

Análisis Histórico-Critico y Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad

**Oscar Andrés Caro Castellanos
Deivys Alfredo Mosquera Quevedo**

Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Docencia de las Ciencias Naturales

Asesores:

**José Francisco Malagón Sánchez
Sandra Sandoval Osorio**

**Línea de investigación:
Enseñanza de las ciencias desde una perspectiva cultural**

Grupo Física y Cultura

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Física
Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales
Bogotá, D.C. 2015**

Agradecimientos

A nuestras Familias (ustedes saben quiénes son), por soportar las ausencias y apoyar de manera incondicional; a nuestros mentores Sandra y Francisco, que cada ocho días nos contagiaban con su experimentación y fenomenología; a la Maestría por transformar para bien nuestro quehacer docente; al Colegio Atenas por abrirnos su espacio y a los Estudiantes que todo el tiempo estuvieron dispuestos a aprender, así no tuvieran clase. A todos gracias.

RESUMEN ANALITICO DE EDUCACION – RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado en maestría de profundización.
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central.
Título del documento	Análisis histórico-crítico y actividad experimental en la enseñanza de la basicidad.
Autor(es)	Caro Castellanos, Oscar Andrés; Mosquera Quevedo, Deivys Alfredo
Director	Malagón Sánchez, José Francisco; Sandoval Osorio, Sandra
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2015. 125 pág.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	Análisis histórico crítico, actividad experimental, basicidad, álcalis, ácidos, explicación de fenómenos.

2. Descripción
<p>En este documento se presenta el proceso investigativo que se llevó a cabo para explicar las propiedades básicas que tienen las sustancias desde un análisis histórico crítico elaborado a fuentes primarias de autores como Boyle, Lemery o Fischer, para construir una ruta de aula que aplicada en estudiantes de grado octavo posibilitó realizar análisis entorno a las explicaciones que estos realizan al momento de desarrollar la actividad experimental.</p> <p>Los análisis aquí expuestos denotan la forma como los estudiantes caracterizan, clasifican y organizan la cualidad básica de las sustancias partiendo de las cenizas de la madera, la limpieza de metales, el sabor amargo, el cambio de color con indicadores de origen natural y la comparación de su fuerza mediante la neutralización con los ácidos.</p> <p>Las consideraciones que emergen se relacionan con la afirmación: el análisis histórico-crítico suscita actividades experimentales que posibilitan la construcción de explicaciones y organización del fenómeno de la basicidad. Se dividen para su comprensión en los aportes que hace la historia de las ciencias a la comprensión del</p>

fenómeno, las explicaciones que produce manifestadas en el lenguaje que usan los estudiantes y los aportes que se derivan para el entendimiento de las sustancias básicas.

Este trabajo se desarrolla en el contexto del programa de Maestría en docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional y se encuentra inscrito en la línea de investigación del grupo de Física y Cultura.

3. Fuentes

Boyle, R. (1664). *Experiments and considerations touching colours*. London: Henry Herringman.

Bunge, M. (2000). *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. México D.F.: Siglo Veintiuno Editores.

Chaptal, J. (1790). *Éléments de Chymie. Tome III*. Montpellier: Jean-Francois Picot.

Fischer, E. (1819). *Physique mécanique*. (Trad. de Biot). Paris: Vve Courcier (Original en Alemán).

Franckowiak, R. (2002). Les sels neutres de Gullaume-Francois Roulle. *Revue d'histoire des sciences*, 55(4), 493-532.

Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-296.

Gallego, R. y Pérez, R. (2006). *La enseñanza de las ciencias experimentales. El constructivismo del caos*. Bogotá: Editorial Cooperativa editorial del Magisterio.

Giordan, A. y Vecchi G. (1995). *Los orígenes del saber*. Serie Fundamentos N° 1. Colección investigación y enseñanza. Sevilla: Diada Editorial.

Hempel, C. (1996). *La explicación científica. Estudios sobre la filosofía de la ciencia*.

(Trad. de Frassinetti de Gallo, Míguez y Ruiz) Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A. (Original en Inglés, 1965).

Hess, M. (1842). On the scientific labours of Jeremias Benjamin Richter. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(136), 81-95.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.

Koponen, I. y Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15, 31-54.

Lémery, N. (1675). *Cours de chymie*. Paris: l'auteur.

Malagón, F., Ayala, M. y Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Malagón, F., Sandoval, S. y Ayala, M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica*, 36, 119-138.

Paracelso. (1945). *Obras Completas (Opera Omnia)*. (Trad. de Lluesma). Buenos Aires: Editorial Schapire (Original en Alemán, 1599).

Rouelle, G. F. (1759). *Cours d' experiences chymiques*. Paris: Bertin.

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*, Volumen Extra (13).

Segura, D., Molina, A. y Pedreros, R. (1997). *Actividades de investigación en la clase de ciencias*. Sevilla: Díada Editora S.L.

Van Helmont, J. (1671). *Les oeuvres de Jean Baptiste Van Helmont, traittant des*

principes de medecine et physique, pour la guerison assurée des maladies. (Trad. de Le Conte). Lyon: Jean Antoine Huguetan & Guillaume Barbier.

4. Contenidos

La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos. En el primero se plantea la problemática, sus antecedentes, el objetivo, la tesis a defender, su justificación y se describe la metodología a seguir. En el segundo se aborda el análisis histórico crítico realizado a textos y documentos de personajes que aportaron a la caracterización de las sustancias básicas. En el tercero se describe la forma como se considera la actividad experimental y la explicación que hacen las personas al comprender un fenómeno. En el cuarto se muestra la ruta de aula implementada con los estudiantes dividida en cinco fases que van desde la caracterización, clasificación y organización hasta la jerarquización de las sustancias. En el quinto capítulo se muestran las consideraciones que arroja la ejecución de la ruta de aula basados en la incidencia de lo histórico, las explicaciones que realizan los estudiantes, los aportes que se derivan para el conocimiento y enseñanza de las propiedades de las bases. Al final del documento se encuentran los anexos, la ruta de aula seguida por los autores para la realización de la propuesta.

5. Metodología

La investigación se realiza con 22 estudiantes del grado octavo en la jornada de la tarde de la Institución Educativa Distrital Atenas, ubicada en la Localidad 4ta San Cristóbal al sur oriente de Bogotá, para su ejecución se proponen cuatro momentos que son: Definición del problema de investigación, revisión de la literatura y análisis histórico-crítico, diseño e implementación de la ruta de aula, e interpretación y discusión de resultados.

Basados en el reconocimiento de problemáticas en torno a la enseñanza de la basicidad en los niveles educativos de secundaria, se identifican los antecedentes investigativos y seguidamente se procede con la lectura de fuentes primarias, donde la fenomenología de la basicidad se va construyendo mediante el diálogo de los docentes investigadores

con los textos y algunos relatos históricos de ciencia, en un proceso conjunto que se puede denominar análisis histórico-crítico.

Producto de lo anterior, se diseña e implementa una ruta de aula que contiene narraciones de hechos históricos escritas por los docentes y actividades experimentales adaptadas al contexto de la enseñanza de las ciencias naturales en la básica secundaria. La información resultante se extrae por medio de registros escritos, entrevistas y notas de campo, centrandó el interés en el significado que los estudiantes han construido sobre la basicidad de las sustancias

La información obtenida se analiza desde el enfoque interpretativo-descriptivo, el cual consiste en describir lo que se entiende haciendo la reconstrucción pertinente, de manera que, es necesario hacer una selección de datos e interpretación de tal información para producir una narrativa descriptiva que dé cuenta de las explicaciones construidas sobre el fenómeno.

6. Conclusiones

El abordar la fenomenología de la basicidad mediante la elaboración de un análisis histórico-crítico basado en fuentes primarias, arroja experiencias para ser integradas en la construcción de una ruta de aula, en la cual los individuos a partir de su organización cognitiva previa y recurriendo a los sentidos empiezan a caracterizar, clasificar, organizar y comparar las cualidades de las sustancias.

Se afirma que la construcción de explicaciones en torno a las sustancias básicas es un proceso dinámico, en el cual se organizan constantemente las ideas entre lo predicho, lo observado y su análisis, que se concretiza en el experimento pero que se significa mediante el diálogo. Esto pone en cuestionamiento teorías científicas existentes como las que exponen hidrogeniones e hidroxilos para entender el comportamiento de las bases, debido a que durante la experiencia no se recurre a conocimientos más allá de los logrados por medio de la experiencia.

Asimismo, se manifiesta como fundamento de las explicaciones construidas la negociación de significados para describir las sustancias básicas y afirmar

generalizaciones en su comportamiento, las preguntas e inquietudes generadas y los modos de proceder en busca de la perfectibilidad de la actividad experimental, con lo cual se configuran nuevas formas de lenguaje alrededor del fenómeno y se formalizan tales explicaciones.

Finalmente, la investigación da cuenta de la existencia de diversas relaciones que se entretienen al interior del laboratorio para tratar de explicar el comportamiento de las bases, lo cual propone una forma diferente de entender las dinámicas de la escuela y el conocimiento que allí se construye. Es por ello que se debe priorizar la actividad experimental e investigar tal dinamismo para favorecer los procesos de motivación, curiosidad, diálogo argumentativo y construcción de explicaciones.

Elaborado por:	Caro Castellanos; Oscar Andrés, Mosquera Quevedo; Deivys Alfredo
Revisado por:	Malagón Sánchez, José Francisco; Sandoval Osorio, Sandra

Fecha de elaboración del Resumen:	27	05	2015
--	----	----	------

CONTENIDO

CONTEXTO PROBLEMÁTICO: ENSEÑANZA DE LA BASICIDAD	12
INTRODUCCIÓN	12
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	12
Antecedentes sobre la enseñanza del concepto ácido-base	13
Antecedentes sobre la construcción histórica del concepto ácido-base y su implicación en la enseñanza	18
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
OBJETIVOS.....	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos.....	24
JUSTIFICACIÓN	25
ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	26
ANÁLISIS HISTÓRICO-CRÍTICO: CONSTRUYENDO EL FENÓMENO	29
CARACTERIZACIONES Y CLASIFICACIÓN	30
La Alquimia: el origen de los <i>álcalis</i>	30
Paracelso y Van Helmont: la <i>alcalinidad</i> iatroquímica	32
Boyle: el indicador de <i>álcalis</i>	36
EXPLICACIONES Y ORGANIZACIÓN	41
Lémery y Roulle: la complementariedad y las <i>bases</i> de las sales	41
Bergman y Fischer: la afinidad y la equivalencia entre <i>bases</i> y <i>ácidos</i>	45
ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: ENTRE HISTORIA Y EXPLICACIÓN.....	49
Actividad experimental y análisis histórico-crítico	52
Actividad experimental y construcción de explicaciones.....	53

RUTA DE AULA: CAMINO A LA EXPLICACIÓN	57
Fase 1. – Obtención y primera caracterización de álcalis	58
Fase 2. – Caracterización de álcalis y ácidos	63
Fase 3. – Clasificación de álcalis y ácidos	67
Fase 4. – Organización del proceso de neutralización	77
Fase 5. – Organización de la fuerza de bases y ácidos	82
CONSIDERACIONES FINALES: UN ESTUDIO ABIERTO	88
Incidencia de la historia en la comprensión del fenómeno de la basicidad.....	88
Explicaciones sobre el comportamiento de las bases a partir de las actividades experimentales	92
Algunos aportes pedagógicos.....	97
BIBLIOGRAFÍA	99
Anexos	106
Anexo 1. De las Cenizas a los Álcalis.....	106
Anexo 2. Los Sentidos: Una Forma de Agrupar Sustancias.	110
Anexo 3. Los Colores de Boyle.....	114
Anexo 4. De los Álcalis a las Bases.....	118
Anexo 5. Equiparando Bases y Ácidos.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Panorama general de los aspectos metodológicos.....	27
Tabla 2. Fases de implementación de la ruta de aula.....	57
Tabla 3. Fase 1.....	58
Tabla 4. Fase 2.....	63
Tabla 5. Fase 3.....	67
Tabla 6. Fase 4.....	77
Tabla 7. Fase 5.....	82

CONTEXTO PROBLEMÁTICO: ENSEÑANZA DE LA BASICIDAD

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la basicidad en la educación secundaria se ha limitado a la conceptualización de postulados teóricos como los de Arrhenius, Bronsted-Lowry o Lewis, utilizando la historia de la ciencia como una simple anécdota, relegando el papel de la actividad experimental a la verificación de una teoría y asumiendo la explicación como el cálculo matemático del potencial de hidrogeniones, que según algunos postulados solo se encuentran presentes en las sustancias ácidas. Así, el fenómeno es incapaz de trascender a la cotidianidad del estudiante y solo se relaciona con lo establecido en el libro de texto, por lo que la ejemplificación de sustancias básicas es limitada y se reduce a las presentes en el laboratorio de química, si las hay.

