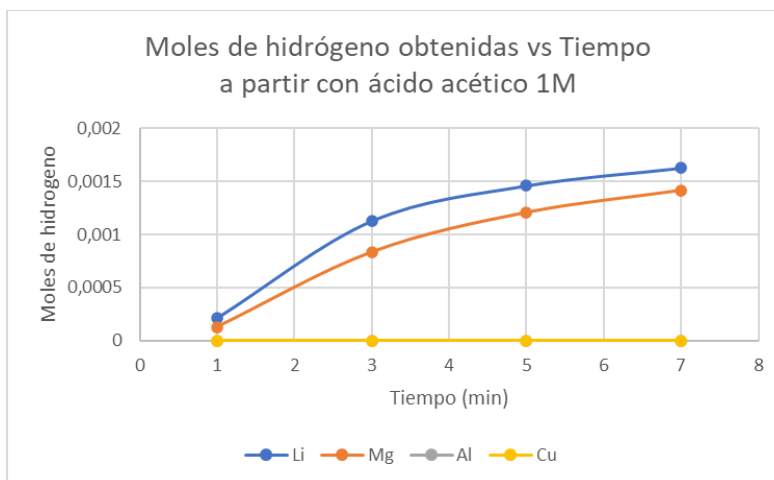


Figura 23. Cantidad de hidrógeno producido en la reacción entre Li, Mg, Al y Cu con  $CH_3COOH$  1M. Elaboración propia

De igual manera, en las reacciones entre el ácido acético y los metales, el comportamiento es muy similar a las anteriores interacciones. Fue evidente que el Li reacciona en un menor tiempo, seguido a él se encuentra el Mg, dando como producto hidrógeno, sin embargo, es importante

mencionar que estas reacciones con este ácido se llevan a cabo en un mayor tiempo con respecto a las realizadas con ácido clorhídrico, ya que no fue a los segundos que los metales se consumieron completamente, sino a los minutos, por lo cual podemos concluir que estos metales son más afines con el ácido clorhídrico que con el ácido acético a las mismas concentraciones. Al igual que la reacción anterior con HCl, con este ácido no hubo reacción con los metales Al y Cu hasta los 7 minutos.

Con respecto a la cantidad de moles de hidrógeno producidas en un menor tiempo, el metal que muestra resultados más favorables al reaccionar con el ácido acético es el Li, dicha observación ya se había hecho en la experiencia 1 y 2, sin embargo, se destaca que el comportamiento del Mg es similar, pero la producción de dicho gas es menor desde el minuto 1 al 7.

### **Montaje 5. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo la variación de la temperatura en un sistema cerrado**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar el fenómeno a partir de la velocidad de reacción y su relación con el calor al variar la temperatura en un sistema cerrado para dar cuenta de la afinidad química.

#### **Metodología**

- Colocar en diferentes calorímetros una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu.
- Adicionar 5,0 mL de HCl 1M. Para el cobre, adicionar 8mL.
- Agitar y medir la temperatura inicial
- Medir la temperatura a la cual llegó el sistema ( $T^{\circ}$  final).

- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12,0mL
- Registrar observaciones

### Observaciones

Las reacciones se llevaron a cabo en un sistema cerrado (calorímetro) con el fin de poder calcular el calor que podían generar; para ello se midieron los distintos cambios de la temperatura que se presentaron hasta llegar a un punto en el que se estabiliza. Los resultados se presentan a continuación:

Metal	Ácido clorhídrico 1M		Calor producido en la reacción
	T (°C) inicial	T (°C) final	
Litio	19	40	-6750,21 J
Magnesio	19	35	-5143,02J
Aluminio	19	22	-964,32J
Cobre	19	19	0J
Metal	Ácido acético 1M		Calor producido en la reacción
	T (°C) inicial	T (°C) final	
Litio	19	36	-5464,45J
Magnesio	19	32	-4178,7J
Aluminio	19	22	-964,31J
Cobre	19	19	0J

Tabla 16. Calor producido de la reacción entre el metal con el ácido. Elaboración propia

Los calores producidos por la reacción se determinaron basándonos en un análisis termodinámico, en donde la reacción se llevó a cabo en un calorímetro, instrumento que actúa como sistema cerrado para aislar la reacción del entorno. Este consistía en un envase aislante sellado, en donde se disponía del termómetro para evidenciar los cambios de temperatura interna en el sistema. Teniendo en cuenta que el calorímetro y la reacción química interactúan entre sí intercambiando

energía, se estudiaron asumiendo que uno de ellos absorbía calor y el otro lo producía. En este caso, las reacciones son de tipo exotérmicas, observación que se había realizado en los anteriores montajes al darnos cuenta de que liberaban calor, sobre todo las reacciones de Li y Mg. En ese sentido, el primer principio de termodinámica establece que el calor cedido es igual al calor absorbido, por ende, el calor absorbido por el calorímetro será igual al calor que ha producido la reacción:  $Q_{abs}=Q_{ced}$

Para hallar numéricamente los calores producidos por la reacción se determinó el calor absorbido por el calorímetro. La ecuación utilizada es la siguiente, en donde  $C_p$  es el calor específico del calorímetro que hace referencia a la capacidad de almacenar la energía interna, tal como lo menciona (Atarés, 2011) es la energía necesaria para incrementar en un grado la temperatura de algún material o sustancia,  $m$  la masa del calorímetro y  $\Delta T$  el cambio de la temperatura en el sistema:  $Q= m* C_p*\Delta T$

El calor específico del calorímetro (2,91cal) se determinó con el intercambio de energía entre este y una cantidad de agua específica, teniendo este dato y reemplazando en la ecuación anterior fue posible determinar el calor absorbido por el mismo al llevar a cabo la reacción química en su interior, el cual será igual al calor producido de reacción, este último con signo negativo debido a que se libera tal como se evidencia en la tabla 16. A partir de ello y teniendo en cuenta lo propuesto por Van Hoff, el calor producido por una reacción puede ser otro criterio que permite ordenar la afinidad de reacción entre sustancias, puesto que, a mayor calor producido, mayor será la afinidad entre las sustancias, teniendo en cuenta que para Vant'Hoff (1896) la cantidad de calor liberada es una medida del trabajo que se puede realizar por afinidad y; por ende, por la fuerza de afinidad en sí misma. Dicha afirmación se corrobora comparando las anteriores experiencias con esta última, en donde los resultados al ordenar las afinidades de los diferentes metales con los ácidos, es

evidente que el litio tiene una mayor afinidad tanto con el ácido clorhídrico como con el acético, produciendo más calor que las reacciones con los otros metales.

Partiendo de lo anterior, si se ordenan en todas las experiencias las afinidades de los metales con los ácidos, teniendo como criterio la velocidad de reacción y el calor producido por éstas, el litio y el magnesio tienen mayores afinidades que el Al y Cu. Es importante mencionar que en el caso del Al, no es que no sea afín con los ácidos; pero considerando estos criterios su afinidad es menor, por ende, requiere de ciertas condiciones para que dicha reacción se lleve a cabo, como el aumento en la temperatura (montaje 3), lo que indica que esta reacción no se lleva a cabo espontáneamente, pero el hecho de reaccionar bajo ciertas condiciones permite afirmar que es afín, no a tal grado como lo son Li y Mg, los cuales han reaccionado bajo distintas condiciones de variación de concentración y temperatura, liberando cantidades considerables de calor. Por otra parte, el Cu no ha reaccionado bajo ninguna condición con los ácidos empleados, por lo cual es posible afirmar que dicho metal no es afín con estas sustancias.

Así, teniendo en cuenta los resultados de la tabla anterior, el litio presenta mayor afinidad con el ácido clorhídrico que con el ácido acético, tal afirmación ha sido perceptible en las demás experiencias y en ésta, ya que cuando se calcula la cantidad de calor producido de reacción se observa que con el ácido clorhídrico fue de 6750,21J, mientras que con el ácido acético fue de 5464,45J, lo mismo sucede para el Mg, el cual presenta una mayor afinidad con el ácido clorhídrico. De igual manera, el magnesio es más afín en relación con el aluminio al reaccionar con el ácido clorhídrico, ya que produjo 5143,02J de calor y el aluminio 964,32J, por lo que el magnesio liberó 4178,7J más de calor. Así, el calor como una forma de medir la afinidad química permite establecer por cuánto es más afín un metal en relación con otro al reaccionar con un ácido.

En resumen, vemos que las reacciones de los metales con ambos ácidos tienen lugar en un tiempo determinado y la duración es diferente para cada reacción. De acuerdo con el análisis histórico-crítico de textos científicos y la actividad experimental, vemos como la velocidad de reacción se configura como una manera de medir la afinidad química. Así, cuando ocurren las reacciones entre las sustancias, se evidencia la pérdida de reactivo en función del tiempo, encontrando que el metal que tiene una mayor velocidad de desaparición es el litio, lo que da cuenta de su mayor afinidad con ambos ácidos. En este caso, el ácido se descompone ya que la afinidad entre el ión cloruro o el ión acetato y el litio es mayor que con el hidrógeno, privilegiando la formación de la sal y la producción de hidrógeno. Al comparar el magnesio y el aluminio, se evidencia que el magnesio mostró mayor afinidad con los ácidos al reaccionar mayor cantidad de sustancia, que la que reaccionó del aluminio con éstos bajo las mismas condiciones, por tanto, su velocidad de reacción fue mayor. En el caso del cobre, este no reaccionó con ningún ácido por lo que no hay fuerzas de afinidad entre estos, es decir, la afinidad entre ion cloruro o el ion acetato con el hidrógeno es mayor que con el cobre.

De igual manera, un metal reacciona más rápido con un ácido que con el otro debido a las fuerzas de afinidad entre las sustancias; por ejemplo, la afinidad del magnesio por el ácido clorhídrico es mayor considerando que la velocidad de reacción se ejerce más rápido que con el ácido acético, pues, en los diferentes tiempos, se evidencia menos reactivo ya que ha reaccionado una cantidad mayor que la que se transformó con el ácido acético en los mismos tiempos.

También vemos que el calor de reacción es otra forma de medir la afinidad química al tener en cuenta los postulados de Vant'Hoff, quien afirma que la cantidad de calor liberada es una medida de la fuerza de afinidad entre sustancias. Así, vemos que, al igual que las experiencias donde se tuvo en cuenta la velocidad de reacción como magnitud de la afinidad, el litio es más afín en



relación con el magnesio al reaccionar con ácido clorhídrico, ya que la cantidad de calor liberado fue de 6750,21J, mientras que con el magnesio fue de 5143,02J, por lo que el litio es más afín por 1607,19J más de calor producido. De igual manera, encontramos que el litio fue más afín con HCl que con el ácido acético, dado que la cantidad de calor producido con el acético fue de 5464,45J, evidenciándose 1285,76J más de calor producido con ácido clorhídrico.

Al modificar las concentraciones de los ácidos o la temperatura del sistema, se observa que estas condiciones afectan la velocidad de reacción: A medida que aumenta la concentración del ácido o la temperatura, la velocidad de reacción aumenta, ya que se encuentra una menor cantidad del metal en función del tiempo. Sin embargo, al verse afectada la velocidad por la concentración del ácido o la temperatura, la afinidad entre los metales y los ácidos no cambia, tal como se mencionó anteriormente, su naturaleza no se modifica bajo estas condiciones, siguen siendo las mismas sustancias y, por tanto, interactúan entre sí.

Desde esta perspectiva, la afinidad no cambia en ninguna de las experiencias estableciéndose el orden de mayor a menor actividad química entre las sustancias como sigue: El litio es el más afín, pues su reacción procedió más rápidamente que las demás y fue la reacción que liberó una mayor cantidad de calor, el aluminio es el menos afín con los ácidos, ya que la reacción fue más lenta que la ocurrida con el magnesio, al observarse mayor cantidad del metal en los mismos tiempos; además, fue la reacción que liberó una menor cantidad de calor y el cobre no reaccionó con los ácidos porque no hay fuerzas de afinidad entre las sustancias.

Con las experiencias propuestas se presenta una manera de estudiar las transformaciones químicas desde la observación, el análisis y el cuestionamiento. Dichas experiencias se propusieron desde las conceptualizaciones construidas a partir del análisis de trabajos que se han realizado a lo largo del tiempo para generar explicaciones y comprensiones en torno a la reactividad. En un primer

momento nos cuestionamos sobre la manera en la que podíamos comprender el fenómeno y a medida que realizamos los procesos de análisis llegamos a una magnitud que para nosotras es la base de las explicaciones que podíamos generar para hablar de reactividad y dar respuesta a los cuestionamientos iniciales que se mencionan en el capítulo II. La afinidad química se considera entonces como el punto de llegada a la hora de hablar de reactividad, siendo esta la causa por la que las sustancias interactúan para la formación de otras. Los desarrollos conceptuales propuestos por varios autores como Wenzel y Van 't Hoff contribuyeron a la medición de esta magnitud desde la velocidad y el calor producido de reacción, con el fin de formalizar la reactividad para llevarla al aula no solo desde una perspectiva que se limite a la teoría con presupuestos que se presentan como incuestionables.

En ese sentido, la afinidad química es considerada como la razón por la cual las sustancias pueden interactuar, no es comprendida como una propiedad ya que no es propia de la sustancia, sino que es posible hablar de esta magnitud cuando nos referimos a la relación de una sustancia con otra. Vemos como estas actividades experimentales posibilitaron la construcción de explicaciones hacia la comprensión del fenómeno, involucrando elementos que se han madurado conceptualmente como la afinidad química y su relación con las velocidades de reacción y calores producidos como formas de organizar el fenómeno, partiendo del cuestionamiento para su posterior clasificación, ordenación y medición del mismo con el fin de contribuir a la ampliación y a la formalización de la experiencia del sujeto.

## VI. SISTEMATIZACIÓN DE LA RUTA DE AULA

El proceso de sistematización es un ejercicio personal y de empoderamiento del maestro. Es una estrategia que nos permite comprender y reflexionar sobre nuestra propia práctica, pues de acuerdo con Mejía, M (s.f) la sistematización:

Es una construcción desde las voces de los actores y en su propio tono y narrativa. Va a ser esa capacidad de dar cuenta de su quehacer mediante el cual los actores de práctica se convierten en actores de sistematización. No es solo dar cuenta de qué se hace, sino también de sus sentidos y significados (p.14)

Las reflexiones finales sobre nuestro quehacer se reconocen como particularidades que se derivan del ejercicio de sistematización de la propuesta de aula, donde se ponen en juego unos elementos que han madurado conceptualmente tras al acudir a los estudios histórico-críticos de textos científicos y a la actividad experimental; por ejemplo, en nuestro caso particular, la velocidad y los calores producidos de reacción, considerados necesarios de abordar para comprender la afinidad química, se trabajan con los estudiantes y de allí surgen relaciones emergentes que permiten reflexionar sobre nuestra práctica y aportan a la formación docente; por lo tanto, Dell Hymes (1972) citado en Busquets (1994) sostiene que no se trata de generalizar la particularidad, sino de particularizar la generalidad y “reconocer la manera en que lo genérico se expresa ‘en’ cada caso” (p.2). Así, cuando hacemos una implementación de aula intencionada, planeada y dirigida tenemos unos presupuestos que orientan nuestra propuesta de aula y sobre lo cual se habla.