Por ende, es conveniente investigar formas alternativas de enseñar la basicidad y reconocer este fenómeno más allá de su relación con la acidez. El presente trabajo utiliza un análisis histórico-crítico para comprender el fenómeno de la basicidad y a su vez diseñar actividades experimentales que posibiliten la construcción de explicaciones en los estudiantes. En las siguientes páginas se desarrollan con detalle tales ideas.

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

A lo largo de las últimas décadas se han realizado algunas investigaciones alrededor de la enseñanza y el aprendizaje del fenómeno ácido-base, pero no se encuentra ninguna que haya indagado por los álcalis o bases en específico. Probablemente este suceso se origina en la dependencia de una sustancia para explicar la otra y de allí el guión que se simboliza entre los dos términos cuando se

escribe (ácido-base). Por otra parte, investigaciones internacionales, nacionales y locales han estudiado los saberes que los estudiantes de diferentes niveles tienen sobre el concepto, hallando marcados desconocimientos con respecto a la concepción de basicidad y no así a la de acidez, lo cual dificultaría el proceso de enseñanza de las sustancias alcalinas o básicas.

Es por esto que en la presente revisión de antecedentes, se examinan los modos de proceder, realizando una permanente reflexión a propósito del papel de las bases en el desarrollo y enseñanza del fenómeno en diversos estudios pedagógicos. No obstante, para facilitar la interpretación de estos antecedentes, es conveniente clasificar las investigaciones que se han desarrollado previamente en dos aspectos, *la enseñanza del concepto ácido-base y la construcción histórica del concepto ácido-base y sus implicaciones en la enseñanza*.

Antecedentes sobre la enseñanza del concepto ácido-base

Frente a este primer aspecto, se recopila información investigativa de Bardanca, Nieto y Rodríguez (1993) sobre la evolución de los conceptos ácido-base a lo largo de la enseñanza, y el trabajo de Matute (2011) acerca de las concepciones escolares en relación a las sustancias ácidas y básicas. Estas demuestran que en general los estudiantes, incluso los de licenciatura en química, no tienen ideas claras sobre las sustancias básicas y de hecho la gran mayoría no da cuenta del nombre o la existencia de alguna base con excepción del hidróxido de sodio, lo que puede ser el resultado de un excesivo trabajo con esta molécula por parte de los docentes. El análisis a estos primeros antecedentes afirma el planteamiento de nuestro problema, según el cual los individuos no identifican ni caracterizan las sustancias básicas, lo que genera serios problemas a la hora de involucrarlas en diferentes contextos o relacionarlas con otros fenómenos en la enseñanza de las ciencias naturales.

De igual manera, los estudios antes referenciados identifican que el término *alcalino* es asociado directamente a las pilas, sin hacer relación alguna con el fenómeno de la basicidad; también expresan como al caracterizar las sustancias básicas se recurre únicamente a los ácidos, indicando que una base es todo lo contrario a un ácido o es aquella capaz de neutralizarlo. Lo anterior pone de manifiesto la necesidad de implicar al fenómeno de la acidez en la presente

investigación, debido a su inherente y reconocido comportamiento opuesto a la basicidad.

Por otra parte, estas mismas investigaciones señalan que los estudiantes no catalogan las sustancias básicas como peligrosas y suponen cierta inactividad en las sustancias neutras, mientras tanto catalogan los ácidos como sustancias agresivas capaces de quemar, argumentando que de ninguna manera pondrían en contacto su cuerpo con sustancias de esas características. Las anteriores afirmaciones dan cuenta del razonamiento de los individuos a partir de los significados colectivamente construidos o de aquello percibido a través de sus sentidos, lo cual daría más valor a una ruta metodológica en el aula basada en la experiencia. También es innegable cómo la parte biológica cobra mayor relevancia al momento de generar discusiones en torno a los ácidos y bases, de hecho el concepto incluso es asociado directamente con el sistema digestivo y el metabolismo.

Particularmente, el estudio de Bardanca, Nieto y Rodríguez (1993) presenta reflexiones frente al manejo asignado a las teorías de ácidos y bases por parte de los docentes, quienes enuncian las teorías en orden cronológico de aparición, como si fuese un saber lineal, lo cual se ve reflejado en los diferentes niveles educativos, por ejemplo, en los cursos escolares superiores predomina la teoría de Arrhenius, mientras que en los últimos semestres de química farmacéutica los estudiantes se inclinan por la teoría de Bronsted y Lowry, mostrándose esta como la más explicativa.

A lo anterior la presente tesis cuestiona ¿Qué tan necesario es que el estudiante repita los postulados de una teoría? ¿Realmente esas teorías científicas tienen significación para los educandos? ¿Cómo los individuos sumergidos en un mundo social pueden construir sus propias explicaciones de los fenómenos? En definitiva, se percibe una problemática en la concepción de la historia de las ciencias, debido a que las teorías son entendidas como dependientes y consecutivas, lo cual no es cierto. De igual manera Bardanca, Nieto y Rodríguez (1993), analizan una marcada influencia de los medios de comunicación cuando se intenta caracterizar el concepto ácido-base, situación trascendental que tiene en cuenta el siguiente antecedente.

Continuando en el campo internacional, la investigación de Jiménez, De Manuel, González y Salinas (2000), acerca de la utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos, menciona que los medios de comunicación permean diariamente los conceptos científicos y por ende actualmente se hace imprescindible utilizarlos en el proceso educativo. Muchas de las concepciones que tienen los estudiantes son influidas por la publicidad, por lo cual resulta útil diseñar currículos o planificar los modos de enseñanza a partir de dichas concepciones.

Los medios de comunicación pueden ser considerados como fuentes de información que han influido en el afianzamiento de muchas de las concepciones sobre los ácidos, pero por lo general no se han inmiscuido con las sustancias básicas y por ende no han generado imágenes al respecto, con lo cual aparentemente pareciera que el fenómeno de la basicidad no existe. Este trabajo realiza un análisis del discurso de publicidades de lava loza, shampoo, desodorante, detergente, crema de dientes y goma de mascar, evidenciando que todas ellas manifiestan controlar el pH al contacto con el cuerpo, además de mencionar frecuentemente el concepto de acidez y no así el de basicidad. En relación a ello, muchos estudiantes afirman que solo ingerirían sustancias de pH cercanos a 7 y muy pocos contestan que consumirían sustancias ácidas, seguramente estos últimos mantienen la concepción de la fortaleza de los ácidos por su carácter destructivo, mientras que los primeros tienen mayor conocimiento sobre los niveles de pH que se manejan en el organismo.

Por último; Jiménez, De Manuel, González y Salinas (2000) plantean una secuencia didáctica basada en las campañas publicitarias, donde los estudiantes observan y realizan análisis alrededor del concepto ácido-base e identifican los posibles procesos de neutralización. Posteriormente, se realiza una actividad experimental para clasificar en la escala pH los productos analizados, apoyándose en papel indicador universal y la col lombarda¹, sin haber construido la magnitud con los educandos ni cuestionarse por qué se escogen los mencionados indicadores.

¹ También conocida como repollo morado, indicador natural que vira a tonalidades rojas con los ácidos y colores verde-azulados con las bases.

Examinando los antecedentes en el plano nacional, se han encontrado investigaciones un poco más generales con respecto al concepto ácido-base. La tesis de maestría de Jiménez (2011) aborda las concepciones alternativas y la construcción de aprendizajes en el aula, argumentando la importancia de los ácidos y las bases en la industria y su afectación al equilibrio natural cuando son utilizadas indiscriminadamente. Utiliza una pedagogía constructivista enfocada en el aprendizaje significativo, aunque resulta un poco desconcertante que se ciña a la legislación de estándares y pretenda mejorar los resultados de las pruebas Saber una vez efectuada la actividad, lo cual conduciría a procesos de homogenización y a que los estudiantes acepten una u otra teoría sin tener plena significación de la misma.

Dicho trabajo utiliza los pretest y postest como mecanismo para comprobar las mejoras de los aprendizajes, considerando que otorgan resultados para indicar el cambio conceptual de los educandos a lo largo de la investigación; dicha tesis se contradice, ya que obviamente los resultados serán mejores si se prepara a los individuos para contestar una prueba determinada previamente, pero en ningún momento se propiciarán situaciones en donde los sujetos se cuestionen a partir de sus observaciones del mundo y puedan elaborar sus propias explicaciones.

Cabe anotar que el componente disciplinar en el trabajo didáctico de Jiménez (2011) se encuentra limitado a la existencia de iones hidronio e hidroxilos en ácidos y bases, lo cual reduce el fenómeno y puede generar vacíos explicativos, por ejemplo, el amoniaco con potenciales hidronios (H) se comporta como base y los alcoholes con grupos hidroxilos (OH) tienen cierta tendencia a la acidez. Así mismo, menciona que los educandos reconocen fácilmente las sustancias básicas por su nomenclatura, identificando rápidamente el ion hidroxilo, lo cual continúa con la visión reduccionista del fenómeno e indica la presencia previa de un proceso escolar. Por otra parte, la investigación aporta concepciones halladas en los estudiantes, quienes caracterizan las bases por su sabor dulce o salado, sin tener percepciones claras con respecto a este tipo de sustancias y demostrando que no se ha construido una caracterización de la basicidad.

Otra investigación general, es la de Zafra (2001) sobre el aprendizaje total de los conceptos científicos ácido-base, en ella se propone una actividad pedagógica que vincule los aspectos conceptuales, metodológicos, actitudinales y axiológicos.

Inicia evaluando las concepciones alternativas por medio de cuestionarios y halla la utilización de expresiones de sentido común o un lenguaje científico poco coherente para hablar de los conceptos. Al plantear la actividad pedagógica, utiliza como pretexto los funcionamientos del planeta tierra y del cuerpo humano, recalcando en sus respectivos cuidados; actividad útil toda vez se inserta el fenómeno cotidiano en la construcción de explicaciones.

Del anterior trabajo se valoran actividades interesantes, como la negociación de significados entre los estudiantes, la evidencia de jerarquización de los conceptos apoyándose en mapas conceptuales, y procesos experimentales en los cuales se utilizan soluciones indicadoras para establecer la acidez o basicidad, o se hacen ensayos de conductividad eléctrica para verificar las mismas características en las sustancias. En cuanto al aprendizaje total de los conceptos ácido-base, el estudio concluye que el aspecto actitudinal de los estudiantes obtuvo el cambio más representativo, mientras tanto el aspecto metodológico no demostró avance. Así mismo tiene en cuenta al concepto de neutralización como elemento fundamental en los cambios conceptuales, evidenciándose mapas elaborados con más jerarquías y mayores conexiones. El presente trabajo de grado considera que la neutralización en algún momento podría apoyar a la construcción de una fenomenología de las bases y de igual manera a la elaboración de explicaciones por parte de los estudiantes.

Por último, algunos antecedentes en los ámbitos nacional y local, se inclinan por la enseñanza de los conceptos ácido-base desde un contexto característico, ejemplo de ellos son la investigación de Salcedo y García (1999) sobre los suelos en la enseñanza de la teoría de Lewis y el trabajo de Rubio, León y Garay (2008) relacionado con una propuesta enfocada hacia el desarrollo del pensamiento científico a partir del funcionamiento del pH en el sistema digestivo.

El estudio de Salcedo y García (1999) basa su enfoque pedagógico en el aprendizaje por investigación dirigida, dándole el protagonismo al estudiante y relegando a un segundo plano el rol del maestro. En la parte metodológica, realiza énfasis en el fenómeno de la electricidad y el potencial de hidrogeniones, llevando a cabo actividades experimentales en relación con los suelos, sin utilizar otros campos en el fenómeno de la acidez. A manera de conclusión, el artículo afirma que pese al desarrollo de la investigación los estudiantes continúan definiendo el

concepto ácido-base desde los postulados de Bronsted y Lowry; por lo cual es necesario construir una fenomenología que posibilite ir más allá de la simple enunciación de teorías.

La investigación de Rubio, León y Garay (2008) realiza un barrido teórico extenso y lineal del sistema digestivo, involucrando los conceptos ácido-base desde el ingreso de los alimentos por la boca y el contacto de los mismos con la saliva, hasta la degradación bacteriana que sufre la materia fecal antes de ser expulsada del cuerpo. Sin embargo, termina siendo un simple ejercicio teórico, por lo cual el mismo trabajo sugiere hacer más comprensible el recorrido mediante un software del sistema en mención.

Lo anterior acentúa la importancia de la experimentación en la enseñanza de las ciencias naturales, debido a que el sujeto podría enfrentarse a preguntas problemas, plantear posibles hipótesis o incluso reformular la experiencia en búsqueda de explicaciones que den cuenta del fenómeno. A manera de conclusión, la investigación menciona que el factor primordial en la generación de pensamiento científico en los estudiantes es la motivación, la cual se encuentra directamente relacionada con las formas de proceder del docente a cargo y su manera de concebir la enseñanza en el proceso educativo.

Antecedentes sobre la construcción histórica del concepto ácido-base y su implicación en la enseñanza

Las explicaciones sobre los fenómenos de la acidez y la alcalinidad o basicidad han sido desarrolladas durante varios siglos, apareciendo desde la época alquímica², ampliándose gracias a otras teorías y técnicas, como la separación de mezclas o la preparación de sustancias durante la ciencia del siglo XVII y consolidándose con la química como disciplina. También han atravesado diferentes concepciones, desde una caracterización netamente sensorial acorde con las propiedades observables, hasta la teoría de Luxy y Flood basada en el proceso de transferencia de iones, y la de Usanovich cimentada en todos las situaciones ácido-base posibles (Muños y Muñoz, 2009). Por ende, algunas

² Esto debido a que no se han encontrado indicios que muestren el estudio de las sustancias ácidas y básicas en las civilizaciones precedentes.

investigaciones sobre ácidos y bases fundamentan la enseñanza en la articulación de los componentes históricos y epistemológicos.

El estudio de Jiménez (2002), muestra la unión que tiene el concepto neutralización con su definición etimológica y hace una revisión histórica del término rastreando el uso dado a la palabra, anexando la definición asignada por la real academia española. Para este trabajo, la teoría de los opuestos hace posible la neutralización y favorece dos teorías explicativas sobre las propiedades de los ácidos, una como agente único universal y otra sobre el antagonismo ácido-base para explicar la neutralización de uno y/o otro.

Por otra parte, la investigación de Furio (2000) plantea la existencia de una deficiencia en la enseñanza de la acidez y la basicidad, debido a que el docente expone situaciones distorsionadas sobre los aportes explicativos en el desarrollo histórico del concepto, dejando de lado las cualidades macroscópicas del fenómeno y enfatizando en los postulados a nivel microscópico. El desarrollo de la enseñanza generalmente inicia con la teoría de Arrhenius, enfatizando en el atomismo con el concepto de ion y vinculando rápidamente la teoría de la electricidad; luego los profesores avanzan rápidamente a la transferencia protónica entre dos pares de sustancias tal como lo proponen Bronsted y Lowry. Analizando lo anterior, resulta evidente la manera en que se realizan saltos históricos sin cuestionar los procedimientos de los científicos y él cómo llegaron a esas explicaciones, lo que podría aportar herramientas conceptuales y procedimentales en la enseñanza de las ciencias.

Continuando en la construcción histórica, la investigación adelantada por García (2006) menciona la necesidad de integrar en la enseñanza procesos de experimentación con hechos históricos sobre el desarrollo del concepto ácido-base, teniendo en cuenta estrategias didácticas que medien entre el contenido disciplinar y la epistemología. Desde lo histórico, este trabajo muestra el desarrollo del concepto ácido-base en términos de una representación sustancialista que incluye los periodos alquímicos, iatroquímicos y la ciencia del siglo XVII, referenciando de manera secuencial los aportes realizados en cada época; posteriormente hace mención a la importancia del siglo XVIII donde se logran nuevos supuestos teóricos para explicar el comportamiento del fenómeno. Esta

descripción hace énfasis en los modelos corpusculares para explicar elementos y, compuestos.

En las investigaciones analizadas no se expresa claramente el surgimiento de explicaciones a partir de las sustancias básicas, toda vez que la descripción histórica sobre la acidez solapa el desarrollo de la basicidad, evidenciándose desde las concepciones de los primeros científicos, los cuales dieron prioridad a la caracterización de los ácidos sobre otras sustancias. Por ende, el presente trabajo considera que históricamente el fenómeno de la basicidad ha estado subordinado jerárquicamente a la caracterización y explicación de la acidez, y esta situación ha trascendido al campo de la educación en ciencias generando dificultades en la enseñanza del tan nombrado concepto ácido-base y su síntesis la escala pH, que es una referencia diseñada para entender el comportamiento de los ácidos y solamente tiene en cuenta a las bases como sustancias con cualidades opuestas pero no propias.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la información permea de manera influyente a todos los miembros de la sociedad y en especial a los integrantes de la escuela. Es así, como los estudiantes diariamente se ven expuestos a un sinnúmero de fuentes que mencionan el término ácido y lo relacionan con un compuesto que tiene poder destructivo porque daña y al cual es peligroso acercarse, formando en los individuos una imagen colectiva. En esta formación de imágenes a partir de la información circundante, poco se tiene en cuenta el comportamiento básico o alcalino de las sustancias, por lo que la explicación de este fenómeno queda reducida a un ambiguo significado de la acidez y una casi inexistente definición de la basicidad. Esto genera un problema ineludible para la escuela, si quiere educar un sujeto capaz de construir sus propias explicaciones y no un individuo que posee acríticamente una información sobre el mundo.

Por lo anterior, la forma de abordar los ácidos y bases en el aula de clase generalmente se da mediante el uso de analogías, las cuales se encuentran fundamentadas en vivencias extraídas de la cotidianidad, tales como, las campañas publicitarias, las noticias de los diarios, las características de los

alimentos, algunos medicamentos y reacciones que tiene nuestro cuerpo al ser sometido a la acción de sustancias que varían el nivel de pH (Jiménez, De Manuel, González y Salinas, 2000). Entonces, se manejan términos como lluvia ácida, dulces ácidos, jabones neutros o acidez estomacal, los cuales crean estructuras mentales en torno al fenómeno y más concretamente a la acción de las sustancias ácidas, pero poco se nombran o se tienen en cuenta los efectos que las sustancias básicas presentan. Es así como se evidencia una cierta desconexión entre los fenómenos cotidianos y los denominados conceptos que se pretenden transmitir en la escuela, ya que cuando se mencionan las bases como sustancias, frecuentemente se hace alusión a reactivos químicos presentes únicamente en el laboratorio, los cuales en la mayoría de los casos no hacen parte de la experiencia próxima del estudiante.

En las clases de ciencias naturales, los fenómenos de acidez y basicidad son enseñados a partir las definiciones de los términos, por lo que está práctica prioriza la explicación de teorías y se limita a la resolución de una serie de algoritmos matemáticos. Esto se resume en una síntesis informativa, plasmada en el tablero, con un uso correcto de la ecuación y la calculadora para resolver ejercicios, sin tan siquiera desarrollar habilidades numéricas y mucho menos construir explicaciones alrededor del fenómeno. Estas acciones terminan siendo un “acto de fe” para el estudiante, toda vez que se encuentran alejadas de la experiencia y la realidad inmediata del mismo. Los materiales didácticos tampoco aportan al proceso, por lo que finalmente el único recurso es plantear prácticas de laboratorio que comprueben lo dicho previamente en la información suministrada dentro del aula de clases.

Esas actividades experimentales diseñadas para comprobar las propiedades ácidas o básicas de las sustancias, por lo general siguen una secuencia de pasos en donde previamente se sabe cuáles serán los resultados, haciéndose obvias para quienes las realizan. Estas prácticas distan del ejercicio que históricamente han hecho los científicos, ya que han surgido de formas experimentales no preestablecidas, ni predecibles, y más bien han implicado para su ejecución una manera muy autónoma que depende de la experiencia personal que cada uno haya tenido (Flores, Caballero y Moreira, 2009). En este sentido, el experimento juega un papel relevante en la ampliación de la experiencia del individuo, pero aquellas acciones escolares que lo distorsionan pueden llegar a generar una

escasa construcción de pensamiento científico-crítico, debido a que son actividades previamente establecidas desde la literatura, que tienden a realizar mecanismos algorítmicos y repetitivos, similares a una receta como las utilizadas en la cocina, sin dejar libertad a que el individuo pueda tomar decisiones en pro de su propia construcción de explicaciones sobre un fenómeno.

En ese contexto, los estudiantes no son participes en la realización del diseño de las prácticas de laboratorio, por lo que tampoco pueden elaborar sus propias investigaciones ni experimentos, las mismas que ayudarían a generar una comprensión del fenómeno de basicidad y a desarrollar esa postura crítica personal frente a la disciplina, esto permitiendo la construcción de su propio conocimiento. Como mecanismo para evaluar la experiencia, se pide a los estudiantes que redacten un informe de la práctica en un lenguaje particularmente impersonal y se valoran las habilidades de han logrado en el manejo de técnicas e instrumentos de laboratorio, aunque parezca complejo reconocer, en qué sentido la habilidad para usar correctamente una bureta es transferible a una situación de la vida cotidiana ajena al laboratorio (Hodson, 1994).