Estas ideas que se ponen en juego en la actividad de aula fueron construidas al acudir a los textos científicos y posibilitaron diseñar diferentes actividades experimentales para ampliar nuestras comprensiones y explicaciones del fenómeno con base en unas relaciones establecidas entre

afinidad, velocidad y calores de reacción como una manera de organizar el fenómeno y poder construir nuevos modos de pensar y hablar del mismo. Esto repercute en la manera cómo pensamos nuestra práctica al modificar las formas en que nos relacionamos con esta, configurando un discurso pedagógico y disciplinar que redimensiona nuestras acciones en el aula.

Vemos como la sistematización es un proceso diferente de la evaluación, la cual pretende medir lo que realizamos en el aula con respecto a lo que queremos lograr. De acuerdo con Jara, O (2018) la evaluación busca “analizar, medir o valorar los resultados obtenidos, confrontándolos con el diagnóstico inicial y los objetivos o metas que se habían propuesto al comienzo, identificando las brechas entre lo que se planificó y lo que se consiguió al final” (p.116). Se reconoce, entonces, que la sistematización tiene otros horizontes y que, por tanto, es diferente a otros procesos como la evaluación o la investigación.

Mejía, M (s.f.) afirma que la sistematización rechaza la idea de progreso ya que lo que busca es la comprensión de las prácticas desde los sentidos y significados del sujeto. Desde esta perspectiva, nuestro ejercicio de sistematización no es un ejercicio de evaluación, pues no tenemos la intención de verificar que la propuesta de aula fue efectiva y que puede implementarse en cualquier aula de clase, pues esto depende de las condiciones internas (del contexto) y externas (condiciones sociales, económicas y culturales), de las disposiciones subjetivas, de los actores, entre otros. La intención que tenemos es poder dar cuenta de nuestro quehacer en el aula, de nuestros sentidos y significados a través de la comprensión y reflexión de las prácticas de enseñanza.

En este orden de ideas, nuestra sistematización es una recuperación de la experiencia de la práctica, es un ejercicio que nos posibilita comprender y reflexionar sobre nuestro quehacer y cuestionarnos sobre cómo pasaron las cosas y por qué pasaron de esa manera con el fin de repensar y transformar

la práctica docente. Asimismo, nos orienta en la construcción de un discurso pedagógico y disciplinar acorde a nuestras intenciones, reestructurando nuestras acciones en el aula para dar cuenta de ellas y contribuir a la producción de conocimientos científicos.

Para el proceso de sistematización se definen las siguientes cuestiones de análisis:

	<b>Cuestiones</b>	<b>Descripción</b>
1	<b><i>El significado de afinidad</i></b>	A partir del diálogo con los autores encontramos que existen diferentes maneras de hablar de la afinidad química, la cual no está contemplada en el currículo de ciencias y de la que creíamos, inicialmente, era una propiedad de las sustancias. Es en este punto que nos cuestionamos sobre: ¿Qué significado terminó teniendo la afinidad en el aula? ¿De qué manera se está hablando de la afinidad? para lo cual acudiremos a la actividad experimental, las explicaciones realizadas por los estudiantes y de los estudios histórico-críticos para dar cuenta de este fenómeno.
2	<b><i>Ordenamiento del fenómeno: Mayor a menor reactividad química</i></b>	Uno de los cuestionamientos que emergieron durante el análisis histórico – crítico era si el orden de las reacciones entre los metales y los ácidos a partir de la afinidad química es el mismo al variar las condiciones experimentales de concentración y temperatura. Por tanto, surgen otras preguntas como: ¿Cuál es la importancia de ordenar el fenómeno? y ¿cómo la experimentación confiere elementos para realizar esta ordenación? De acuerdo con Sandoval et.al, (2018): <i>La experiencia ordenada es aquella que produce discriminaciones, delimitaciones, ordenaciones y agrupaciones, todas estas operaciones son fundamentales en la construcción de magnitudes y formas de medida de los fenómenos que estudiamos (p.15)</i> Por consiguiente, establecer una ordenación en relación con la mayor o menor actividad química entre sustancias, hace posible hablar del fenómeno al proporcionar formas de medida para formalizar la experiencia.

3	<p style="text-align: center;"><b><i>Medidas de la afinidad</i></b></p>	<p>Para ordenar de mayor a menor actividad química entre sustancias debemos acudir a las formas de medida de la afinidad química; por consiguiente, esta última cuestión de análisis surge al plantearnos las maneras de medirla. En la construcción del análisis histórico- crítico encontramos la postura de diversos científicos, principalmente la de Wenzel, quien sustenta que la velocidad de reacción es una medida de la afinidad entre las sustancias. Otra manera de medir la afinidad es a partir de los calores producidos de la reacción, planteada por Vant'Hoff. Aquí es donde se plantea el problema conceptual respecto a la comprensión de la relación entre velocidad y calores de reacción con afinidad química, por lo que se acude a la actividad experimental para construir explicaciones que den cuenta de dicha relación.</p>
---	---	--

*Tabla 17. Cuestiones de análisis para el proceso de sistematización. Elaboración propia*

### **Fase I: ¿Cómo ocurren las reacciones químicas?**

En esta primera fase encontramos la experiencia 1 (reacciones entre Al, Mg, Li, Cu con el ácido clorhídrico y ácido acético) y la experiencia 4 (reacciones entre los mismos ácidos y metales midiendo el volumen de gas obtenido teniendo en cuenta intervalos de tiempo), en donde se realizó su análisis respecto a las cuestiones establecidas anteriormente. Sin embargo, consideramos importante mencionar que se realizó un ejercicio preliminar de discusión en relación con las observaciones de cada una de las reacciones entre los diferentes metales y los ácidos. Encontramos grupos donde retoman una o más observaciones del fenómeno abordado; por ejemplo, el grupo G1 hace hincapié en la *velocidad de reacción* al mencionar que: “*Los cambios que se presentaron fueron variados, desde reacciones rápidas, reacciones lentas y otras que se quedan igual*”, en

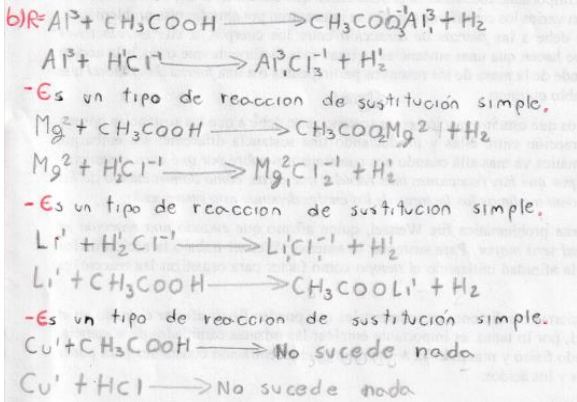
tanto que el grupo G4 resalta varias observaciones como: *descomposición del elemento inicial*, haciendo referencia a la desaparición del metal en relación con el tiempo, *desprendimiento de un gas*, al relacionarlo con el burbujeo en la reacción y, en concordancia con el grupo anterior, hacen alusión a la *velocidad de reacción*, pero realizan un ejercicio inicial de *clasificación*, al mencionar que uno de los metales (litio) reacciona más rápido con los ácidos en comparación con otro (aluminio), afirmando que *“Los cambios que pudimos observar van dirigidos hacia la descomposición del elemento inicial, el tiempo que conlleva y así mismo la rapidez con la que actúa el ácido con el elemento, como se pudo observar el litio junto con los dos ácidos reaccionó más rápido que en el caso del aluminio pudimos analizar como el gas se desprendía y así mismo como el elemento se disolvía”*.

De manera análoga, el grupo G5 también resalta la pérdida de masa en unidad de tiempo y hacen un ejercicio de clasificación de las reacciones en relación con su velocidad al realizar expresiones como *“la reacción fue muy eficiente y rápida”* *“no hubo cambios y todo permaneció igual”*: *“En las reacciones ocurrieron cambios y procesos sorprendentemente distintos, en el caso de aluminio (Al) y Magnesio (Mg) la cantidad de masa disminuyó conforme al avance del tiempo, en el caso del litio (Li) la reacción fue muy eficiente y rápida, sin embargo, la reacción con Cobre (Cu) no tuvo frutos diferentes, no hubo cambios y todo permaneció igual”*. El grupo G2 también realiza un ejercicio de comparación, al mencionar que uno de los metales (litio) reaccionó más rápido con el ácido clorhídrico que con el ácido acético, al disolverse más rápido. También resaltan que, en la reacción de litio con los ácidos, el tubo de ensayo se calentó, haciendo referencia a una *reacción exotérmica*: *“Se pudo observar que de los 4 elementos el litio fue el que tuvo una reacción más rápida con HCl a comparación del ácido acético, pues se disolvió rápido y el tubo de ensayo se calentó”*

En este primer ejercicio se formalizó la observación como producto de la relación entre el sujeto y el objeto, ya que las observaciones acerca de cómo ocurren las reacciones y los cambios que acontecen no hubiesen sido posibles si se prioriza únicamente la fundamentación teórica; por tanto, acudir a la práctica experimental hace que el sujeto se relacione con el objeto y, en dicha relación, se construya el fenómeno que va variando al mismo tiempo que la relación sujeto - objeto va cambiando. Así, los modos de pensar, hacer y hablar del fenómeno aparecen por la interacción que hay entre sujeto – objeto y no es posible concebirlo como algo externo al sujeto. De este modo, las observaciones de los cambios que se producen en las reacciones entre metales y ácidos: El cambio de color, el desprendimiento de un gas, la liberación de calor, la velocidad de reacción diferente para cada sistema y la cantidad de masa que disminuye en función del tiempo; fueron posibles por la relación de los sujetos con el fenómeno.

Cuando los estudiantes se relacionaron con el fenómeno observaron varios cambios como los mencionados anteriormente; sin embargo, no lograron asociar; por ejemplo, la presencia de burbujas con la liberación de hidrógeno o el cloruro de litio como la solución acuosa de coloración blanca. Por tal razón, proponemos el planteamiento de la ecuación química a los estudiantes para que reconozcan las sustancias que se obtienen en cada reacción y lo vinculen con las observaciones de la actividad experimental. De igual manera, se les propuso a los estudiantes que establezcan el tipo de reacción una vez formulada la ecuación química para que construyan sus explicaciones sobre cómo ocurren las reacciones químicas. A continuación, se citan algunos registros relacionados:



Registro	Interpretación
<p data-bbox="245 239 737 310">Escriba la ecuación química para cada reacción ¿Qué tipo de reacción es?</p> <p data-bbox="203 365 256 394"><b>G5:</b></p> <p data-bbox="203 401 764 436"><math>Al^{+3} + (CH_3COO)^{-1}H^{+1} \rightarrow CH_3COO_2Al^{+3} + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 449 672 485"><math>Al^{+3} + H^{+1}Cl^{-1} \rightarrow AlCl_3 + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 497 773 533"><math>Mg^{+2} + (CH_3COO)^{-1}H^{+1} \rightarrow CH_3COO_2Mg^{+2} + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 539 672 575"><math>Mg^{+2} + H^{+1}Cl^{-1} \rightarrow MgCl_2 + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 581 773 617"><math>Li^{+1} + (CH_3COO)^{-1}H^{+1} \rightarrow CH_3COOLi^{+1} + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 623 672 659"><math>Li^{+1} + H^{+1}Cl^{-1} \rightarrow LiCl + H_2</math> Reacción de sustitución simple</p> <p data-bbox="203 665 375 701"><math>Cu + (CH_3COO)^{-1}H^{+1}</math></p> <p data-bbox="203 707 326 743"><math>Cu + H^{+1}Cl^{-1}</math></p> <p data-bbox="203 758 256 787"><b>G6:</b></p>  <p data-bbox="203 800 688 835"><math>Al^{+3} + CH_3COOH \rightarrow CH_3COO_2Al^{+3} + H_2</math></p> <p data-bbox="228 842 591 877"><math>Al^{+3} + HCl^{-1} \rightarrow AlCl_3 + H_2</math></p> <p data-bbox="217 884 748 919">-Es un tipo de reacción de sustitución simple.</p> <p data-bbox="228 926 688 961"><math>Mg^{+2} + CH_3COOH \rightarrow CH_3COO_2Mg^{+2} + H_2</math></p> <p data-bbox="228 968 591 1003"><math>Mg^{+2} + HCl^{-1} \rightarrow MgCl_2 + H_2</math></p> <p data-bbox="217 1010 748 1045">-Es un tipo de reacción de sustitución simple.</p> <p data-bbox="228 1052 591 1087"><math>Li^{+1} + HCl^{-1} \rightarrow LiCl + H_2</math></p> <p data-bbox="228 1094 688 1129"><math>Li^{+1} + CH_3COOH \rightarrow CH_3COOLi^{+1} + H_2</math></p> <p data-bbox="217 1136 748 1171">-Es un tipo de reacción de sustitución simple.</p> <p data-bbox="228 1178 672 1213"><math>Cu^{+1} + CH_3COOH \rightarrow</math> No sucede nada.</p> <p data-bbox="228 1220 613 1255"><math>Cu^{+1} + HCl \rightarrow</math> No sucede nada.</p>	<p data-bbox="802 239 1414 653">Aquí se puede analizar que los estudiantes hicieron uso de saberes, pues todos los grupos acudieron a los estados de oxidación y a la ley de aspas para formar los productos correspondientes y poder asociarlo entonces con lo observado experimentalmente. Una vez formulada la ecuación química establecieron el tipo de reacción como una reacción de sustitución simple para poder explicar cómo ocurren las reacciones químicas.</p> <p data-bbox="802 701 1414 1031">Se evidenció que los estudiantes vincularon lo observado experimentalmente con lo simbólico, pues en todos los grupos la reacción de cobre con ácido clorhídrico o acético no se produjeron cambios, por lo que dejaron la reacción sin colocar algún producto o escribieron “no sucede nada”, precisamente porque no se evidenció una transformación química.</p>

En este punto emerge lo que para nosotras es una necesidad, la necesidad de que los estudiantes logren vincular lo observable con la transformación de las sustancias y los productos de reacción, por lo que se propuso la ecuación química para que relacionen lo experimental con lo simbólico, puesto que consideramos que esta expresión es un camino hacia la identificación de las sustancias que se producen. De acuerdo con lo anterior, este aspecto no debe ir aislado de lo experimental, más bien, lo observable y lo simbólico tienen una relación y la ecuación es una expresión de este vínculo. Es importante mencionar que al emplear dichas maneras de abordar las reacciones para dar cuenta de cómo ocurren, se construyen elementos de generalización en la medida en que los

estudiantes logran construir las ecuaciones en otras situaciones en donde encuentran similitudes en los modos de reaccionar de las sustancias, basándose en las observaciones que se hacen y en las maneras de expresar dichas vivencias; es decir, en nuestro caso particular, al encontrar eventos comunes entre las reacciones de los ácidos y los metales, como la asociación del burbujeo con la producción de hidrógeno. Esto un elemento valioso que se genera al vincular lo simbólico con lo experimental, ya que no se trata de comprobar, sino de construir elementos conceptuales que ayuden a extender la explicación a otros tipos de reacciones.

Desde esta perspectiva, consideramos que en la enseñanza de la química estos dos aspectos no son caminos separados, pues incluso en nuestra experiencia hemos visto que cuando abordamos las reacciones químicas únicamente con lo simbólico, es decir, representando ecuaciones y categorizándolas en reacciones de sustitución, doble sustitución, síntesis, descomposición, entre otras; su aprendizaje se torna memorístico y mecánico, por tanto, los estudiantes no lo cuestionan y mucho menos generan explicaciones sobre este fenómeno. En este sentido, se hace relevante la representación de las reacciones, relacionando el lenguaje simbólico con las dinámicas e interacciones entre las sustancias, con el fin de conseguir un sistema de relaciones que dé cuenta de un cambio químico que depende de condiciones experimentales que lo hacen posible y que son proporcionadas por la actividad experimental.

Con respecto a la **cuestión 1: concepto de afinidad**, se evidencia que los estudiantes asocian la palabra *afinidad* con el término *atracción*: “*El litio tiene mayor afinidad/atracción con el cloro, formando cloruro de litio y se desprende el hidrógeno*”, al ver que las sustancias con cargas contrarias se combinan y forman los respectivos productos, pues afirman que hay una mayor atracción entre el metal y el anión (ya sea el ion cloruro o el ion acetato) por lo que se juntan para obtener la respectiva sal y la liberación de hidrógeno.

Esto nos hace reflexionar sobre la manera en la que se ha enseñado la reactividad química en el aula, pues a la hora de explicar cómo se forma un compuesto se acude a que las cargas opuestas se atraen formando una nueva sustancia, considerándose una manera sencilla de explicar cómo las sustancias reaccionan entre sí. Sin embargo, partiendo del diálogo que establecimos con los autores de los textos científicos, podemos abordar la reactividad química como un fenómeno que se puede clasificar y ordenar cuando se acude a la afinidad química en virtud de sus velocidades o calores producidos, como lo veremos más adelante.

Los estudiantes hicieron uso de la palabra afinidad desde un inicio, palabra que no hace parte del lenguaje común de ellos y no está incluida en los currículos de ciencias en la educación básica y media, por lo que fue inducida por nosotras, ya sea por el discurso empleado en el aula o por la lectura que se les facilitó, con el fin de que se relacionarán con ella desde un principio sin asociarla con las diferentes nociones que existen sobre la misma, pero que los estudiantes la vincularon con la atracción entre sustancias. Estas maneras de pensar y hablar la afinidad van transformándose durante el desarrollo de la ruta de aula, reflejándose, principalmente, en la fase 3.

En la **cuestión 2: ordenamiento del fenómeno**, identificamos que los estudiantes definieron dos criterios para ordenar de forma descendiente la actividad química entre las sustancias, tal como sigue: Litio, magnesio, aluminio y cobre. Primero, la pérdida del metal y la aparición del hidrógeno en función del tiempo. Para los estudiantes esta disminución del metal depende de la *interacción entre las sustancias*, pues se encuentran expresiones como: “*El cobre no cambia* (es decir, no hubo modificaciones en su masa inicial cuando interactuó con ambos ácidos), *pero si se evidencia la disminución de la masa en otras interacciones entre sustancias, por ejemplo, el litio con el ácido clorhídrico*”. Además, establecen vínculos tales como “*Parece ser que la relación que se puede establecer es que a mayor tiempo transcurrido más cantidad de hidrógeno es producido en la*

*reacción, ya que a medida que pasaba el tiempo más volumen de agua en la probeta era desplazado*". Segundo, la velocidad tanto de la desaparición del metal como de la aparición del hidrógeno en unidad de tiempo, al encontrar expresiones como: *"En algunos ocurrió de forma más rápida (haciendo referencia a la disminución de la cantidad del metal y a la aparición del gas), como el litio"*, *"Entre mayor velocidad de reacción, más rápido disminuye la cantidad del metal"* y *"más cantidad de hidrógeno es producido en un menor tiempo"*.

La ordenación, como parte del proceso de medición, es un elemento significativo para la comprensión del fenómeno al poderlo ordenar, en nuestro caso particular, de mayor a menor actividad química entre las sustancias a partir de los elementos de organización que nos proporciona la actividad experimental cuando acudimos a ella, como lo es la velocidad de desaparición del metal en función del tiempo. Cabe mencionar que antes de efectuar un ejercicio de ordenación, se realiza una clasificación como se evidencia en los registros; es decir, qué metales son afines y cuáles no al relacionarse con los respectivos ácidos y; posteriormente, se ordena el metal de mayor a menor afinidad en relación con otro. Así, la clasificación y la ordenación contribuyen en la construcción de diferentes maneras de hablar del fenómeno y; por ende, en la concreción de planteamientos conceptuales sobre el mismo. Además, de acuerdo con Malagón et.al, (2011): "La preocupación por la organización y la comprensión de los fenómenos, demanda no sólo nuevas comprensiones de las disciplinas que se enseñan sino también nuevas maneras de abordar la actividad experimental en la clase de ciencias" (p.7)

Los elementos de ordenación que promovemos con la actividad experimental están cruzados por los elementos significativos que destacamos en los textos científicos estudiados, por tanto, se vuelve importante el vínculo que se logra establecer entre lo teórico y la práctica para la construcción de explicaciones. En este orden de ideas, consideramos que, si nuestras explicaciones

en el aula se limitan a lo teórico sin promover la observación o el cuestionamiento del fenómeno, sino centrándonos únicamente en las ecuaciones químicas, expresiones matemáticas y privilegiando una dicotomía entre la teoría y la práctica, estamos privando la transformación de la experiencia y la elaboración de explicaciones que den cuenta de la comprensión del fenómeno. Además, estos elementos que nos confiere el trabajo experimental para ordenar el fenómeno y ampliar la experiencia sensible de los sujetos no hubiesen aparecido ante nosotros si se presenta el conocimiento científico como un conocimiento inmodificable, estático, verdadero y absoluto; y la actividad experimental como un ejercicio que se reduce a la verificación de conceptos teóricos.

Conforme con lo anterior, el ordenamiento de mayor a menor actividad química entre las sustancias en función de su velocidad de reacción se hace posible cuando acudimos a la actividad experimental ya que la fundamentación teórica se queda corta al proporcionar dichos elementos para ordenar el fenómeno. Así, el trabajo experimental juega un rol importante en nuestro quehacer pedagógico para la construcción de explicaciones teniendo en cuenta lo que observamos y cuestionamos cuando nos relacionamos con el fenómeno.

En la **cuestión 3: medidas de la afinidad**, observamos que los estudiantes establecen una relación entre velocidad de reacción y afinidad entre sustancias, ya que asocian la pérdida del metal y la producción de hidrógeno con la velocidad de reacción como algo que depende de la atracción que existe entre las sustancias, por lo que afirman que las reacciones tienen tiempos diferentes, al observar que la pérdida del metal se da más rápido en unas reacciones que en otras, asociando este hecho con la atracción: *“Las reacciones tienen tiempos diferentes dependiendo de la atracción entre los elementos, a mayor atracción, menor tiempo y mayor velocidad de consumo del metal y viceversa”*, *“(…) un claro ejemplo es el del litio, el cual tiene una gran afinidad (atracción) con el ácido clorhídrico a comparación del ácido acético ya que se disolvió más rápido”*. Estas

explicaciones están relacionadas con los textos científicos de Wenzel y Berthelot - Saint Gilles, quienes expresan la velocidad de reacción como una manera de estimar la afinidad entre las sustancias, lo cual se detallará en la siguiente fase.

La medición se tiene en cuenta para establecer relaciones que nos permitan construir y formalizar el fenómeno, reconociendo el experimento como una actividad donde no es posible aislar los componentes cuantitativos y cualitativos, sin embargo, es notorio la separación entre lo experimental y lo teórico en el aula, donde se ven inmersos dichos componentes, dando mayor relevancia a lo cuantitativo sin ahondar en las cualidades del fenómeno, contemplando poca relación entre las magnitudes y las características del mismo, lo que genera dificultades a la hora de pensar el fenómeno, analizarlo, describirlo y generar explicaciones sobre el mismo.

En este sentido, la medición tiene un carácter cualitativo en vista de que hace referencia a una cualidad del fenómeno y, por otra parte, tiene un carácter cuantitativo, puesto que, en cierta parte del proceso, la cualidad es analizada y pensada en grados o intensidades (Malagón et.al, 2011), por lo que para construir la magnitud es importante examinar y comprender las cualidades que se relacionan, con el fin de consolidar las formas de medir el fenómeno y el desarrollo de supuestos teóricos que permiten ampliar el campo fenomenológico.

Es importante mencionar que, en esta fase, la medición se expresa en relaciones de orden a partir de que tan rápido se presenta una reacción con respecto a otra, partiendo de que la velocidad de reacción es considerada como una magnitud de la afinidad química. En esta fase la velocidad no es pensada en términos cuantitativos, pues no se establecen diferencias de grados o intensidades para determinar por cuánto es más afín un metal en relación con otro al reaccionar con un ácido.

De acuerdo con el análisis de esta primera fase, se derivan dos relaciones emergentes: El primero es la dualidad teoría – experimento, el cual se señaló anteriormente, puesto que nos hizo comprender que la afinidad se emplea para designar las relaciones que presentan las sustancias, por lo que no es considerada una propiedad sino una relación, ya que no es más afín para sí misma, sino es más afín en relación con otra sustancia, reflejado en las explicaciones elaboradas tanto por los estudiantes como por nosotras al acudir a la actividad experimental. Del mismo modo, esta dualidad se evidenció al encontrar explicaciones que están cruzadas con los científicos de los textos históricos analizados.

Según Malagón et.al, (2011) *“No hay tal camino de la teoría a la práctica o viceversa, sino que la actividad experimental está cargada de presupuestos teóricos a la vez que las teorías científicas exhiben una carga experimental importante”* (p.64) Por tanto, se hace indispensable la actividad experimental en las clases de ciencias que, aunque se vean limitadas por las condiciones del contexto, se deben articular con la actividad teórica para construir lenguajes que permitan hablar y comprender el fenómeno con el fin de organizar y ampliar la experiencia. Lo anterior, nos hace reflexionar sobre la importancia de construir nuevas maneras de abordar la actividad experimental en el aula.

La segunda relación emergente es la vinculación entre el experimento con lo simbólico, por ejemplo, los estudiantes no formularon la ecuación química para la reacción del cobre ya que no observaron algún cambio en su interacción con los ácidos, asociando este hecho con la atracción entre las sustancias: *“En este caso el cobre no reacciona con el ácido clorhídrico, pues el cloro y el hidrógeno tienen mayor atracción”*. En este sentido, consideramos que lo simbólico tiene valor en la enseñanza de la química cuando está vinculado con la actividad experimental para poder construir explicaciones que den cuenta del fenómeno, pues de acuerdo con Sandoval et.al, (2018)

“la asignación simbólica que se hace a través del lenguaje da forma a la comprensión del fenómeno y es un elemento constituyente” (p.15), por lo que se amplía y se consolida las formas de entender el fenómeno.

Para culminar esta primera fase, se planteó el siguiente interrogante: *¿Qué espera que ocurra en la reacción entre el metal y el ácido si se modifica alguna condición experimental como la cantidad de sustancia, la temperatura o la concentración?* con el propósito de conocer las ideas y opiniones iniciales de los estudiantes. Así, al analizar algunos registros encontramos las siguientes afirmaciones:

El grupo G3 y G5 tienen en común el siguiente supuesto: Sí se aumenta la concentración del ácido, la masa se consume más rápido y el tiempo de reacción será menor: *“A mayor concentración del ácido, la masa del metal se disuelve más rápido. Si se aumentará la concentración del ácido, el tiempo de reacción sería menor”* En el grupo G4 y G5 tienen en común el siguiente supuesto: Al aumentar la temperatura, el metal se diluye más rápido y de manera más eficiente: *“Si ponemos el tubo de ensayo en baño maría, es decir, aumentando la temperatura, es posible que el metal se disuelva con mayor rapidez. En el caso de la temperatura, al aumentarla, el metal se diluye de manera más eficiente”*. Sin embargo, también se encontraron algunas diferencias en las opiniones de algunos grupos que nos llamaron la atención: Para el grupo G1, al modificar la concentración y la temperatura, no afecta la afinidad: *“Nada afecta la afinidad, la reacción siempre se completará”* en tanto que para el grupo G2, la afinidad se ve afectada: *“Al aumentar la temperatura, el metal se diluye más rápido y se mantendría mayor afinidad”* Estas ideas se tendrán en cuenta en la fase II, al abordar las experiencias 2 y 3.



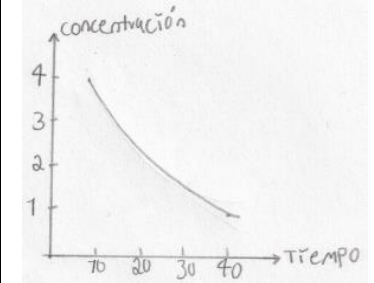
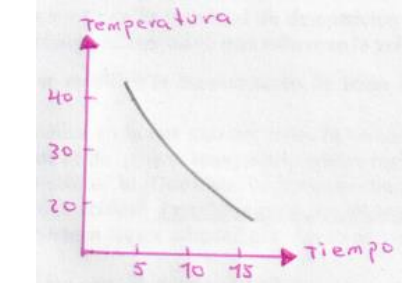
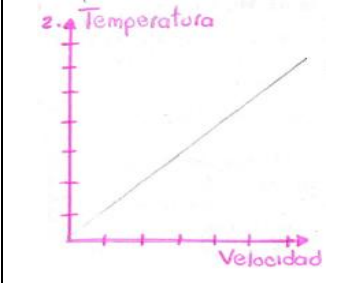
## Fase II: ¿Qué condiciones afectan la velocidad de un sistema de reacciones?