Todas estas situaciones propician que los estudiantes realicen ejercicios de laboratorio sobre acidez y basicidad teniendo sólo una minúscula idea del objetivo de la actividad, sin tan siquiera haber comprendido la finalidad del experimento o las razones que han llevado a escoger tal o cuál práctica, llevando a un casi nulo entendimiento de los conocimientos subyacentes que allí se pueden generar y la forma de relacionarlos con otros saberes de química. Como plantea Pozo, en los laboratorios escolares comúnmente el conocimiento de las ciencias se presenta como un saber acabado, culminado y difícilmente criticable por los estudiantes, con lo cual es lógico asegurar que los educandos no despliegan actitudes científicas y por tal motivo evidencian falta de interés. Si se continua enseñando un concepto ácido-base que dirige su preocupación hacia los ejercicios numéricos y las técnicas de laboratorio, se presentará a muchos niños una barrera casi irrompible entre la ciencia escolar y el mundo real (Pozo, 2000).

No obstante, reflexionando en torno a la epistemología e historia de las ciencias, nos encontramos que la construcción de explicaciones sobre la sustancias básicas inicia desde la experimentación, tal como en los estudios de los colores que tenían las sustancias de este tipo, la disociación que las mismas presentaban en agua o

la carga eléctrica producto de la ionización de sus componentes. La experimentación planteada históricamente por los científicos, los llevó a significar esta fuente de conocimiento como legítima y racionalizar las actividades allí realizadas para reorganizar la experiencia y poder inventar una teoría que permitiera dar cuenta de lo sucedido, teniendo presente la comprensión de la ciencia como una dimensión cultural (Elkana, 1981).

Basados en lo anterior, afirmamos que es necesario apoyar la enseñanza de las ciencias en la experimentación, teniendo como punto de partida la historia de las ciencias (Gagliardi, 1988). Esta puede configurar la construcción de una fenomenología de la basicidad y además ser una iniciativa acertada para despertar el interés por la explicación del fenómeno. Sin embargo, debemos tener en cuenta dos observaciones primordiales a la hora de analizar los supuestos epistemológicos.

Por un lado, existe un desequilibrio histórico entre la importancia que se le atribuye a la basicidad con respecto a la acidez, evidenciado en el trabajo experimental de los científicos para quienes los compuestos ácidos han presentado una preponderancia sobre las bases y estas han sido explicadas solo en función y en comparación de los primeros. Los dos términos se plantean con la química árabe y su herencia greco-egipcia, para ese entonces las bases se conocían como álcalis, adjetivo perdido con la formulación de teorías explicativas y circunstancia que dificulta su estudio, ya que etimológicamente no tienen un reconocimiento directo. Estos hechos vuelven a poner en discusión el problema de identidad que epistemológicamente presenta el fenómeno de la basicidad.

Desde otro supuesto, históricamente no ha existido una teoría sobre ácidos y bases que logre comprender el fenómeno de manera absoluta. Los modelos explicativos se han situado a partir de enfoques sustancialistas o corpusculares, pero no han logrado poner en convergencia estos dos aspectos y relacionar el fenómeno a niveles macroscópicos y microscópicos, lo cual no posibilita la articulación entre experiencias directamente observables con formas de explicación atomistas.

Por otra parte, situados en la legislación colombiana de educación en ciencias y particularmente en el estándar curricular que afirma la comparación entre los

modelos que sustentan la definición ácido-base (Ministerio de Educación Nacional, 2004), como forma de estructurar la enseñanza del fenómeno, planteamos los cuestionamientos ¿Qué significados dará el estudiante a unas definiciones que no han sido las suyas? y ¿Cómo se construyen las explicaciones sobre el fenómeno de la basicidad? Si bien, a lo largo del proceso de enseñanza los modelos explicativos pueden aparecer, es necesario que los estudiantes los interioricen y más que compararlos los hagan suyos, situación que consideramos solo puede llevarse a cabo colocando a la experiencia como mediador.

Por tanto, en virtud del problema epistemológico del fenómeno de la basicidad y como este es llevado a la enseñanza de las ciencias naturales, nuestra perspectiva defiende la tesis que *“El Análisis Histórico-Crítico Suscita Actividades Experimentales que Posibilitan la Construcción de Explicaciones y Organización del Fenómeno de la Basicidad”*.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la incidencia de un estudio histórico-crítico en la relación entre la actividad experimental y la construcción de la fenomenología de la basicidad para la enseñanza de las ciencias.

Objetivos Específicos

- Construir la fenomenología de la basicidad a partir de la realización de un análisis histórico-crítico con fines pedagógicos.
- Diseñar actividades relacionadas con las sustancias básicas que involucren la experimentación y la construcción de explicaciones en estudiantes de secundaria.
- Caracterizar las explicaciones construidas por los estudiantes de secundaria sobre el fenómeno de la basicidad para relevar la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias.

JUSTIFICACIÓN

Las circunstancias contemporáneas en el campo educativo, donde no se ha podido encontrar una manera única y efectiva de enseñanza, invitan a que los docentes cambien sus ejercicios tradicionales y propendan por construir alternativas diferentes de enseñanza basadas en investigaciones de situaciones específicas y contextuales, teniendo en cuenta consideraciones epistemológicas e histórico-críticas.

Ubicándose en el problema específico de la enseñanza de la basicidad, por medio de un análisis histórico-crítico de las sustancias básicas, esta investigación pretende aportar una fenomenología que posibilite ampliar la experiencia de los estudiantes y docentes, diseñando actividades experimentales para impulsar los modos de explicación y establecer una manera alternativa de enseñar el fenómeno ácido-base. Así mismo, procura disminuir el exagerado uso de técnicas de laboratorio que solamente intentan instruir habilidades procedimentales poco significativas en la cotidianidad de los estudiantes, conformando visiones de ciencia donde el experimento confirma lo dicho por la teoría generalmente plasmada en libros de texto.

Para ello, se propone poner en cuestionamiento continuo el fenómeno, asignando un papel relevante a la actividad experimental y teniendo como referente la historia de las ciencias desde un enfoque crítico, debido a que esta última puede dilucidar el problema epistemológico de las bases, tratando de profundizar en sus orígenes y siguiendo detenidamente su desarrollo, de tal manera que se logren orientar modos de enseñanza a partir de sus cualidades y posible organización. En suma, realizar aportes disciplinares a la comunidad que enseña las ciencias naturales.

La experimentación como un factor relevante en la enseñanza de la basicidad, puede dar elementos para entender el comportamiento de las sustancias básicas y facilitar la construcción de explicaciones del fenómeno por parte de los estudiantes, de esta manera ampliar el saber que ellos tienen al respecto para generar una imagen de conocimiento que conlleve a la utilización adecuada tanto de los compuestos básicos como de los ácidos. Tal imagen puede ser vinculada

en el entramado cultural del sujeto, por lo cual éste podrá realizar un análisis crítico a los comportamientos sociales que se vienen presentando con respecto a este tipo de sustancias.

Del mismo modo, durante la enseñanza de la basicidad a partir de una perspectiva fenomenológica, probablemente los estudiantes consigan establecer múltiples conexiones con otras temáticas, un ejemplo de esta situación puede ser el estrecho vínculo que tiene la basicidad con la fisiología de los organismos, su papel antagónico frente a la acidez de diversas sustancias y su inminente participación para llevar a cabo los procesos de neutralización.

Lo anterior desemboca en un entramado de relaciones y bifurcaciones que complejizarían la explicación del fenómeno, abarcando un campo más amplio en la enseñanza de las ciencias naturales, donde la comparación de las características de las sustancias vean en las cualidades básicas un potencial erróneamente discriminado por la historia de las ciencias y difuminado epistemológicamente, debido a que la disciplina conocida como “química” ha negado la posibilidad de explorar otras formas de enseñar las propiedades de las sustancias. Por ende, se proyecta hacerlo no desde la acidez sino desde la basicidad, lo cual fortalece, profundiza y amplía la enseñanza del fenómeno ácido-base en las ciencias naturales.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para facilitar la consecución de los objetivos planteados, la presente tesis propone cuatro momentos: definición del problema de investigación, revisión de literatura y análisis histórico-crítico, diseño e implementación de la ruta de aula, e interpretación y discusión de resultados. En la Tabla 1. se puede apreciar un panorama general de tales aspectos metodológicos, reconociendo que no es requisito haber completado un momento para poder acceder al siguiente, por lo cual en ocasiones estos convergen.

Tabla 1. Panorama general de los aspectos metodológicos.

Momento	Objetivo	Actividad	Herramienta Investigativa
Definición del problema de investigación	Formular un contexto problemático en el campo de la educación en ciencia.	Planteamiento de problemas en la enseñanza de las ciencias.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Análisis de referentes</i>
Revisión de literatura y análisis histórico-crítico	Construir la fenomenología de la basicidad a partir de la realización de un análisis histórico-crítico con fines pedagógicos.	Búsqueda de textos.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Análisis de referentes</i>
		Lectura de fuentes primarias y análisis de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Registros escritos</i> • <i>Análisis histórico-crítico</i> • <i>Narrativa descriptiva</i>
Diseño e implementación de la ruta de aula	Diseñar actividades relacionadas con las sustancias básicas que involucren la experimentación y la construcción de explicaciones en estudiantes de secundaria.	Diseño de actividades de aula desde las comprensiones logradas en el análisis histórico-crítico.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Validación entre pares</i>
		Aplicación de la ruta de aula.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Notas de campo</i> • <i>Entrevistas</i>
Interpretación y discusión de resultados	Caracterizar las explicaciones construidas por los estudiantes de secundaria sobre el fenómeno de la basicidad para relevar la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias.	Interpretación y descripción de las explicaciones construidas por los estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Registros escritos</i> • <i>Sistematización</i> • <i>Narrativa descriptiva</i>

El permanente cuestionamiento de los docentes en torno a la enseñanza de las teorías ácido-base presentes en su quehacer diario y las nuevas perspectivas conocidas por los mismos en la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, convergen para formular una problemática sobre la enseñanza de la basicidad en los niveles educativos de secundaria. Esta situación se delimita y enriquece cada vez que los docentes investigadores abordan escritos científicos en fuentes primarias.

La fenomenología de la basicidad se va construyendo mediante el diálogo de los docentes investigadores con las fuentes primarias y algunos relatos históricos de ciencia, en un proceso conjunto que se puede denominar análisis histórico-crítico. En este momento, son los docentes quienes estructuran sus propias comprensiones sobre el fenómeno, suscitando diversas actividades experimentales para posibilitar que los estudiantes también construyan explicaciones sobre la basicidad.

Por tanto, se diseña una ruta de aula que contiene narraciones de hechos históricos escritas por los mismos docentes y actividades experimentales adaptadas al contexto de la enseñanza de las ciencias naturales en la básica secundaria, dicha ruta puede apreciarse en la sección de **anexos**. Cuando se implementa la ruta de aula, la información resultante se extrae por medio de registros escritos, entrevistas y notas de campo, centrando el interés en el significado que los estudiantes han construido sobre la basicidad de las sustancias. Particularmente, la entrevista permite la comunicación directa con los estudiantes y da la opción de profundizar en las experiencias y el sentido que se construye de las mismas (Maykut y Morehouse, 1999).

La información obtenida se analiza desde el enfoque interpretativo-descriptivo, el cual consiste en describir lo que se entiende haciendo la reconstrucción pertinente, de manera que, es necesario hacer una selección de datos e interpretación de tal información para producir una narrativa descriptiva que dé cuenta de las explicaciones construidas sobre el fenómeno de la basicidad (Maykut y Morehouse, 1999).