En esta segunda fase encontramos la experiencia 2 (reacción de ácido clorhídrico y ácido acético a diferentes concentraciones con Al, Mg, Li, Cu) y la experiencia 3 (reacción entre los mismos ácidos y metales, pero variando la temperatura del sistema). Su análisis se realizó a partir de las cuestiones definidas para este ejercicio de sistematización; pero, en primer lugar, trataremos la influencia de la concentración y la temperatura en la velocidad de reacción, teniendo en cuenta que son condiciones experimentales que la afectan de acuerdo con Wenzel y Wilhelmy.

Una de las cuestiones que se formuló para la segunda experiencia fue *¿Qué sucede con la velocidad de reacción cuando se modifica la concentración de ácido clorhídrico y acético?*, encontrando en los registros que, al aumentar la concentración, la velocidad de reacción se ejercerá más rápidamente: *“Si se aumenta la concentración de ácido clorhídrico y acético, la velocidad de reacción será mayor. El aumento de la concentración del ácido ocasiona que el metal se disuelva en un menor tiempo y por ende la velocidad de reacción será más rápida”* Esta afirmación se relaciona con los estudios de Wenzel, los cuales dieron cuenta de la relación entre concentración y velocidad de reacción, al ver que la concentración del ácido influía en la velocidad en la cual estaban disueltos los metales. De manera análoga, se formuló una cuestión similar en la tercera experiencia, pero involucrando la temperatura: *¿Qué sucede con la velocidad de reacción al variar la temperatura del sistema?*, donde realizaron un comparativo con la primera experiencia la cual se trabajó a temperatura constante. Se encontró en los registros que, al aumentar la temperatura, la velocidad de reacción es mayor: *“Al variar la temperatura, la velocidad de reacción también cambia y si se aumenta, la velocidad de la reacción será mayor, disminuyendo el tiempo en disolverse el metal”* Esto se relaciona con los trabajos de Wilhelmy, cuando modificó lentamente

la temperatura en sus experimentos y encontró una variación en la velocidad de reacción, estableciendo de esta manera una relación proporcional entre estas dos variables.

En este sentido, se propuso la elaboración de gráficas en la que los estudiantes pudieran expresar cómo la velocidad en función del tiempo varía en relación con la concentración del ácido o la variación de la temperatura:

Relación concentración y temperatura vs velocidad en función del tiempo		
		
<p>G1: A mayor concentración del ácido, el tiempo en el que se disuelva el metal será menor pero su velocidad de reacción será más rápida.</p>	<p>G7: En la gráfica se demuestra que a mayor temperatura menos tiempo dura la reacción, pero la velocidad de la reacción se hace más rápida.</p>	<p>G5: Básicamente cuando la temperatura aumenta, la velocidad de reacción aumenta y el tiempo disminuye. La relación entre temperatura y velocidad es directamente proporcional.</p>

Estas gráficas fueron construidas para formalizar observaciones, las cuales son producto de la relación entre el sujeto con el fenómeno. Estas representaciones son una manera de hablar del fenómeno, por lo que también dan cuenta de la forma en la que procedieron y establecieron criterios conceptuales en relación con las condiciones que afectan la velocidad. Así, las representaciones gráficas propiciaron la construcción de explicaciones de la relación entre la concentración o la temperatura con la velocidad de reacción en función del tiempo, encontrando una relación directamente proporcional entre estas condiciones experimentales con la velocidad.

En conformidad con lo anterior, la concentración del ácido y la variación de la temperatura son condiciones experimentales que modifican la velocidad de reacción; por tanto, nos inquietamos si estas condiciones pueden llegar a afectar la afinidad, dado que la velocidad es una manera de medirla. Así, en relación con la **cuestión 1: concepto de afinidad**, encontramos registros como: *“Si hay mayor o menor concentración de ácido, la reacción química tendrá lugar porque las sustancias son afines y hay atracción entre éstos” “La afinidad sigue siendo la misma, aunque la temperatura (más alta) permite que se diluya con mayor rapidez el metal y viceversa, la reacción siempre se va a dar”*. Vemos como la concentración o la temperatura no afectan la afinidad entre las sustancias ya que la reacción va a tener lugar, por tanto, se conserva la definición de afinidad como “atracción” relacionándola con las cargas eléctricas: *“la afinidad hace referencia a la atracción que presenta una sustancia por otra, generando una reacción química donde dos sustancias se unen y transforman para formar un producto”*.

Cuando realizamos la actividad experimental (capítulo V) pudimos dar cuenta de que las condiciones experimentales (concentración y temperatura) no influyen en la afinidad entre las sustancias; por tanto, de acuerdo con Malagón et.al, (2011), la articulación de la actividad experimental en las clases de ciencia posibilita *“la comprensión de las fenomenologías en estudio, para la ampliación de la experiencia de los sujetos, para la formalización de relaciones y para la concreción de supuestos conceptuales”* (p.7). En tal sentido, la actividad experimental favoreció la construcción de relaciones y la concreción de proposiciones conceptuales al considerar la concentración y la temperatura como condiciones experimentales que inciden en la velocidad de reacción, pero no en la afinidad de una sustancia por otra, configurándose las formas de hablar y de comprender el fenómeno.

Con respecto a la **cuestión 2: Ordenamiento del fenómeno**, se encuentra la misma organización que se estableció en la fase anterior: El litio es más afín con ambos ácidos, le sigue el magnesio y por último el aluminio. Además, los metales mostraron más afinidad con el ácido clorhídrico que con el acético. El cobre no tiene afinidad dado a que no reaccionó con ninguno de los ácidos. Los criterios que definieron para establecer esta ordenación son los mismos que se detallaron en la fase anterior: La velocidad de desaparición del metal en función del tiempo.

En línea con lo anterior, entre los registros se encontraron expresiones como: *“El elemento que tiene mayor afinidad con los ácidos es el litio, tiene mayor velocidad de reacción y el metal se disuelve en menor tiempo. El elemento que tiene menor afinidad es el aluminio, pues su reacción es la que tarda más (menor velocidad de reacción) y el elemento que no presenta afinidad con los ácidos es el cobre: no presenta ninguna reacción, no hay afinidad”, “como lo vimos en el experimento, el litio tiene mayor afinidad con HCl, pues sin importar los cambios de concentración o la temperatura, la reacción siempre va a ser la misma y siempre se va a dar, lo pudimos identificar visualizando como el litio se disolvía más rápido en el HCl”, “A pesar de los aumentos de temperatura y los cambios ocurridos en la velocidad de reacción, el orden se mantuvo: El litio siendo el primero y el cobre sin reaccionar”*.

La reactividad química, asociada generalmente a ecuaciones químicas y a algoritmos matemáticos, carece de significado si no se relaciona con un ejercicio de organización y ordenación del fenómeno; por consiguiente, se recurre a la actividad experimental para ordenar la actividad química entre las sustancias, estableciéndose una misma organización en comparación con las experiencias anteriores partiendo del constructo conceptual de que la afinidad de una sustancia por otra no se ve alterada al modificar la concentración y/o la temperatura, pues estas condiciones varían únicamente la velocidad de reacción.

En la **cuestión 3: medidas de la afinidad**, se establece una vez más la relación entre velocidad de reacción y la afinidad entre las sustancias al encontrar en los registros de ambas experiencias la vinculación entre la velocidad de desaparición del metal en función del tiempo para dar cuenta de la afinidad que tiene una sustancia por otra: *“Entre más afinidad tenga el metal con el ácido, menor tiempo tarda en disolverse la masa y más rápido termina siendo la reacción”, “Un metal y un ácido se atraen más cuando tardan menos en reaccionar, asimismo si no tienen afinidad no ocurrirá ninguna reacción química y sin importar el tiempo que pase no actuará ni se disolvió el metal en el ácido”, “A mayor afinidad entre las sustancias, mayor es la velocidad de reacción, lo que quiere decir que es más rápida y toma menos tiempo”*

Tal y como se mencionó en la fase anterior, estas explicaciones están cruzados con los textos científicos trabajados, particularmente los textos de Wenzel, quien considera la velocidad de diferentes metales disueltos en ácidos para determinar la afinidad entre las sustancias, al encontrar en sus experimentos que cuando una reacción se produce más rápido, su afinidad será mayor; Guldberg y Waage, quienes encontraron en su trabajo experimental que las reacciones tienen lugar en un tiempo sensible y la duración es diferente para cada reacción, encontrándose en esta duración un medio para determinar la afinidad y, Berthelot y Saint Gilles; quienes al trabajar las reacciones de esterificación, observaron que la afinidad de una sustancia por otra es mayor cuando la velocidad de reacción se ejerce más rápido en comparación con otra. Teniendo como base estos referentes teóricos, se asume la velocidad de reacción como una medida de la afinidad química.

En conformidad con lo anterior, la actividad experimental genera elementos de clasificación, ordenación y medición dando lugar a la concreción de planteamientos conceptuales. Retomando a Campbell (1994) citado en Romero - Chacón et.al, (2017) hay una forma de medición que enfoca sus análisis en las relaciones de orden, la cual está caracterizada por las relaciones de mayor que,

igual que y menor que, permitiendo establecer un orden cualitativo del fenómeno que puede corresponder al mismo orden de carácter cuantitativo; es decir, los valores numéricos que representan otras propiedades extensivas deben estar en correspondencia con el orden cualitativo de la propiedad intensiva que se quiere medir. Campbell cita el ejemplo de la densidad, donde manifiesta, en palabras de Romero – Chacón et.al, (2017), que:

“Para el caso de la densidad, tales relaciones se pueden establecer entre el peso y el volumen, hecho que permite establecer una relación numérica entre ellas y la asignación de cifras, permitiendo así realizar una ordenación entre varios objetos que compartan esta característica, y que simultáneamente favorezca la cuantificación” (p.61)

Así, en relación con la última cuestión, identificamos que, tanto en la fase 1 como en la 2, la velocidad de reacción es una manera de medir la afinidad, pero en la que no fue posible establecer cuántas veces es más o menos afín un metal en relación con otro, por ejemplo, por cuánto es más afín el litio en relación con el magnesio al reaccionar con el ácido clorhídrico; sin embargo, consideramos que el ejercicio fue valioso en el sentido que se determinó la velocidad como una magnitud de la afinidad y, por esta vía, fue posible establecer una relación de orden del fenómeno tras al acudir a la actividad experimental. Esto configura los modos de comprender el fenómeno y ampliar la experiencia del sujeto.

Vemos entonces que la velocidad de reacción es una magnitud de la afinidad química que se ve afectada por ciertas condiciones experimentales, pues como se analizó en el capítulo V y en los registros de los estudiantes en esta fase, cuando se modifica la concentración o la temperatura se observa una variación en la velocidad de reacción. Por ejemplo, si se aumenta la temperatura de una reacción, la pérdida de metal se hace mayor en función del tiempo, dado que la reacción se

produce más rápidamente. Así, un aumento en la temperatura del sistema o en la concentración del ácido, produce un aumento en la velocidad de reacción.

### **Fase III: ¿Existen otras formas para dar cuenta de la afinidad entre sustancias?**

En esta última fase encontramos la experiencia 5 (reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li y Cu calculando el calor producido de reacción en un sistema cerrado) donde, a partir de las observaciones, los estudiantes analizaron otra forma de aproximarse a la afinidad entre las sustancias: El calor de reacción. Esta experiencia tiene como propósito que los estudiantes generen explicaciones respecto a la relación existente entre el calor producido de reacción con la afinidad química, teniendo como base las actividades experimentales en donde evidenciamos los factores que inciden en la velocidad de reacción y, donde esta última, fue considerada como una magnitud de la afinidad, siendo elementos fundamentales que contribuyen en la construcción del fenómeno de la reactividad química.

En esta experiencia se puede resaltar que los estudiantes, seguido de medir la temperatura inicial y final de las diferentes reacciones químicas, encontraron relaciones que valen la pena mencionar, relaciones que dan cuenta de la afinidad, la velocidad y el calor generado en la reacción: *“Cuando la reacción es más exotérmica, es decir cambia su temperatura en aumento, indica que las sustancias que están relacionándose en el calorímetro son más afines, esto se puede concluir porque la que presento más aumento en la temperatura fue la reacción del Li con el ácido y ya habíamos visto que era la que siempre reaccionaba más rápido”*, asimismo, *“Si la velocidad está relacionada con la afinidad y los cambios en la temperatura que observamos fueron en el mismo orden en los que se había presentado en las experiencias anteriores, es decir la reacción que pasaba más rápido (la del Li) fue también en la que aumento la temperatura y la del Mg también*

*incremento su temperatura, pero no en la misma cantidad; es decir la del Li, libera mayor calor que la del Mg, pero ambas liberan, esto quiere decir que ambos metales con los ácidos son afines pero de diferente manera*". Estas dos afirmaciones nos dejan al descubierto que, a partir de las observaciones, mediciones de tiempo y los cambios de temperatura, surgieron elementos para hallar relaciones importantes que permitieron configurar otra forma de hablar y pensar sobre el fenómeno.

Así, con respecto a la **cuestión 1: concepto de afinidad**, hubo un cambio de perspectiva frente a ésta, puesto que los estudiantes involucran en sus explicaciones la relación existente *entre afinidad y velocidad*, el término de *fuerza* para describir la *afinidad*, la *reacción exotérmica*, la *liberación de calor* y *el aumento en la temperatura*, relacionando estas últimas con las interacciones entre las sustancias para elaborar explicaciones sobre cómo ocurren las reacciones químicas, por ejemplo: *"La afinidad es la interacción entre dos o más sustancias, tal vez se puede ver como una fuerza que es equivalente a la velocidad de reacción. Por lo tanto, entre más velocidad de reacción más afinidad y entre menor velocidad de reacción menos afinidad"*. El registro anterior da cuenta de la manera en que conciben la velocidad de reacción como una forma de ordenar la afinidad de una sustancia por otra.

Teniendo en cuenta las observaciones hechas en esta última experiencia, se proponen unas preguntas con el fin de que los estudiantes nos compartan la forma en la que pueden detallar lo observado y en donde logremos extraer las relaciones que ellos establecieron entre el calor, la velocidad de reacción y la afinidad (anexo 2). De estos interrogantes surgieron explicaciones interesantes como las compartidas anteriormente, sin embargo, consideramos que es necesario detallarlas.