ANÁLISIS HISTÓRICO-CRÍTICO: CONSTRUYENDO EL FENÓMENO

La historia de las ciencias permite indagar cuáles han sido los problemas, las preguntas, los retos, la experimentación, los métodos y las tesis, que posibilitaron la generación de explicaciones en torno a un fenómeno particular, así como la forma en que éstos han modificado los supuestos culturales de la época o han determinado nuevos fenómenos a tener en consideración (Gagliardi, 1988). Por consiguiente, reconociendo la importancia del análisis histórico crítico, en la presente investigación se pretende construir una fenomenología de la basicidad, que vaya más allá del concurrido supuesto ácido-base, que exponga postulados teóricos para su comprensión y propicie rutas metodológicas de abordaje en el aula, teniendo en cuenta la importancia de la actividad experimental en la construcción del fenómeno.

Las propiedades que en la actualidad se aducen a las sustancias básicas, también llamadas alcalinas o hidróxidos, surgen como una sucesión de acontecimientos que lejos de ser linealmente contruidos han cambiado de manera álgida y han sido soportados por medio de teorías. Sin embargo, históricamente la formulación de una teoría sobre la basicidad ha estado subordinada al desarrollo de la fenomenología de la acidez, es decir, en la evolución de la química los ácidos tienen mayor relevancia que las bases, arrojando como resultado una imagen de la basicidad poco estructurada y relegada a la necesidad de uso, por cuanto sólo se mencionan cuando se aborda el tema de acidez, neutralización o potencial de hidrogeniones.

Es suma, las bases carecen de una identidad propia que soporte su estudio, por lo cual se pretende construir su fenomenología dividiendo el desarrollo histórico en dos partes. Iniciando, *caracterizaciones y clasificación*, muestra la asignación de cualidades y la clasificación del fenómeno de la alcalinidad en la época de la alquimia árabe y a lo largo del siglo XVII, lo cual pone de manifiesto que la

cualidad es la que permite organizar el fenómeno y avanzar en su construcción teórica (Sandoval, Malagón y Ayala, 2011), para finalizar con *explicaciones y organización*, donde se evidencia el proceso de organización de sustancias y las explicaciones elaboradas alrededor del fenómeno de la basicidad desde el siglo XVII hasta el siglo XIX.

CARACTERIZACIONES Y CLASIFICACIÓN

La Alquimia: el origen de los *álcalis*

El presente análisis comienza en los antiguos periodos alquímicos, donde las caracterizaciones de los fenómenos naturales se encuentran ligadas a la teología y son fundamentadas por las técnicas egipcias, el componente filosófico griego y el misticismo multicultural, tal como se evidencia en el texto *Physika Kai Mystika* escrito por Bolos Demócrito³ en el siglo I a. C., que explica cómo fabricar oro, plata y gemas púrpuras mediante una recopilación de recetas mesopotámicas, persas, babilónicas y chinas, poniendo en consideración a la alquimia como un oficio al igual que la agricultura, el pastoreo, la alfarería, la carpintería y la orfebrería (Arribas, 1991).

En la alquimia el fuego posee un papel preponderante, pues se le piensa como un producto divino que es entregado a los hombres para realizar transformaciones a la materia, por consiguiente los alquimistas son considerados *señores del fuego* (Eliade, 1974), y en reuniones alrededor del mismo desarrollan procesos para identificar las propiedades perceptibles de diversos metales y algunas soluciones, lo cual origina una primera caracterización que integra lo observable con las cosmovisiones de la época. En estas primeras exploraciones mediadas por el fuego, surgen ideas dicotómicas como materia-espíritu o azufre-mercurio, que más adelante abrirán el camino a los opuestos y complementarios fijo-volátil o ácido-álcalis.

La alcalinidad tiene su origen en el siglo VII, cuando los árabes heredan la alquimia greco-egipcia y luego de sus trabajos con diferentes sustancias instituyen

³ Es reconocido como el primer alquimista griego debido a sus escritos.

el término⁴ *al-quili* (álcali) al grupo de compuestos que se comportan similar a la lixiviación de las cenizas⁵ (Leicester, 1967). De manera particular, las cenizas se vinculan con el misticismo que perdura en la época, por lo cual son importantes en la creación de concepciones mitológicas como “*el Ave Fénix*” o en la práctica de rituales chamanes de acercamiento al conocimiento y la divinidad. Pero más allá de las creencias alquímicas, dichas sustancias son caracterizadas por su efecto en los metales y particularmente por su utilización en la limpieza de armaduras (Gebelein, 2007).

Este “efecto limpiador” de las cenizas procede desde la antigua Babilonia (Willcox, 2000), cuando algún alquimista elabora una mezcla con cenizas vegetales, grasa animal y agua, la lleva a hervir durante varias horas y al dejarla enfriar nota la conformación de una pasta sólida, uniforme y resbalosa al tacto, que al mojarse produce una solución espumante capaz de limpiar la grasa y la mugre de los metales, la ropa, los utensilios donde se había preparado y servido la comida, e incluso el mismo cuerpo humano (Gutiérrez, 2002). En tiempos de la Alquimia Romana tal invento se conoce como *saponem*⁶, es popularizado y se convierte en uno de los primeros y más significativos usos de los álcalis en la historia (Willcox, 2000).

Dentro del grupo de álcalis, también puede encontrarse la famosa *Sal de Amón*⁷, una sustancia que se obtiene en la combustión del estiércol identificándose en forma de cristales blancos entre las cenizas oscuras. Ésta es la primera en ser denominada *álcali fijo* y se sublima para obtener *álcali volátil* (amoníaco en la actualidad), el cual es simbolizado con una estrella de 8 puntas de brazos afilados (Osacar, 1990).

⁴ Otro término interesante que instaura la alquimia es *al-kohl*, refiriéndose a la sustancia extraída del vino mediante procesos de destilación.

⁵ El proceso de lixiviación se puede presentar cuando por acción de la lluvia o la intencionalidad del hombre las cenizas tienen contacto con el agua, quien se encarga de disolver ciertas sustancias y favorecer la humedad del material.

⁶ Según Willcox (2000) el término proviene del Monte Sapo, una montaña ficticia que se supone existe en algún lugar cerca de Roma y en la cual se sacrificaban animales para fundir su grasa con cenizas y fabricar el jabón. Cuenta además que los romanos llevaban el “*Saponem*” a orillas del río Tíber para lavar su ropa y utensilios.

⁷ Esta sustancia tiene su nombre en honor a *Amón-Ra*, dios de *Heliópolis* y principal divinidad solar de la religión egipcia.

Muchas características de los álcalis están mediadas por su clasificación en “fijo” y “volátil”. Los álcalis fijos se encuentran en sustancias corporales como la orina, el sudor, la saliva, el jugo pancreático o la bilis, igualmente pueden obtenerse al mezclar agua con cenizas de diferentes plantas, son resbalosos al tacto y se supone que contienen partes salinas y aceitosas. A su vez, los álcalis fijos se dividen en *álcalis vegetales* y *álcalis minerales*, los primeros pueden extraerse de las cenizas de la madera mientras que los segundos se logran mediante la combustión de las plantas marinas en presencia de sal. Los álcalis vegetales también son llamados *potasa* y los álcalis minerales reciben el nombre de *sosa* o *piedra de sosa* (Chaptal, 1790).

Por otra parte, los álcalis volátiles están hechos principalmente de amoníaco y provienen de la putrefacción o descomposición vegetal y animal, especialmente la del pescado. A temperatura ambiente se volatilizan con gran rapidez, siendo reconocidos por su olor característico muy intenso, que no es desagradable pero si es capaz de dañar los tejidos vegetales o matar animales fácilmente (Chaptal, 1790).

Hacia la edad media, el interés de las comunidades se enfoca en la consecución de la piedra filosofal, una sustancia capaz de transformar cualquier metal en oro o plata, y crear el *exeer al-hayat* o elixir de la vida. Para obtenerla son planteados diferentes procesos entre los que se encuentran la calcinación, la separación por decantación, la ebullición o la disolución, los cuales conducen a generar una amplia caracterización de las sustancias *ácidas* que se manipulan, relegando la importancia de los álcalis al no encontrarles provecho alguno en dicha finalidad. De esa forma, crece la demanda comercial por los ácidos, aumentando la producción de *espíritus* o *cuerpos volátiles* y *aceites mezclas de vitriolo* mediante la sublimación y destilación del alambique, y llevando a la construcción teórica y experimental que se registra en múltiples manuales y libros de la época (Leicester, 1967).

Paracelso y Van Helmont: la *alcalinidad* iatroquímica

Cuando se renueva la preocupación por estudiar el cuerpo humano y analizar sus diferentes enfermedades, las propiedades organolépticas o aquellas que se pueden percibir por medio de los sentidos empiezan a ser utilizadas para agrupar

las sustancias y así buscar elixires y remedios contra tales afecciones. Por tal razón, de la alquimia se deriva una rama denominada *iatroquímica* que permanece a lo largo del siglo XVI y es fundada por Theophrastus Bombastus von Hohenheim, más conocido como Paracelso, quien concibe la salud como un estado de equilibrio entre fluidos (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Debido a esto, la necesidad de caracterizar sustancias aumenta y la búsqueda de álcalis y ácidos vuelve a presentar interés en las comunidades.

El revolucionario Paracelso plantea la teoría de los tres principios o *tria prima*, la cual señala que todas las sustancias y por ende los cuerpos se encuentran conformados por *sal*, *azufre* y *mercurio*, atreviéndose a cuestionar en público los saberes de Avicena⁸, cuyo libro de medicina *Al-qanun fi al-tibb* o Canon de Medicina, por la época tiene la autoridad en el tema, pues presenta una amplia compilación de conocimientos sobre fisiología (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

En dicho debate, el iatroquímico suizo aduce que en el cuerpo se pueden distinguir cuatro sabores: el amargo, el ácido, el salado y el dulce, y todas las enfermedades se encuentran asociadas a tales circunstancias, por ejemplo, la cólera está compuesta por la amargura, la acidez produce melancolía, la sangre depende de la sal y el hombre será flemático cuando la dulzura sea su sabor predominante (Paracelso, 1599). Gracias a estas afirmaciones se reconoce el sabor natural de los ácidos, mientras que los álcalis empiezan a caracterizarse por su sabor amargo.

Paracelso asocia el sabor amargo de los álcalis con el principio azufre y postula su presencia en sustancias resbalosas como la resina, la grasa, el aceite y la manteca. Teniendo en cuenta esa textura jabonosa y el reconocido efecto limpiador de los álcalis, intenta la fabricación del *alkalhest*, una solución que debería servir para disolver cualquier tipo de sustancia sin descomponerse. En sus recetas menciona que tal disolvente se elabora con cal, carbonato de potasio y alcohol (Paracelso, 1599).

⁸ Filósofo y médico persa que escribe más de trescientos libros e influencia a varios pensadores de la edad media.

No obstante, el trabajo de este iatroquímico llega a su máxima contribución cuando concibe la *espagiria*⁹, una técnica que incluye procesos de destilación y fermentación para generar remedios a partir de las cenizas de plantas seleccionadas. Aquí, el fuego es el encargado de destruir y transformar, purificando la planta a su íntima esencia y convirtiendo la materia en espíritu natural o *spiritus mundi*. Las cenizas también adquieren un papel trascendental en estas prácticas, pues aportan el contenido de álcalis necesario para combatir enfermedades por exceso de acidez y recrean un ritual de muerte y resurrección (Paracelso, 1599).