Las explicaciones respecto al calor producido de reacción es el resultado de las observaciones que realizaron los estudiantes en la experiencia propuesta, que tenía como intención abordar los trabajos de Van't Hoff, el cual nos presenta otra forma de estudiar el fenómeno a partir del calor como una forma de medir la afinidad química. Van't Hoff describe algunas relaciones entre el calor y la velocidad, teniendo en cuenta diversas condiciones estándar, ya que la velocidad varía al alterar parámetros de la reacción, tal como lo evidenciamos en anteriores experiencias. Partiendo de ello, nos interesamos en abordar lo planteado por este científico, referente al estudio de los procesos de equilibrio térmico con relación a los procesos químicos, en donde hay un sistema que absorbe calor y otro que lo libera. Sin embargo, nosotras llevamos al aula reacciones irreversibles, por su parte, Van't Hoff trabajó con reacciones reversibles para asociar los procesos térmicos con los procesos de equilibrio químico. Retomando lo escrito por él, relacionamos la velocidad de reacción con el calor de transformación, afirmando que el calor que se desprende de la reacción es equivalente al trabajo de afinidad o a la fuerza de afinidad en sí misma (Van't Hoff, 1898).

A partir de lo expuesto por los estudiantes, uno de los asuntos que queremos resaltar es la capacidad en ellos de hallar relaciones a partir de las observaciones y cuestionamientos que se plantearon, las cuales posibilitan las explicaciones del fenómeno, siendo esto un aspecto importante en la construcción de conocimiento científico que posibilitó otras formas de hablar y pensar sobre la reactividad química. Es posible afirmar lo anterior, teniendo en cuenta lo planteado por los estudiantes referente a la definición de la afinidad química, ordenamiento del fenómeno y la medida de la misma.

En este punto sobresale el papel de la pregunta en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia, ya que es evidente que jugó un papel importante desde la implementación de la actividad experimental, partiendo de la curiosidad, del análisis y de las relaciones que se lograron establecer

con el fenómeno. Tal como lo menciona (Márquez y Roca, 2006) consideramos que el conocimiento avanza a medida que se plantean preguntas, las cuales surgen de la observación, de la capacidad de cuestionarse para dar respuesta o explicación, siendo esta una capacidad que se magnifica con el uso de nuevos instrumentos, el tratamiento de datos, la evidencia de situaciones; elementos que encontramos en la actividad experimental que nos permiten estudiar las interacciones entre las sustancias por medio del análisis, la interpretación, el ordenamiento, la medición y el lenguaje simbólico, considerando este último importante en la enseñanza de la química, sin que sea necesariamente el único camino para aproximarse al estudio de las transformaciones, tal como lo recalcamos anteriormente.

En este sentido, la elaboración de preguntas y posibles explicaciones es fundamental para la comprensión de la ciencia, puesto que nos lleva a establecer diferencias, sustituir o rechazar maneras de entender. Este ejercicio surge del diálogo entre lo teórico y el fenómeno observable, evitando que la comprensión sea limitada, incompleta o incorrecta. Sin ahondar en cuestiones epistemológicas, en la explicación científica se establecen diferentes relaciones de causa entre los componentes del fenómeno observable; para confirmar estas relaciones se procede a la comprobación, es decir buscar evidencias, en este caso, mediante el análisis experimental.

La realización de diferentes relaciones de causa y sus comprobaciones nos permiten llegar a generalizaciones y la elaboración de una explicación (Márquez y Roca, 2006); sin embargo, las generalizaciones y explicaciones que surgieron en esta experiencia y en las demás, se pusieron a prueba cuando se plantearon hipótesis o nuevas predicciones lo que llevó a los estudiantes a realizar afirmaciones en relación con las interacciones entre las sustancias, tales como: *“La afinidad entre las sustancias es la misma y parece no cambiar. El Li siempre sobresale entre los demás metales y el Cu y Al son los que no reaccionan”*. Así, con respecto a la **cuestión 2:**

**ordenamiento del fenómeno**, se encuentra la misma organización que se realizó en las fases anteriores, una ordenación independiente de las condiciones experimentales y donde dichas explicaciones se comprobaron, a partir de la validación, las predicciones y la evaluación de ésta y las demás experiencias.

Para el análisis de la **cuestión 3: medidas de la afinidad**, se tuvo en cuenta el calor de reacción como una forma de ordenar la reactividad química; sin embargo, los estudiantes no realizaron la determinación de los calores producidos ya que conlleva a otro desarrollo conceptual del concepto de calor, en donde se abordan expresiones matemáticas de termodinámica que, por tiempo en la implementación, no fue posible llevar a cabo; por consiguiente, se abordó la medición de la variación de la temperatura como consecuencia de la liberación o absorción de calor en las reacciones, teniendo en cuenta que todas parten de una temperatura ambiente. Cabe señalar que nosotras realizamos una medición de orden cuantitativo al determinar el calor para cada reacción con el fin de establecer una ordenación más exacta de la reactividad química en el capítulo V.

Vemos como las relaciones que establecimos entre calor de reacción y velocidad de reacción con la afinidad entre sustancias se configuran como una manera de construir y comprender el fenómeno de la reactividad química. Estos criterios y las cuestiones establecidas para el ejercicio de sistematización permitieron identificar algunas características y generalidades de las reacciones que nos llevaron a estudiarlas de manera distinta a la que se había hecho a lo largo de nuestra formación y labor docente, ya que cuando hablábamos de reactividad nos centrábamos en un lenguaje simbólico, representando las reacciones a partir de ecuaciones químicas y privilegiando cálculos estequiométricos para analizar las diferentes interacciones entre sustancias, sin llevar a cabo un ejercicio de cuestionamiento sobre lo sucedido en éstas, sobre las maneras y condiciones en las que se presentan.

En línea con lo anterior, vemos que esta manera en que se abordaba la reactividad química hacía que los estudiantes pensarán que las interacciones entre sustancias se daban de la misma manera y que, por ende, todas se podían representar mediante ecuaciones químicas bajo las mismas condiciones. Sin embargo, la actividad experimental cambió esta perspectiva al permitirnos llevar a cabo organizaciones conceptuales que se van construyendo durante la práctica al realizar observaciones, cuestionamientos y organizaciones del fenómeno a partir de la clasificación, ordenación y medición del mismo, contribuyendo a los modos de hablar del fenómeno. Así, establecimos que la energía liberada y la rapidez con la que se llevan a cabo las interacciones entre sustancias son una medida de la afinidad química, constituyéndose como otra manera de abordar la reactividad química que amplía nuestras comprensiones y explicaciones del mismo.

Queremos finalizar este capítulo con unas inferencias que suscitaron a partir de la necesidad de cambiar la forma de abordar el fenómeno de la reactividad en el aula para enriquecer nuestras prácticas de enseñanza, teniendo en cuenta los desarrollos del análisis histórico-crítico y del trabajo experimental respecto a la velocidad de reacción y los calores producidos como una forma de dar cuenta de la afinidad:

1. Las reacciones que se dan a mayor velocidad son aquellas en donde las sustancias que interactúan son más afines.
2. Las reacciones que tienen velocidades altas tienden a ser exotérmicas liberando gran cantidad de calor, siendo más espontáneas y, por tanto, más afines entre sí.
3. Hay condiciones que modifican la velocidad de reacción como la temperatura y la concentración, sin embargo, es posible pensar que la afinidad no se modifica, ya que las sustancias muestran un comportamiento similar al interactuar debido a su naturaleza; es

decir, reaccionan o no con el paso del tiempo, evidenciando un ordenamiento parecido al comparar una reacción con otra.

4. Cabe mencionar que cuando hablamos de “afinidad química” no nos referimos a una propiedad de la sustancia sino a una relación, ya que una sustancia no es más afín para sí misma, sino es más afín en relación con otra.

Aquí queda plasmada una propuesta que surgió al cuestionar la manera en la que comprendíamos y estábamos llevando al aula este objeto de estudio que es transversal en el estudio de la química. La reactividad química es un fenómeno que merece ser profundizado y abordado desde una perspectiva experimental, en donde se logren inferir, concluir y desarrollar explicaciones entorno a las observaciones realizadas, tal como se mencionó anteriormente dichas acciones enriquecen el proceso de enseñanza dinamizando el aprendizaje de este fenómeno.

Este ejercicio nos llevó a hacer una crítica de nuestras formas de enseñar la reactividad química en el aula, donde nos centramos en una enseñanza memorística, mecánica y poco significativa empleando formulaciones matemáticas, ecuaciones químicas y simbologías que no abordan las dinámicas de una reacción química y las condiciones que las hacen posible. Esto limita las capacidades de los estudiantes para cuestionarse sobre el fenómeno y desconocer que este puede organizarse a partir de elementos que promovemos con la actividad experimental y que pueden aportar a la construcción de explicaciones y comprensiones del mismo.

Es así como a partir de este ejercicio de sistematización pudimos analizar relaciones emergentes que se desconocían como las relaciones teoría-experimento y cualitativo-cuantitativo y que se identificaron al comprender que la actividad experimental permite dicha vinculación al ser un proceso intencional que amplía la experiencia sensible cuando es cuestionada, modificada y organizada, por lo que no debe ser comprendida como una actividad estandarizada tomada de un

libro de texto para validar planteamientos conceptuales, concepción que se le suele dar a la experimentación en el aula y por ello nos limitamos a comprobar y a asombrarnos por lo que estamos percibiendo, dejando a un lado el cuestionamiento y modificación de la experiencia sensible.

Vemos que la teoría mantiene una relación dinámica con la experimentación permitiendo organizar el fenómeno y que, además, en el mismo ejercicio experimental, observamos que no podemos hablar de lo cuantitativo sin lo cualitativo, pues la cualidad puede ser pensada y determinada en intensidades, por tanto, hay una vinculación entre estas dos. Esta sistematización nos permitió llegar a estas relaciones que se complementan entre sí y que nos permiten transformar nuestras prácticas de enseñanza si privilegiamos la actividad experimental como un proceso donde el estudiante puede relacionarse con el fenómeno y con su contexto, cuestionarse sobre lo que percibe y construye sus propias explicaciones y comprensiones producto de una organización del fenómeno.

Es así como este ejercicio de sistematización contribuyó a modificar las maneras en que nos relacionamos con nuestra práctica, a transformar la imagen de ciencia que privilegiábamos en el aula y a orientarnos en la construcción de un discurso pedagógico y disciplinar conforme a nuestras intenciones y acciones en el aula que aportan a la cualificación de nuestro quehacer pedagógico y al desarrollo profesional.

## VII. CONSIDERACIONES FINALES

Al delimitar nuestra problemática de la reactividad química en el capítulo I, nos interesamos en dar respuesta a: *¿Cómo la actividad experimental proporciona elementos para la construcción de explicaciones en torno a la reactividad entre metales y ácidos teniendo en cuenta las variables de la velocidad y calores de reacción?*, para lo cual nos centramos en los montajes propuestos para identificar qué elementos y cómo los proporcionó la actividad experimental para construir explicaciones a propósito del problema de la reactividad química.

Cuando acudimos a la actividad experimental encontramos que el fenómeno está inmerso en la relación que establecemos con el objeto, por lo que este va transformándose y construyéndose a medida que nuestra relación con el objeto cambia. Así, se logra formalizar las observaciones como producto de la relación que establecimos con el objeto y con el fenómeno en sí mismo, dando lugar a cuestionamientos sobre éste. Estos procesos fueron posibles tras acudir al trabajo experimental, proporcionándonos elementos para construir el fenómeno.

El primer elemento que nos proporcionó la actividad experimental fue la clasificación respecto a qué metales son o no afines al relacionarse con los ácidos. Posteriormente, aparece el segundo elemento que corresponde a una relación de ordenamiento de mayor a menor actividad química entre las sustancias. Para dar respuesta a cómo la actividad nos proporcionó estos dos elementos, encontramos en los registros expresiones como: *“Entre más afinidad tenga el metal con el ácido, menor tiempo tarda en disolverse la masa y más rápido termina siendo la reacción”* *“Un metal y un ácido se atraen más cuando tardan menos en reaccionar, así mismo si no tienen afinidad no ocurrirá ninguna reacción química y sin importar el tiempo que pase no actuará ni se disolverá el metal en el ácido”* *“El elemento que tiene mayor afinidad con los ácidos es el litio, tiene mayor*

*velocidad de reacción y el metal se disuelve en menor tiempo. El elemento que tiene menor afinidad es el aluminio, pues su reacción es la que tarda más (menor velocidad de reacción) y el elemento que no presenta afinidad con los ácidos es el cobre: no presenta ninguna reacción, no hay afinidad” “Cuando la reacción es más exotérmica, es decir cambia su temperatura en aumento, indica que las sustancias que están relacionándose en el calorímetro son más afines, esto se puede concluir porque la que presento más aumento en la temperatura fue la reacción del Li con el ácido y ya habíamos visto que era la que siempre reaccionaba más rápido”,* donde vemos, por un lado, que tomaron en consideración si las sustancias se transforman o no para poder dar cuenta de qué metales son afines o no con el ácido y, por otro lado, que plantearon criterios para la ordenación del fenómeno como la velocidad de desaparición del metal en función del tiempo y el calor de reacción producido.

Esta clasificación y los criterios planteados para la ordenación fueron posibles por la relación del estudiante con el fenómeno ya que al acudir a la actividad experimental observaron los cambios que hacen posible una reacción química tales como el cambio de color, el desprendimiento de hidrógeno, la producción de sal, la liberación de calor, la velocidad de reacción y la disminución del metal en unidad de tiempo. Además, la modificación de algunas condiciones experimentales como la concentración y la temperatura para determinar su influencia tanto en la velocidad de reacción como en la afinidad entre las sustancias, posibilitaron la construcción de los modos de hablar del fenómeno y la concreción de planteamientos teóricos sobre el mismo; por ejemplo, que una mayor velocidad de reacción da cuenta de una mayor afinidad de una sustancia por otra, la cual no se ve afectada al variar las condiciones de concentración o de temperatura del sistema.

Cabe mencionar que otro elemento que nos proporcionó la actividad experimental fue la medición al poder establecer por cuánto es más afín un metal en relación con otro al reaccionar con el ácido;



sin embargo, esto no fue posible desarrollarlo por tiempo en la implementación de la propuesta de aula ya que debíamos explicar el concepto de calor abordando expresiones matemáticas de la termodinámica, lo cual implicaba trabajar otro problema conceptual. En este orden de ideas, se recomienda que, para un próximo trabajo, ahondar en el concepto de calor como otra manera de medir la afinidad y profundizar en la construcción de un instrumento de medida para producir una ordenación del fenómeno. También se sugiere trabajar otras clases de reacciones como las de neutralización o las orgánicas.

En ese sentido, la *actividad experimental* debe implementarse en la enseñanza de las ciencias ya que favorece las dinámicas en el aula cuando llevamos a cabo observaciones intencionadas, cuestionamientos acerca de lo que percibimos, descripciones, clasificaciones, comparaciones, ordenamientos y mediciones del fenómeno. Esta actividad amplía y transforma la experiencia sensible, por lo que contribuye a la construcción de explicaciones y comprensiones del fenómeno. De igual manera, esta manera de concebir el trabajo experimental en el aula rompe con la oposición teoría-experimento y cualitativo-cuantitativo lo que posibilita la construcción de conocimiento científico y la ampliación de la experiencia del sujeto. Así, la actividad experimental hace posible que tanto el estudiante como el maestro tengan un papel más activo, cuestionándonos no sólo por lo que percibimos, sino que, en nuestro caso, este tipo de accionar en el aula nos ayuda a reflexionar sobre nuestra práctica, aportando nuevas formas de proceder.

Los análisis histórico - críticos de textos científicos y fuentes primarias sobre el problema conceptual de la reactividad química orientaron la recontextualización de saberes para la enseñanza de las ciencias ya que emergieron cambios en la forma de pensar y hablar sobre el fenómeno de la reactividad química. Cabe señalar que el análisis histórico no trata de describir y exponer los aportes de los científicos de manera cronológica como suele hacerse en el aula por

medio de líneas de tiempo o concebirlo como un recuento histórico, sino de establecer un diálogo con los mismos a través de los textos analizados partiendo de los cuestionamientos que surgieron y que se fueron modificando en dicha relación y en la actividad experimental. De igual forma, no se trata de replicar las experiencias originales de los científicos, se trata de diseñar nuestras propias experiencias para construir explicaciones del fenómeno y ampliar nuestras comprensiones del mismo. Esto fue posible a partir de las conceptualizaciones construidas del análisis histórico-crítico de textos científicos llevado a cabo en donde se puso en diálogo los experimentos que dieron cuenta de sus planteamientos y se relacionaron las variables, los alcances y las limitaciones de sus aportes para la recontextualización de la actividad experimental.

Esta manera de concebir los estudios histórico – críticos aportaron a la construcción y comprensión del problema conceptual de la reactividad química y a la concreción de planteamientos conceptuales relacionados con el mismo, al establecer un diálogo con los científicos, principalmente, con Wenzel y Vant'Hoff, donde se reconocen diferentes factores como la velocidad y los calores de reacción como medidas de la afinidad química, en relación con la mayor o menor actividad química entre las sustancias. De igual manera, la relación establecida con otros científicos como Wilhelmy, Guldberg y Waage, Berthelot y Saint Gilles; a través del análisis de sus textos donde se reconoce la relación de la afinidad química con la velocidad de reacción, además de la influencia de la concentración y la temperatura en ésta última.

El problema de la reactividad química fue abordado como objeto de estudio en la enseñanza de la química de educación media a partir de los desarrollos obtenidos del análisis histórico – crítico que orientaron el diseño de una propuesta de aula apoyada en actividades experimentales para desarrollarse en nuestras clases de ciencias.

Las reflexiones sobre nuestra práctica provienen del ejercicio de sistematización de la ruta de aula, donde se expusieron conceptualizaciones construidas a partir del análisis histórico de textos científicos y del trabajo experimental, como lo son la velocidad de reacción y el calor producido como formas de medida de la afinidad que posibilitaron los desarrollos experimentales para la organización de la reactividad química y los cuales se trabajaron con los estudiantes mediante la propuesta de aula. De allí surgieron relaciones emergentes como las relaciones práctica – teoría, simbólico – experimental, cualitativo – cuantitativo que permitieron reflexionar sobre nuestro quehacer en el aula, además de cuestionarnos sobre cómo pasaron las cosas, por qué pasaron de esta manera y cómo podemos mejorar respecto a ello para poder transformar nuestras prácticas de enseñanza.

Desde esta perspectiva, el ejercicio de sistematización nos hizo reflexionar sobre las formas en que abordamos el concepto de reactividad química en el aula, centrándonos en un lenguaje simbólico complejo y abstracto para los estudiantes, donde no generamos algún tipo de vínculo o relación que les permita ampliar la experiencia sensible, limitando así los procesos de construcción y comprensión de fenomenologías. Por tanto, este trabajo hizo que nos aventuráramos a mostrar de otro modo la reactividad química, dándole la posibilidad al estudiante a interactuar con el objeto y con su contexto, a cuestionarse sobre lo que percibe y a construir sus propias comprensiones y explicaciones producto de la organización del fenómeno a partir de los elementos que promovemos con la actividad experimental, como la clasificación, la ordenación y la medición. Esta manera de abordar el objeto de estudio en el aula permite la concreción de planteamientos conceptuales y la conformación de fenomenologías.

Es así como nuestro ejercicio de sistematización se diferencia de otros procesos como la evaluación al no medir los resultados obtenidos y compararlos con un pretest y con los objetivos propuestos,

ya que nuestra intención es poder dar cuenta de nuestro quehacer pedagógico, de nuestros sentidos y significados a través de la comprensión y reflexión de la práctica para aportar a la producción de conocimientos y a nuestra formación docente. En este sentido, la sistematización se considera un ejercicio de recuperación de la experiencia, el cual nos llevó a hacer una crítica constructiva de nuestro quehacer docente, resaltando los alcances sobre la manera de trabajar la reactividad química para contribuir a la producción de conocimiento científico y aportar a otros modos de hablar y pensar la química en el aula.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, M. (2006). Los análisis histórico críticos y la reconstrucción de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-PosiÁies*, 19-37
- Avery, H. (1982). *Cinética química básica y mecanismos de reacción*. España: Reverté S.A.
- Bárcena, A., y Sánchez, A. (2007). El azúcar en enseñanza secundaria. *Real sociedad Española de Química*, 48.
- Barrera, J. (2012). *Enseñanza de los factores que afectan la velocidad de reacción: una propuesta de aula desde el aprendizaje activo*.
- Berthelot, M., y Saint – Gilles, P. (1862). *Annales de chimie et de physique*. París.
- Borda, O. y Erazo, M. (2010). Concepciones sobre ciencia e investigación en profesores de química en formación inicial: un estudio en el contexto de los trabajos experimentales. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 41–56.
- Busquets, M. (1994). Retos metodológicos en etnografía de la educación. *Colección Pedagógica Universitaria*, 31-46.
- Cruz, C. (2013). *Una aproximación histórico - epistemológica del concepto de equilibrio químico*.
- Duhem, P. (2003). *La teoría física: Su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder Editorial.
- Galles, C. (2010). Pierre Duhem: teoría y experimentos en Física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 2(1), 45-50. Recuperado a partir de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/15996>
- González, L. (2017). Estudio de la temperatura y su efecto en la velocidad de las reacciones químicas a partir de una perspectiva fenomenológica.
- Gordon M. Harris. (1973). *Cinética química*, Ed. Reverté S.A España

- Grapí, P. (2012). La Representación de lo Invisible. Tabla de los diferentes rapports observados en química entre diferentes sustancias. Publicaciones Universidad de Alicante.
- Grapí, P. (2012). *La visualización del cambio químico*. *Mètode Science Studies Journal*, 2. Obtenido de <https://metode.es/revistas-metode/monograficos/la-visualizacion-del-cambio-quimico.html>
- Guldberg, C. y Waage, P. (1867). *Études Sur Les Affinités Chimiques*. París.
- Guldberg, C. y Waage, P. (1986). *Studies Concerning Affinity*. Abrash, H. (Translator). *Journal of Chemical Education*, 1044 – 1047
- Ibarra, E., Botero, J., y Cortés, C. (2010). *Ingeniera de Tequilas*. Bogotá: Grupo Ingeniera Institucional. Universidad Nacional de Colombia.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. y Espinet, M. (1999) Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales, *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), 45 – 59.
- Jara, O. (2018). *La sistematización de experiencias: práctica y teoría para otros mundos posibles* (1ed. ed.). Bogotá: Fundación Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano CINDE.
- Lahura, E. (Enero de 2003). *El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas*. Obtenido de cendoc: <https://cendoc.esan.edu.pe/fulltext/e-documents/DDD218.pdf>
- Macarulla, J., y Goñi, F. (2021). *Bioquímica humana*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Malagón, F., Sandoval, S., y Ayala, M. (2013). La actividad experimental: Construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica Nueva Serie*, 119–138.
- Malagón, J., Ayala, M., y Sandoval, S. (2011). El experimento en el aula. Comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes. *Centro de Investigaciones Universidad Pedagógica Nacional – CIUP*.

- Marcos, A. (1988). *Pierre Duhem: La filosofía de la ciencia en sus orígenes*. Barcelona: PPU.
- Márquez, C. y Roca, M. (2006). Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y pedagogía*, 61-71.
- Mejía, M. (s.f). *Atravesando el espejo de nuestras prácticas*. Planetapaz. Expedición Pedagógica Nacional.
- Ministerio de Educación Nacional. (s.f). *Definición de Estándares educativos*. Obtenido de <http://www.mineducación.gov.co/1621/article-79409.html>
- Ostwald, W. (1909). *L'Evolution d'une Science*. París.
- Porras, O. (2013). *La fenomenología de las reacciones químicas para caracterizar los modos de conocer y formalizar en química*.
- Pulido, D. (2015). *Estudio de la velocidad de reacción química como medida de la reactividad química*.
- Quílez, J. (2002). Aproximación a los orígenes del concepto de equilibrio químico: algunas implicaciones didácticas. *Educación Química*, 101 - 112
- Quílez, J. (2017). Acerca de los Orígenes de la Ley de Equilibrio Químico. *An Quím*, 191 – 197.
- Romero - Chacón, Á. (2017). *La experimentación en la clase de ciencias. Aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquía.
- Romero-Chacón, A; Aguilar, Y; Mejía, L. (2017). Naturaleza de las ciencias y formación de profesores. El caso de la experimentación. En Romero-Chacón, A, editor académico. *La experimentación en la clase de ciencias. Aportes para una enseñanza de las ciencias contextualizada con reflexiones metacientíficas*. (p.1-14). Medellín: Editorial Universidad de Antioquía.

- Romero – Chacón, A. y Aguilar, Y. (2013). *La experimentación y el desarrollo del pensamiento físico. Un análisis histórico y epistemológico con fines didácticos*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Rodríguez, O. (2008). De la mecánica racional a la termodinámica general o energética: La física de Pierre Duhem. En Ayala, M; Rómero-Chacón, A; Malagón, J; Rodríguez, O; Aguilar, Y y Garzón, M. *Los procesos de formalización y el papel de la experiencia en la construcción del conocimiento sobre los fenómenos físicos* (p. 57-69). Bogotá.
- Sandoval, S., Malagón, F., y Ayala, M. (2011). El papel de la actividad experimental en la ordenación de cualidades y construcción de fenomenologías. *Revista Científica*, 155 – 161
- Sandoval, S., Malagón, F., Garzón M., Ayala M., y Tarazona., L (2018). *Una perspectiva fenomenológica para la enseñanza de las ciencias*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional, CIUP
- Van't Hoff, J. (1884). *Études de dynamique chimique*. Ámsterdam: Frederik Muller & Co.
- Van't Hoff, J. (1896). *Studies In Chemical Dynamics*. Ámsterdam: Frederik Muller & Co.
- Van't Hoff, J. (1898). La dynamique chimique. *Leçons de Chimie Physique. Professées à l'Université de Berlin*.
- Wilhelmy, L. (1850). *Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Sauren auf den Rohrzucker stattfindet*. Leipzig: Verlag Von Wilhelm Engelmann.



## ANEXOS

### Anexo 1: Ruta de aula

#### Lectura 1. ¿Cómo ocurren las reacciones químicas?

En el mundo físico evidenciamos fenómenos tales como la quema del papel, la oxidación de un clavo, la corrosión de una estatua, la combustión de la madera; entre otros, los cuales nos llevan a pensar sobre las transformaciones de las sustancias al preguntarnos por cómo ocurren las reacciones químicas.

Para abordar este cuestionamiento, es importante reconocer la problemática que existía en el siglo XVIII sobre la interacción entre las sustancias. Fueron varios los científicos quienes se interesaron por abordar esta problemática, manifestando que este fenómeno se debe a las fuerzas de atracción entre los cuerpos, a ciertas relaciones “*Rapports*” que existen entre ellas que hacen que unas sustancias se unan más fácilmente que otras, a la acción química entre sustancias la cual depende de la masa de los reactivos participantes o a una fuerza de afinidad que produce una transformación química.

En algunos libros de texto encontramos que esta interacción entre sustancias se debe a que las sustancias poseen cargas contrarias, generando una atracción entre ellas y produciendo una sustancia diferente; sin embargo, queremos dar cuenta que esta problemática va más allá cuando nos cuestionamos sobre qué sustancias reaccionan con unas y con otras no, si existen reacciones más rápidas unas que otras, cómo damos cuenta de las interacciones entre las sustancias y cómo medimos los factores de los cuales depende esta interacción.

Uno de los científicos que abordó esta problemática fue Wenzel, quien afirmó que cuando una reacción se produce más rápidamente, su afinidad será mayor. Para sustentar lo anterior, Wenzel trabajó la acción de los ácidos sobre los metales para medir la afinidad utilizando el tiempo como factor para organizar las reacciones químicas.

Es necesario mencionar que existen ciertas condiciones experimentales que pueden llegar afectar el grado en el que las sustancias ejercen su afinidad; por lo tanto, es importante emplear las mismas cantidades de sustancia, que los metales tengan el mismo estado físico, y mantener la temperatura y concentración constantes para poder comparar la afinidad entre los metales y los ácidos. Prepárate para trabajar las reacciones entre diferentes metales con el ácido clorhídrico y acético para analizar cada uno de estos cuestionamientos y otros que vayan surgiendo a medida que avancemos en cada una de las actividades experimentales.

## Montaje 1. Reacciones entre metales (Al, Mg, Li, Cu) con diferentes ácidos (ácido clorhídrico y ácido acético)

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar cualitativamente el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al tener condiciones iguales de estado de agregación, cantidad de sustancia, temperatura y concentración.

### Metodología

- Colocar en una gradilla 4 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones a 5, 10 y 15 minutos

### Observaciones

Describe detalladamente los procesos observados:

Ácido clorhídrico 1M	Tiempo		
Metal	5 min	10 min	15 min
Litio			
Magnesio			
Aluminio			
Cobre			

Ácido acético 1M	Tiempo		
Metal	5 min	10 min	15 min
Litio			
Magnesio			
Aluminio			
Cobre			

### Preguntas orientadoras

#### 1. Caracterización de las reacciones químicas:

- ¿Qué cambios observó en cada una de las reacciones?
- Escriba la ecuación química para cada reacción ¿Qué tipo de reacción es?
- ¿Cómo ocurre la reacción del metal con el ácido? ¿Qué se produce en cada reacción?