El proceso espagírico inicia con la recolección de la planta en la fecha adecuada, teniendo en cuenta la época del año, la luna o las influencias astrológicas. El cuerpo muerto de la planta o *caput mortuum*, es destilado para obtener los aceites esenciales y una sustancia que se pone a fermentar con levadura. Esta última debe filtrarse para luego llevar el líquido a destilar y el sólido a calcinar. Los tres productos recogidos: aceites esenciales, alcohol en la destilación y cenizas en la calcinación, se unen para conformar el remedio o tintura espagírica (Paracelso 1599).

Uno de los discípulos más sobresalientes de Paracelso es el flamenco¹⁰ Jan Baptiste Van Helmont, quien se adhiere a la concepción de las funciones vivas análogas a los procesos minerales y al igual que el resto de iatroquímicos se encuentra muy interesado en explicar el comportamiento del cuerpo humano para indagar por las probables causas de diferentes enfermedades así como las potenciales curaciones a las mismas (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997), razón por la cual escribe un amplio tratado sobre la digestión en el que involucra los términos álcali y ácido para referirse a dos tipos de sustancias participantes en este importante proceso fisiológico (Van Helmont, 1671).

Delimitado por la teoría de los cuatro humores¹¹ proveniente de la antigua Grecia y la entonces teoría emergente de los tres principios, Van Helmont propone

⁹ De las palabras griegas *spao* y *ageiro*, que significan extraer y reunir.

¹⁰ Oriundo de la región flamenca, que se encuentra ubicada en la parte norte del Reino de Bélgica y es una de las tres que conforman este país.

¹¹ Planteada por Hipócrates de Cos, quien argumenta que el cuerpo humano se encuentra compuesto por cuatro humores (líquidos): bilis amarilla, bilis negra, flema y sangre; estos regulan el correcto

separaciones sutiles gracias a sus trabajos experimentales. Indica que en el cuerpo humano además de los vitriolos artificiales se encuentran presentes los naturales, definiendo la presencia de un *jugo ácido* que tiene como finalidad favorecer el proceso de digestión en el estómago. De igual manera asume la existencia de una secreción con comportamiento alcalino en la bilis, capaz de ocasionar lesiones o quemaduras cuando entra en contacto con el tubo digestivo en un fenómeno denominado *causticidad*, el cual se hace evidente en la destrucción de los tejidos animales (Van Helmont, 1671) y posteriormente es asociado a todas las sustancias alcalinas.

También afirma que la salud del cuerpo humano depende de un apropiado balance entre álcalis y ácidos, pues cuando una de estas dos sustancias prevalece aparece la enfermedad, así, la alcalinidad en el organismo conlleva a una fiebre elevada, mientras que la acidez ocasiona extrema congestión (Van Helmont, 1671). Seguramente estas conjeturas son logradas mediante la observación de las quemaduras corporales producto del contacto con sustancias alcalinas o la irritación de las vías respiratorias resultado de la inhalación de vapores de ácidos.

Por otra parte, Van Helmont menciona que dentro y fuera del cuerpo humano se llevan a cabo procesos químicos de fermentación y efervescencia, los cuales generan sustancias diferentes al aire, a las que llama *gas*¹² y cree pueden tener características similares a los ácidos, a manera de ejemplo, en la fermentación del *mosto* o jugo de uvas se produce el gas *spiritus sylvestre* (Van Helmont, 1671), más tarde caracterizado como ácido carbónico y en nuestros días denominado dióxido de carbono.

Por momentos, las observaciones experienciales de Van Helmont parecen opacadas por la vinculación de hechos místicos en sus explicaciones, como el *archeus* o principio vital de todo organismo, que por efecto del *archei* contenido en los alimentos puede corromperse generando el *ens morbi* o principio activo de las enfermedades, todo esto ocasionado por el pecado original. Además, sus

funcionamiento de cualquier individuo, por lo cual su desbalance conduce a enfermedades, discapacidades o trastornos de la personalidad.

¹² Van Helmont introdujo en la ciencia el término *gas*, a partir de la palabra griega *caos* que significaba desorden.

curaciones incluyen un sinnúmero de rezos y encantamientos, los cuales se apoyan en recetas mágicas que utilizan órganos divinos como el testículo de venado (Van Helmont, 1671).

De todas formas los aportes de Van Helmont resultan ser muy relevantes, pues es el primer pensador en mencionar la importancia de la composición ácido-alcalina presente en los procesos biológicos e influye en gran medida al alemán Franciscus Sylvius, iatroquímico que fundamenta sus métodos de curación en eliminar del cuerpo humano el exceso de álcali o de ácido que genera la enfermedad. Sylvius formula a sus pacientes una sustancia ácida como el vino cuando estos presentan abundancia de alcalinidad, mientras que suministra sustancias alcalinas producto de infusiones de plantas si el organismo tiene exceso de acidez (Leicester, 1967). Todo lo anterior conduce a reflexionar sobre la forma dinámica que tiene la relación complementaria entre álcalis y ácidos, y su directa correspondencia con los procesos naturales, así como el provecho que la humanidad le ha dado a estas sustancias en la búsqueda de medicamentos, por ejemplo los antiácidos de nuestra época.

Boyle: el indicador de álcalis

El misticismo químico llega a su fin cuando el irlandés Sir Robert Boyle¹³ orienta la química hacia las ciencias experimentales e intenta constituir la como disciplina independiente, alejándola de sus aplicaciones metalúrgicas y farmacéuticas, y concentrándola en el descubrimiento de la naturaleza de la materia (Esteva, 1991). Precisamente es el irlandés quien logra una de las caracterizaciones más significativas y todavía vigentes del fenómeno de la alcalinidad, cuando a mediados del siglo XVII se propone realizar una gran investigación sobre el devenir de los colores.

Boyle se adhiere a una concepción mecanicista del mundo y le otorga importancia a la práctica experimental en la consecución de explicaciones científicas cada vez más precisas (Severgnini, 2007), por consiguiente plantea una serie de experimentos para llevar a cabo sus investigaciones, tal como lo evidencia *la historia experimental del color* (Boyle, 1664). Aunque inicialmente dicho trabajo se

¹³ Miembro fundador de la *Royal Society of London* creada en 1662 por Carlos II, el entonces rey de Inglaterra.

encuentra más orientado hacia el campo de la física, el marcado interés del científico por la química y el comportamiento de la materia, hacen que viaje a otros continentes buscando unos extractos naturales que tienen la facultad de cambiar el color a las sustancias.

Así, después de publicar su famoso libro *The Sceptical Chymist*, en 1664 Sir Robert Boyle da a conocer la investigación sobre la historia experimental del color en el libro titulado *Experiments and Considerations Touching Colours*, donde describe detalladamente 15 experimentos en relación a la naturaleza de la blancura y la negrura, y 50 experimentos para explicar el devenir del resto de colores. De éstas últimas experiencias, 18 mencionan procesos de disolución, maceración, destilación e infusión para preparar soluciones, jarabes, jugos, aceites esenciales y extractos de origen vegetal o animal, que logran hacer cambios en las coloraciones de diferentes sustancias reconocidas en el ámbito científico de la época (Boyle, 1664).

El recorrido inicia en el experimento X, cuando Boyle ensaya con un diurético bastante empleado en la medicina española desde el siglo XVI llamado *Lignum nephriticum*¹⁴ o Madera de Riñón, el cual en solución genera una atractiva coloración azul fluorescente que puede intensificarse agregando orina, pero que pierde su color cuando se le adiciona vinagre. La desaparición de la tonalidad con el ácido fue motivo para hacer un exhaustivo análisis y plantear nuevas experiencias (Boyle, 1664).

Por consiguiente, en los experimentos XVIII y XX fabrica el *Jarabe de Violetas*¹⁵, una sustancia que también genera una coloración azul, pero que cambia a rojo cuando se le agrega el vinagre y se transforma en verde al adicionar la orina. La experiencia es tan impactante, que Boyle decide probar el jarabe en más sustancias, colocando de fondo una hoja de papel blanca para asegurarse de no ser engañado por la coloración de las superficies, luego de su observación se analiza una generalidad, el jarabe de violetas torna rojo a cualquier ácido y vuelve

¹⁴ Usado para aliviar personas que padecen diferentes enfermedades asociadas al riñón. Se encuentra compuesto por dos especies de árboles, el mexicano *Eysenhardtia polystacha* y el asiático *Ptecorarpus indicus*.

¹⁵ La mayor parte de la bibliografía consultada que fue escrita en los siglos XVII y XVIII, referencian este Jarabe como el indicador natural de álcalis y ácidos, y lo usan en sus experiencias para determinar rápidamente la naturaleza de las sustancias.

verde otras sustancias (Boyle, 1664). Este hecho resulta ser contundente para las sustancias ácidas pero excluye a los álcalis, seguramente porque el científico en esta parte de su investigación no asocia los cambios de color referidos a cualidades opuestas en las sustancias.

Debido a la curiosidad provocada por las experiencias anteriores, en el experimento XXI elabora un jugo con las *Blue-Bottles*¹⁶, unas flores azules que crecen entre los cultivos de maíz y son consideradas maleza. Cuando agrega dicho jugo a diferentes ácidos como el vinagre, el aceite de vitriolo o el alcohol, éstos se colorean de rojo, y al momento de adicionarlo a sustancias consideradas álcalis como las cenizas y la orina, aparece una perfecta tonalidad verdosa (Boyle, 1664).

Con la vinculación de los álcalis en esta nueva generalidad, Boyle inventa una forma de reconocer la presencia de la cualidad alcalina y ácida en las sustancias, toda vez que se evidencian cambios en sus coloraciones cuando entran en contacto con ciertos extractos naturales. En ese mismo experimento también aparece un primer indicio de neutralización, al añadir una determinada cantidad de orina al aceite de vitriolo coloreado de rojo por efecto del jugo de flores azules y observar la repentina aparición de una coloración amarilla, la cual no indica la presencia del ácido ni del álcali.

El interés por los álcalis se extiende y profundiza en otros ensayos de la investigación. Así, en el experimento XXII el científico evidencia como una solución de *Cardenillo*¹⁷ puede convertir su coloración verde en azul cuando se le adiciona cualquier sustancia con características alcalinas, en el experimento XXV describe que al esparcir las *Bayas de Ligustro* sobre una hoja de papel blanco emerge una tonalidad violeta que puede transformarse en un perfecto verde si se le agregan las cenizas humedecidas, y en el experimento XXVII puntualiza que el jarabe de *Flores Blancas de Jazmín* colorea de amarillo verdoso todos los álcalis fuertes (Boyle, 1664).

¹⁶ Boyle menciona que este jugo también puede ser fabricado con flores de Violetas, Verónicas o Hiedras Silvestres.

¹⁷ También conocido como *Verdín* o *Patina*, es una sal de color verde que se produce sobre la superficie del Cobre en procesos espontáneos de corrosión.

De otro lado, las sustancias ácidas se abordan con un mayor detalle en los experimentos XXXI y XXXV. En el primero realiza una destilación por arrastre de vapor a la resina de coníferas conocida como *Trementina*¹⁸ y determina que tiñe de rojo a todos los ácidos, mientras que en el segundo prepara *Aceite Esencial de Anís* y observa que si esta frío y seco puede colorear de rojo sangre al aceite de vitriolo (Boyle, 1664).