- d. ¿Qué sucede con la masa inicial en relación con el tiempo de reacción?
- e. ¿Qué relación establece entre la cantidad del metal con la velocidad de reacción?
- f. ¿Las reacciones duran los mismos tiempos? Justifique su respuesta

2. Ordenar el fenómeno: Ordenar las reacciones de menor a mayor tiempo de reacción.

Ácido clorhídrico	Ácido acético

- 3. Teniendo en cuenta el numeral anterior, ¿A qué se debe que un metal reaccione más rápido con el ácido en comparación con otro metal? ¿Cómo puede dar cuenta de esto?
- 4. ¿Hay metales que reaccionan más rápido con un ácido que con el otro en un tiempo determinado? Especifique con un ejemplo de la experiencia realizada.
- 5. ¿Qué espera que ocurra en la reacción entre el metal y el ácido si se modifica alguna condición experimental como la cantidad de sustancia, la temperatura o la concentración?

### Lectura 2. ¿Qué condiciones afectan la velocidad de un sistema de reacciones?

Hemos visto que algunas reacciones ocurren más rápido que otras, que no todas las sustancias interactúan de la misma manera, otras que necesitan de fuentes de calor u otras condiciones para que se presenten y que hay sustancias que al entrar en contacto parece ser que no se relacionan; por ende, en este punto consideramos importante analizar algunos factores que influyen en las reacciones químicas, los cuales han sido también relevantes para algunos científicos como Wenzel, Wilhelmy, Guldberg y Waage, los cuales se centraron en la observación de distintas reacciones para describirlas y comprender el comportamiento de las interacciones entre las sustancias.

Uno de los primeros científicos que relaciona las interacciones entre las sustancias y la velocidad a la cual se llevan a cabo las reacciones es Wenzel, destacando el tiempo como una forma de medir la afinidad entre las sustancias, para lo cual propone una serie de reacciones entre ácidos y metales con el fin de realizar observaciones y describir el comportamiento de las sustancias frente a otras. Este autor destacó distintos factores que pueden afectar la velocidad en las reacciones, por ejemplo, las superficies de los metales, las cuales debían ser iguales, por ende, en las reacciones que llevó a cabo empleó formas cilíndricas en los metales. A partir de las observaciones, determinó que la velocidad de reacción se ve afectada por el ácido empleado y la concentración de este, lo que le permitió establecer una relación entre la velocidad y la concentración.

Así mismo, Wilhelmy tuvo en cuenta en las reacciones químicas la influencia de la temperatura, puesto que su variación también afecta la velocidad de reacción, ya que modifica el movimiento de las moléculas que reaccionan, lo que influye en la pérdida de reactivo con respecto al tiempo, resaltando que entre mayor sea el reactivo consumido en un menor tiempo, mayor será la velocidad de reacción y; asimismo, entre mayor producto obtenido en menor tiempo, mayor será la velocidad de reacción, es decir, mayor será la interacción entre las sustancias. Por su parte, Guldberg y Waage, por medio de algunas técnicas analizaron lo que ellos denominaban fuerzas químicas, fuerzas que le permitían a las sustancias reaccionar entre sí, a lo que llamaron afinidad química, abarcando dos tipos de fuerzas; una de descomposición (para los reactivos) y otra de formación (productos), considerando que la fuerza química entre las sustancias que reaccionan sería proporcional a sus masas activas; es decir, a la concentración.

En este sentido, condiciones como la concentración y la temperatura afectan la velocidad de reacción y sabemos que esta última es una forma de medir la afinidad química; por tanto, nos planteamos el siguiente interrogante para ser abordado: *¿La concentración y la temperatura afectan la afinidad entre sustancias?*

## **Montaje 2. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético a diferentes concentraciones con Al, Mg, Li, Cu**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar cualitativamente el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al variar la concentración de los ácidos y analizar cómo esto influye en la velocidad de reacción.

### **Metodología**

- Colocar en una gradilla 4 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones a 5, 10, y 15 minutos.

### **Observaciones**

Describa detalladamente los procesos observados:

<b>Ácido clorhídrico 0,5M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				
<b>Ácido clorhídrico 1,0M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				
<b>Ácido clorhídrico 1,5M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				

También registre las observaciones para ácido acético a 0,5; 1,0 y 1,5M en los diferentes intervalos de tiempo.

<b>Ácido acético 0,5M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				
<b>Ácido acético 1,0M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				
<b>Ácido acético 1,5M</b>		<b>Tiempo</b>		
<b>Metal</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>15 min</b>	
Litio				
Magnesio				
Aluminio				
Cobre				

### Preguntas orientadoras

1. ¿Qué sucede con la velocidad de reacción cuando se modifica la concentración de ácido clorhídrico y ácido acético?
2. Teniendo en cuenta el numeral anterior, haga una gráfica en la que muestre cómo la velocidad en función del tiempo va variando en relación con la concentración de ácido. ¿Cómo interpreta la gráfica realizada?
3. Responda: **a.** ¿Qué metal tiene mayor afinidad con los ácidos? **b.** ¿Qué metal tiene menos afinidad con los ácidos? **c.** ¿Hay metales que no guardan ninguna afinidad con los ácidos?  
**Justifique cada una de sus respuestas**
4. De acuerdo con las observaciones, ¿Hay metales que tienen más afinidad por alguno de los ácidos? Justifique su respuesta
5. ¿Cómo se relaciona el tiempo de reacción con la afinidad entre el metal y el ácido?
6. ¿La afinidad química entre el metal y el ácido se ve afectada por la variación de la concentración del ácido? Justifique su respuesta

### Montaje 3. Reacción de ácido clorhídrico con Al, Li, Mg y Cu teniendo en cuenta la variación de la temperatura en el sistema

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar cualitativamente el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de desaparición o aparición de los reactivos y productos, al variar la temperatura en el sistema y analizar cómo esto influye en la velocidad de reacción.

### Metodología

- Colocar en una gradilla 4 tubos de ensayo y adicionar una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu
- Adicionar para cada tubo de ensayo 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL.
- Llevar el sistema a una temperatura de 46°C
- Registrar observaciones a 5, 10 y 15 minutos.

### Observaciones

Describe detalladamente los procesos observados:

Ácido clorhídrico 1,0M	Tiempo		
	5 min	10 min	15 min
Metal			
Litio			
Magnesio			

Aluminio			
Cobre			

### Preguntas orientadoras:

1. ¿Qué sucede con la velocidad de reacción al variar la temperatura del sistema? Para ello, realice una comparación con las reacciones del montaje 1, las cuales se desarrollaron a temperatura ambiente.
2. Teniendo en cuenta el numeral anterior, haga una gráfica en la que muestre cómo la velocidad en función del tiempo va variando en relación con la temperatura. ¿Cómo interpreta la gráfica realizada?
3. ¿El orden de las reacciones es la misma que en los montajes anteriores? ¿Por qué?
4. ¿La afinidad entre el metal y el ácido se ve afectada por la variación de temperatura? ¿por qué?

### Montaje 4. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo el volumen de gas obtenido teniendo en cuenta intervalos de tiempo

**Objetivo:** Medir el volumen de gas producido en cada uno de los sistemas de reacciones a diferentes intervalos de tiempo con el fin de ordenar el fenómeno teniendo como criterio la duración de las reacciones químicas, a través de la velocidad de aparición del gas.

### Metodología

- Colocar en un balón con desprendimiento lateral una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu.
- Adicionar para cada balón 5,0 mL de ácido clorhídrico 1M. Para el cobre, adicionar 8,0mL.
- Medir el gas producido a diferentes intervalos de tiempo: 1, 3, 5 y 7 minutos.
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12mL
- Registrar observaciones

### Observaciones

Describe detalladamente los procesos observados.

Metal	Observaciones	Ácido clorhídrico 1M			
		Intervalo de tiempo/volumen de gas (mL) liberado			
		1 min	3 min	5 min	7 min
Litio					
Magnesio					
Aluminio					

Cobre					
-------	--	--	--	--	--

Metal	Observaciones	Ácido acético 1M			
		Intervalo de tiempo/volumen de gas (mL) liberado			
		1 min	3 min	5 min	7 min
Litio					
Magnesio					
Aluminio					
Cobre					

### Preguntas orientadoras:

1. ¿Qué relación existe entre el tiempo y la aparición del gas?
2. Construya una gráfica donde relacione la cantidad de hidrógeno en función del tiempo. ¿Qué puede interpretar de ésta?
3. Ordenar el fenómeno: Ordenar las reacciones de menor a mayor cantidad de hidrógeno liberado en función del tiempo.
4. Teniendo en cuenta el numeral anterior, ¿Qué relación establece entre la cantidad de hidrógeno producido con la idea de afinidad química y velocidad de reacción?

### Lectura 3. ¿Existen otras formas para dar cuenta de la afinidad entre sustancias?

Anteriormente hemos visto que la velocidad de reacción es una manera para medir la afinidad entre sustancias; sin embargo, también encontramos que el calor, que es equivalente al trabajo de reacción, puede dar cuenta de ésta. Uno de los científicos que sustenta esta idea es Jacobus Henricus Vant'Hoff, quien demostró que el máximo trabajo obtenido en una reacción química reversible e isotérmica, era una forma de cuantificar la afinidad química, entendida como una fuerza que produce una transformación química. Demostró matemáticamente que la afinidad o la diferencia de las afinidades que actúan en cada sistema es nula en el punto de transición (*entendida como la temperatura donde coexisten los dos sistemas en equilibrio*), debido a que la afinidad de una reacción directa es igual a la que produce una reacción inversa en este punto. Por lo tanto, el trabajo de afinidad y la fuerza que la produce es igual a cero a esta temperatura.

El principio del trabajo máximo en el cero absoluto expresa que la cantidad de calor liberada es una medida del trabajo de afinidad y su signo indica la dirección en la que se produce el cambio; no obstante, esto no se cumple a temperaturas más altas, ya que a temperaturas más altas su signo se invierte y, por tanto, se debe realizar un trabajo para que la reacción se lleve a cabo. Este cambio de signo indica el cambio de dirección de la reacción que se produce en la temperatura de transición. Lo anterior puede aplicarse a la velocidad, teniendo en cuenta su relación con el trabajo



de una reacción: Sí el trabajo de afinidad es nulo, la velocidad también lo será; si se presenta un trabajo negativo o positivo, el signo de la velocidad será el mismo y la reacción procederá hacia la dirección que corresponda; por ejemplo, si el trabajo es positivo, la velocidad de reacción se desplazará hacia los productos.

Teniendo en cuenta que hay una equivalencia entre trabajo y calor, se puede establecer una relación entre velocidad y calor. Para dar cuenta de esto último, Vant'Hoff expresa matemáticamente la influencia de la temperatura sobre las constantes de velocidad, manifestando que un aumento de temperatura produce un aumento en las constantes de velocidad de reacción, al demostrar que la relación de las constantes de velocidad para dos temperaturas que difieren en 10 grados tiene un valor entre 2 y 3 aproximadamente; es decir, que un aumento de 10° en la temperatura, la velocidad puede duplicarse o triplicarse dado el caso. En este orden de ideas, al medir la velocidad de una reacción al variar la temperatura se puede establecer las medidas de calor absorbido o liberado, teniendo en cuenta que las reacciones pueden ser exotérmicas o endotérmicas. Por lo tanto, el calor también es una medida de la afinidad.

### **Montaje 5. Reacción de ácido clorhídrico y ácido acético con Al, Mg, Li, Cu midiendo la variación de la temperatura en un sistema cerrado**

**Objetivo:** Explicar los procesos de transformación de las sustancias y ordenar el fenómeno a partir de la velocidad de reacción y su relación con el calor producido en un sistema cerrado para dar cuenta de la afinidad química.

#### **Metodología**

- Colocar en diferentes calorímetros una cantidad de 0,107 g de Al, 0,097 g de Mg, 0,027 g de Li y 0,25 g de Cu.
- Adicionar 5,0 mL de HCl 1M. Para el cobre, adicionar 8mL.
- Agitar y medir la temperatura inicial
- Medir la temperatura a la cual llegó el sistema (T° final).
- Repetir la experiencia adicionando 7,0 mL de ácido acético 1M. Para el cobre, adicionar 12,0mL
- Registrar observaciones

#### **Observaciones**

Describa detalladamente los procesos observados:

Metal	Observaciones	Ácido clorhídrico 1M	
		T (°C) inicial	T (°C) final
Litio			

Magnesio			
Aluminio			
Cobre			

Metal	Observaciones	Ácido acético 1M	
		T (°C) inicial	T (°C) final
Litio			
Magnesio			
Aluminio			
Cobre			

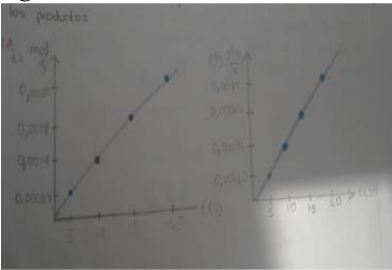
**Preguntas orientadoras:**

1. Ordenar el fenómeno: Ordenar las reacciones de menor a mayor calor producido o absorbido.
2. Teniendo en cuenta el numeral anterior, ¿Cómo se relaciona el calor de reacción producido o absorbido con la idea de afinidad química?

## Anexo 2: Organización de los registros del ejercicio de sistematización

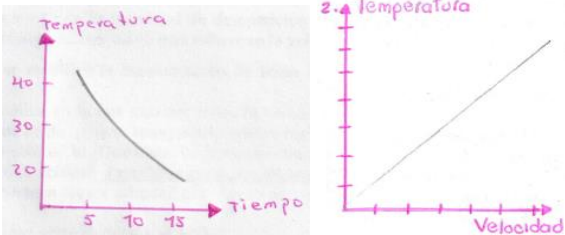
Organización de los registros del ejercicio de sistematización				
FASE 1				
Montaje	Pregunta	Cuestión de análisis	Etiquetas	Registros
1	¿Cómo ocurre la reacción del metal con el ácido? ¿Qué se produce en cada reacción?	El significado de afinidad	Concepto de atracción y cargas opuestas para hablar de afinidad	G5: <i>El litio tiene mayor afinidad/atracción con el cloro, formando cloruro de litio y se desprende el hidrógeno. En el caso del ácido acético ocurre lo mismo (acetato de litio) y se desprende hidrógeno. El cobre no reacciona con el ácido clorhídrico, pues el cloro y el hidrógeno tienen mayor afinidad/atracción.</i> G3: <i>Aluminio tiene una mayor afinidad con cloro, ya que se juntan porque tienen cargas distintas y el elemento hidrógeno se queda solo, dando como un compuesto final el cloruro de aluminio.</i>
	¿Qué sucede con la masa inicial en relación con el tiempo de reacción?	Ordenamiento del fenómeno	Disminución de la masa en función del tiempo. Aproximación al concepto de velocidad.	G5: <i>En el caso del aluminio, el magnesio y el litio, la masa fue disminuyendo con el paso del tiempo, aunque en algunos ocurrió de forma más rápida, como el litio.</i> G8: <i>El magnesio y el aluminio disminuye su masa, el litio desaparece, el cobre no cambia.</i>
	¿Qué relación establece entre la cantidad del metal con la velocidad de reacción?	El significado de afinidad Ordenamiento del fenómeno	Concepto de atracción para hablar de afinidad  Relación de proporcionalidad entre velocidad y cantidad del metal	G1: <i>Entre mayor velocidad de reacción más rápido disminuye la cantidad de metal.</i> G5: <i>Dependiendo de los elementos el consumo de la masa se realizaba más rápido o lento, por ejemplo, la masa del litio se consume pronto y por tanto su velocidad es mayor, sin embargo, ejemplos como el magnesio demuestran que la velocidad fue menor en relación con la cantidad de masa. Esto es un indicativo de la atracción entre los elementos.</i>
	Las reacciones duran los mismos tiempos ¿Por qué?		Tiempos de reacción diferentes	G1: <i>No, ya que cada elemento tiene un tiempo de reacción diferente dependiendo del que se mezcle.</i> G5: <i>No, las reacciones tienen tiempos diferentes dependiendo de la atracción entre los elementos, a mayor</i>

			Concepto de atracción y su relación con la velocidad de desaparición del metal.	<i>atracción, menor tiempo y mayor velocidad de consumo del metal y viceversa.</i>										
Ordene las reacciones químicas de mayor a menor tiempo de reacción	Ordenamiento del fenómeno	Velocidad de reacción – pérdida del metal en función del tiempo		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ácido clorhídrico</th> <th>Ácido acético</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Litio</td> <td>Litio</td> </tr> <tr> <td>Magnesio</td> <td>MagneSio</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>Aluminio</td> </tr> <tr> <td>Cobre</td> <td>Cobre</td> </tr> </tbody> </table> <p>G7:</p>	Ácido clorhídrico	Ácido acético	Litio	Litio	Magnesio	MagneSio	Aluminio	Aluminio	Cobre	Cobre
Ácido clorhídrico	Ácido acético													
Litio	Litio													
Magnesio	MagneSio													
Aluminio	Aluminio													
Cobre	Cobre													
¿A qué se debe que un metal reaccione más rápido con el ácido en comparación con otro metal? ¿cómo puede dar cuenta de esto?	El significado de afinidad	Concepto de atracción para hablar de afinidad Velocidad de desaparición del metal en función del tiempo		<p>G5: <i>Sí un metal reacciona más rápidamente con un ácido que otro metal quiere decir que existe mayor atracción entre sus elementos, se evidencia en la relación tiempo, masa y velocidad.</i></p> <p>G4: <i>Tiene que ver con la afinidad (atracción) con la que cuenta un ácido y un metal. Mg tuvo mayor afinidad con el ácido que el Al que tardo un poco más en diluirse.</i></p>										
¿Hay metales que reaccionan más rápido con un ácido que con el otro en un tiempo determinado?	Ordenamiento del fenómeno Medidas de la afinidad	Afinidad entre sustancias y su relación con la velocidad de reacción		<p>G8: <i>Porque tienen más afinidad, por ejemplo, el litio reacciona más rápido con HCl, mientras que el cobre no reacciona porque no hay afinidad.</i></p> <p>G7: <i>Esta relación está dada por la afinidad del elemento hacia el ácido y un claro ejemplo es el del litio, el cual tiene una gran afinidad(atracción) con el ácido clorhídrico a comparación del ácido acético ya que se disolvió más rápido.</i></p>										

	<p>¿Qué relación existe entre el tiempo y la aparición del gas?</p> <p>¿Qué relación establece entre la cantidad de hidrogeno producido con la idea de afinidad química y la velocidad reacción?</p>	<p>El significado de afinidad</p>	<p>Compatibilidad entre el metal y los ácidos</p> <p>Relaciones entre los metales y los ácidos</p>	<p>G5: <i>La relación que existe es que a medida que aumenta el tiempo de haber puesto a reaccionar las sustancias, aumenta la desaparición de reactivos y a su vez la aparición del gas, en donde es evidente el aumento del volumen... Las sustancias que son más afines son aquellas que reaccionan más rápidamente, produciendo mayor cantidad de hidrogeno en poco tiempo</i></p> <p>G2: <i>Parece ser que la relación que se puede establecer es que a mayor tiempo transcurrido más cantidad de hidrogeno es producido en la reacción, ya que a medida que pasaba el tiempo más volumen de agua en la probeta era desplazado.</i></p> <p>G4: <i>Se podría decir que entre más volumen de hidrogeno, más afines son las sustancias que lo producen</i></p>
<p>4</p>	<p>Grafique lo observado. ¿Qué puede interpretar a partir del comportamiento de cada reacción?</p>	<p>Ordenamiento del fenómeno</p> <p>Medidas de afinidad</p>	<p>Relación de proporcionalidad entre el tiempo y la afinidad</p> <p>Proporcionalidad entre afinidad y velocidad de reacción</p>	<p>G1: <i>“Los metales más afines son Li y Mg ya que pasados 5 segundos para el Li se han transformado más moles para producir hidrogeno”</i></p>  <p>G2: <i>“El Li y el Mg reaccionan muy rápido, produciendo en un tiempo corto gran volumen de hidrogeno”</i></p> <p>G3: <i>“La gráfica del Al y Cu no presenta cambios grandes, por lo que al pasar el tiempo permanece con la misma cantidad de moles”</i></p>

				<p>G2: pensamos que entre más compatibles sean dos sustancias más rápido se transforman y va aumentando los productos, por lo que en el Li y en el Mg se transforman más cantidad de moles, produciendo más hidrógeno.</p>
	Ordene las reacciones de menor a mayor cantidad de hidrogeno			<p>G4: La afinidad entre las sustancias siempre es la misma, ya que esta y otras experiencias el Cu no reacciona con los ácidos y quien reacciona más rápidamente y presenta cambios muy rápidos son los metales como el Mg y Li</p>
<b>FASE 2</b>				
2	¿Qué sucede con la velocidad de reacción cuando se modifica la concentración de ácido clorhídrico y ácido acético?	N.A.	Mayor velocidad de reacción porque hubo una pérdida del metal en un menor tiempo, ya sea al estar disuelto en un ácido de mayor concentración o se aumente la temperatura en el sistema.	<p>G4: Si se aumenta la concentración de ácido clorhídrico y acético, la velocidad de reacción será mayor. El aumento de la concentración del ácido ocasiona que el metal se disuelva en un menor tiempo y por ende la velocidad de reacción será más rápida.</p> <p>G5: Si se modifica la concentración de los ácidos y ésta aumenta, la velocidad de reacción también lo hará. Podemos verlo cuando la masa disminuye con el pasar del tiempo de manera más eficiente si el ácido está más concentrado.</p>

3	<p>¿Qué sucede con la velocidad de reacción al variar la temperatura del sistema? Para ello, realice una comparación con las reacciones del montaje 1, las cuales se desarrollaron a temperatura ambiente.</p>		<p>Relación directamente proporcional entre velocidad y concentración</p>	<p>G1: <i>La velocidad de reacción es más rápida y nos podemos dar cuenta ya que el metal se disuelve en el ácido más rápido.</i>  G5: <i>Al variar la temperatura, la velocidad de reacción también cambia y si se aumenta, la velocidad de la reacción será mayor, disminuyendo el tiempo en disolverse el metal.</i></p>
2	<p>Teniendo en cuenta el numeral anterior, haga una gráfica en la que muestre cómo la velocidad en función del tiempo va variando en relación con la concentración de ácido.  ¿Cómo interpreta la gráfica realizada?</p>		<p>Relación directamente proporcional entre velocidad y temperatura</p>	<div data-bbox="1276 464 1822 695" data-label="Figure"> </div> <p>G1: <i>A mayor concentración del ácido, el tiempo en el que se disuelva el metal será menor pero su velocidad de reacción será más rápida.</i>  G5: <i>La reacción aumenta su velocidad cuando la concentración del ácido aumenta, por tanto, es una relación entre concentración y velocidad directamente proporcional, lo mismo ocurre en el caso contrario, a menor concentración menor velocidad.</i></p>

3	<p>Teniendo en cuenta el numeral anterior, haga una gráfica en la que muestre cómo la velocidad en función del tiempo va variando en relación con la temperatura. ¿Cómo interpreta la gráfica realizada?</p>			 <p>G7: En la gráfica se demuestra que a mayor temperatura menos tiempo dura la reacción, pero la velocidad de la reacción se hace más rápida. G5: Básicamente cuando la temperatura aumenta, la velocidad de reacción aumenta y el tiempo disminuye. La relación entre temperatura y velocidad es directamente proporcional.</p>
2	<p>¿Qué metal tiene mayor afinidad con los ácidos? ¿Qué metal tiene menos afinidad con los ácidos? ¿Hay metales que no guardan ninguna afinidad con los ácidos?</p>	<p>Ordenamiento del fenómeno</p> <p>Medidas de la afinidad</p>	<p>Velocidad de reacción para ordenar de mayor a menor actividad química – pérdida de masa del metal en función del tiempo</p>	<p>G4: El elemento que tiene mayor afinidad con los ácidos es el litio, tiene mayor velocidad de reacción y el metal se disuelve en menor tiempo. El elemento que tiene menor afinidad es el aluminio, pues su reacción es la que tarda más (menor velocidad de reacción) y el elemento que no presenta afinidad con los ácidos es el cobre: no presenta ninguna reacción, no hay afinidad.</p>
<p>De acuerdo con las observaciones, ¿Hay metales que tienen más afinidad por alguno de los ácidos? Justifique su respuesta</p>	<p>Relación velocidad - afinidad</p>		<p>G4: Como lo vimos en el experimento, el litio tiene mayor afinidad con HCl, pues sin importar los cambios de concentración o la temperatura, la reacción siempre va a ser la misma y siempre se va a dar, lo pudimos identificar visualizando como el litio se disolvía más rápido en el HCl. G8: Sí, hay metales con mayor afinidad al ácido, por ejemplo, el litio reacciona más rápido con el HCl que con el acético. Se disuelve más rápido.</p>	
<p>¿Cómo se relaciona el tiempo de reacción con la afinidad entre el metal y el ácido?</p>	<p>Velocidad de desaparición del metal en función del tiempo</p>		<p>G7: Entre más afinidad tenga el metal con el ácido, menor tiempo tarda en disolverse la masa y más rápido termina siendo la reacción. G4: Dependiendo de las sustancias y la afinidad que los mismos tengan al unirse dependerá el tiempo. Un metal y un ácido se atraen más cuando tardan menos en reaccionar, así</p>	



			da cuenta de la afinidad entre dos sustancias	<i>mismo si no tienen afinidad no ocurrirá ninguna reacción química y sin importar el tiempo que pase no actuará ni se disolverá el metal en el ácido.</i> G5: “A mayor afinidad entre las sustancias, mayor es la velocidad de reacción, lo que quiere decir que es más rápida y toma menos tiempo”
3	¿El orden de las reacciones es la misma que en los montajes anteriores? ¿Por qué?	Ordenamiento del fenómeno	Se mantiene el mismo orden, lo que cambia es la velocidad de reacción	G5: A pesar de los aumentos de temperatura y los cambios ocurridos en la velocidad de reacción, el orden se mantuvo: El litio siendo el primero y el cobre sin reaccionar. G7: Sí, el orden se mantiene lo que se modifica es la velocidad de reacción.
2	¿La afinidad química entre el metal y el ácido se ve afectada por la variación de la concentración del ácido? Justifique su respuesta	Concepto de afinidad	La concentración o el aumento de temperatura no afectan la afinidad entre las sustancias ya que la reacción se da.	G4: Si hay mayor o menor concentración de ácido, la reacción química tendrá lugar porque las sustancias son afines y hay atracción entre estos. G5: Al cambiar la concentración, aumentarla o disminuirla, la afinidad no se vería influenciada, pues si existe una reacción ya hay una afinidad.
3	¿La afinidad entre el metal y el ácido se ve afectada por la variación de temperatura? ¿por qué?			G1: No, la afinidad no se ve alterada, pues cuando ocurre una reacción hay una afinidad, lo que cambiaría en esta situación sería la velocidad. G4: La afinidad sigue siendo la misma, aunque la temperatura (más alta) permite que se diluya con mayor rapidez el metal y viceversa, la reacción siempre se va a dar.
<b>FASE 3</b>				
5	¿Cómo relaciona el cambio de temperatura con el calor producido o absorbido en la, reacción y la idea de afinidad química?  Ordenar las reacciones de menor a mayor calor producido o absorbido	Concepto de afinidad  Ordenamiento del fenómeno	Interacción entre las sustancias  Afinidad como una fuerza	G6: La afinidad es la interacción entre dos o más sustancias, tal vez se puede ver como una fuerza que es equivalente a la velocidad de reacción. Por lo tanto, entre más velocidad de reacción más afinidad y entre menor velocidad de reacción menos afinidad. G2: Cuando la reacción es más exotérmica, es decir cambia su temperatura en aumento, indica que las sustancias que están relacionándose en el calorímetro son más afines, esto se puede concluir porque la que presento más aumento en la temperatura fue la reacción del Li con el ácido y ya

			Relaciones de proporcionalidad entre velocidad, calor producido y afinidad	<p><i>habíamos visto que era la que siempre reaccionaba más rápido.</i></p> <p><i>G7: La afinidad entre las sustancias es la misma y parece no cambiar. El Li siempre sobresale entre los demás metales y el Cu y Al son los que no reaccionan”</i></p>
	¿Cómo puede medir la afinidad química?	Medidas de la afinidad	Cambios de temperatura en el desarrollo de la reacción	<p><i>G5: Los cambios de temperatura son mayores, es decir la reacción aumenta su temperatura indicando que al reaccionar los ácidos y los metales liberan calor, lo que indica que son exotérmicas. Las reacciones que liberaron más calor son las del Mg y Li, lo que nos ayudó a comprobar que son las más afines como habíamos visto en los experimentos anteriores</i></p> <p><i>G4: Las reacciones liberaron calor menos la del Cu, lo sabemos porque aumento la temperatura cuando reaccionaban el Li, el Mg y Al con el ácido. Esto nos ayuda a comprobar lo que ya habíamos visto, que son afines estos metales, pero no lo es el Cu.</i></p> <p><i>G1: Las reacciones cambian su temperatura, pero no en la misma cantidad</i></p>