Boyle escribe el experimento XXXVI en uno de sus viajes alrededor del mundo, aquí relata que algunos tintoreros elaboran unos trapos de tela con extractos vegetales capaces de convertirse en rojo o verde al entrar en contacto con determinadas sustancias y a los cuales llaman *Tornasol*¹⁹. El científico analiza que en la mayoría de sus experiencias ocurren sucesos similares, por ejemplo, en el experimento XXIX frota *Moras* sobre hojas de papel blanco y evidencia como los ácidos acentúan el color rojo mientras que los álcalis lo transforman en verde, de igual forma que acontece en el experimento XXVI, donde observa como el *Jarabe de Clavos*, las *Bayas de Espino Cerva*²⁰ o el extracto de las *Rosas Rojas*, colorean los ácidos de rojo y generan un verde perfecto en los álcalis (Boyle, 1664).

Las reiteradas coloraciones suscitan varias preguntas ¿Por qué razón los álcalis se colorean de verde y los ácidos de rojo? ¿Qué componente presente en los extractos posibilita el cambio de color con álcalis y ácidos? ¿Qué componente se encuentra en todos los álcalis para tener las mismas características y generar coloraciones similares? ¿Pueden estos indicadores naturales de álcalis y ácidos evidenciar procesos de neutralización? Seguramente la mayoría de

¹⁸ Actualmente es usada como disolvente de pinturas y en la fabricación de productos desinfectantes y aromatizantes.

¹⁹ El término proviene de las regiones nórdicas y significa color o tinte. Según Bouchardat (1848) en el siglo XVIII el *Tornasol* se prepara por medio de la *Rocella tinctoria*, una especie de líquen que genera un tinte azul capaz de enrojecer los ácidos y con el cual los químicos fabrican el *Papel Tornasol* que emplean como reactivo sensible a la presencia de ácidos y álcalis. Para tal efecto, mojan el papel en una infusión saturada de tornasol, una vez seco su color será azul pero al sumergirlo en ácidos cambiará a rojo. Para el reconocimiento de álcalis se utiliza el papel tornasol enrojecido por un ácido, generalmente el acético, aquí el papel rojo se transformará de nuevo al color azul cuando entre en contacto con la sustancia alcalina. Estos procedimientos son ampliamente utilizados por los científicos de los siglos XVIII y XIX, como ejemplo, Louis Joseph Gay-Lussac detalla en sus experiencias la utilización del papel tornasol para identificar la naturaleza de los gases.

²⁰ Un arbusto tupido y espinoso oriundo de Europa y el oeste de Asia, su nombre científico es *Rhamnus catharticus*.

cuestionamientos se intentarán responder durante el siglo XX, al igual que se emplearán nuevas plantas como el Repollo Morado, la Remolacha o la Flor de Agapanto en la elaboración de extractos con la misma finalidad, pero, el último interrogante podría encontrarse inmerso en los experimentos finales de *Experiments and Considerations Touching Colours*.

De manera particular, en el experimento XXXIX Robert Boyle lleva a ebullición, infusión y filtración las hojas secas del *Árbol de Granada* para preparar una solución de coloración rojiza, la cual cambia a verde azulado al momento de agregar orina y vuelve al rojo original cuando le adiciona alcohol. Este hecho le genera bastante curiosidad, así que lo repite una y otra vez empleando diferentes sustancias y obteniendo resultados idénticos, para concluir de la misma forma que en el experimento XXI, mencionando que la aparición del color amarillo puede ser el indicio de la inexistencia de características ácidas y alcalinas en la solución (Boyle, 1664).

Estas experiencias hacen que el científico piense en la neutralización de las características ácidas por acción de los álcalis y plantee el experimento L, en donde comprueba que el *Minio*²¹ destruye todas las propiedades ácidas del vinagre, incluso cambia la tonalidad roja que este adquiere cuando se le adicionan extractos vegetales (Boyle, 1664). Aunque Boyle no desarrolla la idea de neutralización, de manera implícita propone un método trascendental para evidenciar dicho proceso, la utilización de los indicadores naturales de álcalis y ácidos.

Con la certeza de sus hallazgos Boyle decide contradecir a los herboristas, quienes afirman que el jugo de *Alkanna tinctoria*²² no puede cambiar su coloración rojiza. Así, en el experimento XLIX agrega cualquier sustancia alcalina al mencionado jugo y les demuestra cómo cambia a una coloración verdosa. Por otra parte, en el experimento XXIV también se atreve a vincular ciertas características de solubilidad con los álcalis, luego de probar que el *Pigmento de Ácido*

²¹ Químicamente reconocido como Tetróxido de Plomo, es un tinte naranja que fue utilizado para dar iluminación a los libros medievales y hoy en día se emplea para recubrir las superficies de hierro de las baterías tratando de evitar la corrosión.

²² De nombre común *Palomilla de Tintes*, es una planta utilizada para elaborar una tintura roja que se usa en el teñido de ropa y la fabricación de vinos económicos.

*Carmínico*²³ extraído de las cochinillas, acentúa su color y se disuelve mejor en la orina que en el vino (Boyle, 1664).

En suma, *la historia experimental del color* escrita por Sir Robert Boyle, propone una manera de clasificar las sustancias alcalinas y ácidas, tal vez la más reconocida en la historia de las ciencias naturales. Los indicadores allí mencionados se extraen de la naturaleza y son capaces de evidenciar la presencia de los álcalis cuando al entrar en contacto con la cualidad alcalina generan en estas sustancias colores azules verdosos.

EXPLICACIONES Y ORGANIZACIÓN

Lémery y Roule: la complementariedad y las bases de las sales

Luego del trabajo de Boyle y gracias a los saberes provenientes de la alquimia y la iatroquímica, en el siglo XVII los álcalis son caracterizados por proceder de la tierra, tener un sabor amargo y urinoso, quemar los tejidos, y colorear de verde el jarabe de violetas y de azul la tintura de tornasol; a su vez, los ácidos son definidos por ser licores transparentes, tener un sabor agrio y picante, corroer los metales, y colorear de rojo el jarabe de violetas y la tintura de tornasol (Chaptal 1790). Debido a esto y a la idea circundante de neutralización, en 1675 el químico francés Nicolás Lémery propone la primera teoría para explicar a nivel corpuscular el comportamiento de los ácidos y los álcalis.

Lémery es médico y farmacéutico miembro de la Academia Real de Ciencias, pero se desempeña como profesor de química de un extenso grupo de aprendices, dentro de los que se encuentran personas influyentes de la nobleza francesa (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). Tal ejercicio lo lleva a escribir un libro denominado *Curso de Química*, en el cual formula su hipótesis sobre los álcalis y los ácidos, previo a mencionar procesos de purificación, destilación y calcinación de ciertos metales empleados en la minería, relatar la elaboración de extractos y

²³ El popular *Rojo Carmín E-120* actualmente es utilizado como colorante en las industrias cosmética, alimenticia, textil y artística. Para su fabricación es cultivada la especie *Dactylopius coccus*, de la cual son seleccionadas las hembras que se dejan al sol para morir por deshidratación y posteriormente se maceran generando el pigmento.

tinturas con diferentes especies, y elaborar una lista de remedios contra diversas enfermedades a partir de las sustancias ácidas y alcalinas reconocidas en la época (Lémery, 1675).

Este científico caracteriza a los ácidos como sustancias agrias que generan sensaciones destructivas al tacto a causa de estar conformadas por diminutas partículas puntiagudas que tienen diferente tamaño y por ende definen si las características ácidas son más o menos fuertes. Por su parte, los álcalis presentan porosidades que también determinan su fortaleza o debilidad dependiendo del tamaño y en las cuales pueden encajar las puntas de los ácidos, haciendo que estos pierdan su poderosa naturaleza así como las características previamente mencionadas (Lémery, 1675).

Lémery asocia la efervescencia y el chasquido que se escucha al instante de mezclar un ácido fuerte con un álcali, a la ruptura de las puntas del ácido cuando intenta penetrar por los poros más pequeños del álcali, situación que invariablemente propicia la pérdida de las cualidades ácidas y alcalinas potencialmente destructivas (Lémery, 1675). Sin embargo, es claro que la definición de alcalinidad sostenida por el francés resulta estar incompleta, pues caracteriza esta cualidad únicamente por su marcada oposición a los ácidos (Franckowiak, 2002).

Pese a que hoy en día dicha teoría ha sido descartada completamente, en su momento genera una manera válida de explicar los fenómenos de la alcalinidad y la acidez, y sin duda debe ser reconocida por su concepción de complementariedad y neutralización, proceso que enmarca el desarrollo de una estructura teórica y práctica alrededor de las sales y es utilizado por los científicos posteriores para caracterizar los álcalis por medio de su contacto con las sustancias ácidas.

En la misma época de Lémery, el denominado primer químico industrial Johann Rudolph Glauber, en su afán por encontrar una tintura de oro, mezcla cloruro de sodio con aceite de vitriolo y fabrica la *Sal de Glauber*²⁴ (Glauber, 1659), una sustancia con características particulares que motiva un sinnúmero de estudios

²⁴ Reconocida químicamente como *Sulfato Sódico*.

entre los cuales se produce una idea inicial sobre la composición de las sales como resultado de la combinación de un ácido y un álcali gracias a las atracciones afines, lo que a su vez origina la concepción de afinidad química que más adelante desarrollarán Etienne-Francois Geoffroy, Torbern Olof Bergman, Jeremias Benjamin Richter y Ernst Gottfried Fischer.

El anterior acontecimiento también es trascendental en la construcción de las primeras organizaciones de las sustancias alcalinas, debido a que experimentalmente se les caracteriza por los procesos de neutralización reflejados en su capacidad de hacer que las sustancias ácidas pierdan cualidades particulares como el reaccionar con metales, ser corrosivas o tener sabor agrio (Glauber, 1659). Durante este periodo de tiempo, la comunidad científica considera a los ácidos como sustancias universales que tienen un papel activo en todos los procesos, mientras que los álcalis desempeñan roles pasivos, pues son simples agregados térreos.

Posteriormente, a lo largo del siglo XVIII en Francia se realizan investigaciones para determinar la naturaleza de las sales, las cuales internamente tienen en cuenta las sustancias alcalinas. El farmacéutico y prestigioso profesor de química Guillaume Francois Rouelle es quien realiza el estudio de mayor complejidad, logrando la organización de las sales en neutras, ácidas y básicas. Este proceso es detallado en las sucesivas memorias que envía a la Academia de Ciencias de Paris (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997).

Para Rouelle es un hecho frecuente negarse a aceptar cualquier teoría de primera vez, seguramente porque su desconocimiento del latín lo lleva a fundamentar su trabajo en la objetividad que le puede brindar la práctica²⁵, resumida en la experiencia científica y la observación de los fenómenos. Razón por la cual, su investigación alrededor de las sales y en especial su memoria *Les Sels Neutres*²⁶ tienen un elevado contenido experimental (Franckowiak, 2002).

²⁵ No obstante, Rouelle es devoto seguidor de la doctrina del *Flogisto* y aporta elementos en su construcción.

²⁶ Rouelle envía ésta memoria a la Academia de Ciencias de Paris en 1744 y en ella describe un estudio sobre la composición, preparación y organización de las sales.

El profesor de química del revolucionario Antoine Lavoisier y el acreditado Pierre Macquer, introduce en las ciencias naturales el término *base*, expresando que los principios térreos generalmente compuestos por sustancias terreas²⁷, minerales, álcalis o metales, sirven de “base” a los diferentes ácidos para la formación de sales. Roulle explica que al combinar cualquier ácido con una de las mencionadas bases se genera una solución con cualidades particulares, la cual puede llevarse a la evaporación²⁸ para obtener los cristales característicos de las sales (Roulle, 1759). Cabe anotar que la concepción de *base* se vuelve popular a principios del siglo XIX, cuando la comunidad científica la relaciona con los álcalis y la vincula ampliamente en sus escritos.

Además de explicar la composición y preparación de las sales, el francés lleva a cabo una compleja y esquemática clasificación de las mismas de acuerdo a las formas geométricas que a su parecer presentaban los cristales (Wisniak, 2002). Asimismo, las organiza por sus cualidades neutras, ácidas y básicas, cuando al agregarles el jarabe de violetas le revelan las respectivas coloraciones amarillas, rojas y verdes (Franckowiak, 2002).

Al analizar las sales que no eran neutras, Rouelle menciona la presencia de cierto grado de acidez o basicidad en ellas, introduciendo por primera vez el término *basicidad* en el léxico propio de las ciencias naturales y poniendo en consideración la existencia de una *cualidad básica* que no se limita a un grupo específico de sustancias (Roulle, 1759). Durante el proceso describe las características de algunas sales básicas como el carbonato de potasio y realiza diversos procedimientos experimentales para obtener sales ácidas a partir de metales y ácidos²⁹ (Franckowiak, 2002). Pese a sus aportes históricamente trascendentales, este científico mantiene la perpetua tradición donde el ácido es la sustancia

²⁷ Posteriormente serán reconocidas como diversos óxidos metálicos a los que la química llamará óxidos básicos.

²⁸ En su estudio sobre las sales neutras, Roulle caracterizó tres tipos de evaporación: insensible, promedio y rápida; la primera es ejercida por el sol en los días de verano, en la segunda se ve el vapor que se va desprendiendo y se siente la elevada temperatura, mientras que en la tercera la ebullición se produce casi de inmediato.

²⁹ Roulle detalla el procedimiento para obtener sales ácidas a partir de los ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico, cuando se les adicionan metales como el mercurio o el bismuto, evidenciando el desprendimiento de hidrogeno gaseoso durante la transformación y comprobando cierto grado de acidez en el compuesto resultante por medio del jarabe de violetas.

hegemónica, pues en el presente caso mantiene el rol de componente activo en la formación de sales.

Bergman y Fischer: la afinidad y la equivalencia entre bases y ácidos

La relación entre sustancias que se combinan para formar otras y particularmente la formación de sales a partir de bases y ácidos, inducen la concepción de afinidad química, entendida como la combinación de sustancias mediante leyes de atracción recíproca. Los científicos del siglo XVIII consideran que tal afinidad puede darse por agregación o composición, dependiendo de la naturaleza de los cuerpos (Chaptal, 1790).

La afinidad por agregación es el resultado de la unión de varias partes de una misma sustancia, por ejemplo, dos o más gotas de agua que se reúnen en una sola forman un agregado, en el cual cada gota es conocida como parte integrante. De otro lado, la afinidad por composición menciona que los cuerpos de naturaleza diferente ejercen atracción entre sí y en virtud de esta forman nuevas sustancias (Chaptal, 1790), tal es el caso de las bases y los ácidos.

Se piensa que la afinidad por composición tiene lugar en las partes constituyentes de los cuerpos y opera en razón inversa a la afinidad por agregación, pues es más difícil que la sustancia interactúe si tiene mayor afinidad entre sus partes integrantes. Las partes constituyentes poseen atracciones electivas, por ejemplo, los metales se combinan fácilmente con ácidos como el sulfúrico, el muriático o el nítrico, y no así con los diferentes álcalis. Producto de las combinaciones aparecen nuevas sustancias, las cuales tendrán características completamente diferentes a las de sus constituyentes (Bergman, 1788).

Esta admirable y revolucionaria idea conduce a desarrollar durante los siglos XVIII y XIX las famosas tablas de afinidad, propuestas entre otros por el sueco Torbern Olof Bergman y los alemanes Jeremias Benjamin Richter y Ernst Gottfried Fischer. Dichas representaciones se estructuran mediante el uso de símbolos provenientes de la alquimia, la observación detallada de transformaciones químicas y algunas relaciones cuantitativas, consolidando una organización sistemática de las sustancias reconocidas en la época. Así, por ejemplo, Bergman intenta ordenar todas las reacciones químicas que se pueden presentar entre 27 ácidos, 8 álcalis

y 14 metales, teniendo en cuenta variables como la solubilidad de las sustancias reaccionantes o el requerimiento de fuego para llevar a cabo la reacción (Bergman, 1788).

En el *tratado de afinidad química o atracciones electivas*, Bergman afirma que el ácido más fuerte es el fosfórico, pues está en capacidad de descomponer todas las sales alcalinas conocidas. Además menciona la presencia de sustancias ácidas de origen natural como los ácidos de azúcar, la leche fermentada, el ámbar³⁰, la benjuí o resina de los árboles, el vinagre y casi todos los compuestos de arsénico (Bergman, 1788).

Con respecto a los álcalis, el sueco los caracteriza por su solubilidad en agua, la formación de cristales cuando se secan o deshidratan y la efervescencia que presentan al contacto con los ácidos; no obstante, mediante la afinidad intenta explicar otras de sus propiedades, por ejemplo, debido a la afinidad sensible o aquella que aparece por intermedio de un tercero, enseña la relación que tienen los álcalis en la unión entre el aceite y el agua, lo cual explicaría el accionar de las lejías y los jabones (Bergman, 1788).

Bergman también indica que por afinidad los álcalis atraen en primer lugar a los ácidos vegetales y tienen menor selectividad por los ácidos de las tierras calcáreas. Particularmente los álcalis cáusticos de origen vegetal, que en su época son mezclas de hidróxidos de potasio y carbonatos, tienen la capacidad de combinarse con ácidos volátiles o aéreos, pero reaccionan más fácilmente con ácido vitriólico (Bergman, 1788). Debido a estos planteamientos se deduce la existencia de unos ácidos más fuertes que otros o una mayor cualidad ácida en ciertas sustancias.

Conforme a lo estipulado en las tablas de afinidad, de la misma forma en que existen ácidos fuertes se pueden encontrar álcalis o bases fuertes, por lo tanto, a finales del siglo XVIII la comunidad científica piensa en asignar valores numéricos a las asociaciones de sustancias para intentar comparar la fortaleza de las mismas. Así, comprendiendo que la potasa y la cal se pueden unir a los ácidos nítrico y sulfúrico, pero sienten mayor atracción por este último, los científicos

³⁰ Refiriéndose al árbol *Liquidambar orientalis*, oriundo del mediterráneo oriental y utilizado en la fabricación de aceites.

suponen que el ácido sulfúrico se adhiere a la potasa con una fuerza de ocho y a la cal con una fuerza de seis, de igual manera el ácido nítrico se adhiere a la potasa con una fuerza de siete y a la cal con una fuerza de cuatro, pues se observa a los nitratos disociarse con mayor facilidad que a los sulfatos (Chaptal, 1790).

No obstante, los mencionados valores son puestos al tanteo cualitativo, sin contemplar las enseñanzas del revolucionario químico Antoine Lavoisier (1789)³¹, ni utilizar la balanza para la medición de masas o el eudiómetro para calcular volúmenes de los gases, instrumentos que pueden ofrecer una mayor certeza en la consecución de dichos cálculos. Por consiguiente a comienzos del siglo XIX, el alemán Jeremias Benjamin Richter con la idea de una matematización de la química y movido por la curiosidad que le generan los fenómenos de la basicidad y la acidez, induce la concepción de un nuevo tipo de tablas de afinidad, explicando cómo se neutralizan mutuamente los ácidos y las bases a través de unos cálculos de pesos que denomina *relaciones estequiométricas*³² (Bensaude-Vincent y Stengers, 1997). A partir de éstas, se analizan las posibles maneras de medir la fuerza de bases y ácidos en su relación mutua.

Richter denomina ácido al compuesto provocador de un cambio químico y base a la sustancia que posibilita el cambio para producir una sal, en la cual se neutralizan las cualidades de las especies originales. Entonces plantea que existe una cantidad *equivalente* de cada base capaz de neutralizar las características de cierta cantidad de un ácido determinado, y a su vez cantidades equivalentes de cada ácido pueden neutralizar las características de una base previamente establecida (Hess, 1842). De esta manera inician las relaciones matemáticas que conllevan a la medición y organización de la cualidad básica y ácida en las sustancias.

³¹ En su *Tratado Elemental de Química*, el francés genera un modelo de tablas de relación, en las que presenta los elementos o sustancias simples como componentes de numerosos compuestos, y en donde además organiza la afinidad de ácidos y bases como formadores de diversas sales. En sus observaciones supone que el oxígeno es la fuente de la acidez y el azoe (nitrógeno) probablemente es el principio de la alcalinidad, debido a algunos indicios de su existencia en el amoníaco. También hace alusión al cloro, flúor y bromo como posibles elementos participantes en la generación de ácidos.

³² El término *estequiometría* se volverá popular con los estudios de química analítica basados en la ley de las proporciones definidas.

El alemán mide los pesos de varias bases que reaccionan con idénticos pesos de un mismo ácido, y viceversa, logrando representar en un esquema las proporciones de pesos de combinación para cada ácido y base de manera separada, en éste explica por ejemplo, que para neutralizar 1405 partes de ácido nítrico se requieren 1605 partes de potasa o 793 partes de cal (Hess, 1842). Gracias a este trabajo se pueden equiparar matemáticamente las fuerzas de bases y ácidos, o comparar la basicidad y acidez de diferentes sustancias.

La idea de Richter es ampliada y popularizada unos años más tarde por su compatriota Ernst Gottfried Fischer, quien luego de traducir la investigación de Claude Louis Berthollet sobre las leyes de afinidad, se propone neutralizar sucesivamente algunos líquidos ácidos y básicos para calcular sus pesos equivalentes, tomando como referencia 1000 partes de ácido sulfúrico. En este estudio, el alemán elabora una organización de bases débiles a fuertes, analizando las cantidades de un mismo ácido que logran neutralizar su basicidad, así, una base será más fuerte que otra si requiere una mayor cantidad del mismo ácido para ser neutralizada (Fischer, 1819).

De esa manera, Fischer construye la *tabla de equivalencias químicas de ácidos y bases*, en la cual explica por ejemplo, que para neutralizar 1000 partes en peso de ácido sulfúrico se necesitan 859 partes en peso de soda (carbonato de sodio) o 793 partes en peso de hidróxido de calcio, y a su vez para neutralizar la misma cantidad de ésta última base se requieren 712 partes en peso de ácido muriático (ácido clorhídrico) o 1480 partes en peso de ácido acético (Fischer 1819). Estos aportes conllevan a la creación de la *alcalimetría*, una técnica para medir la alcalinidad o basicidad de las sustancias que tiene en cuenta la concentración de los reactivos y utiliza la *bureta* inventada el francés Louis Joseph Gay-Lussac (Szabadváry, 1966).

En los siglos venideros los estudios sobre lo básico y lo ácido tendrán como fundamento su importancia en los procesos vivos, de manera que en las ciencias naturales se postularán diversas teorías para explicar los fenómenos de la basicidad y la acidez por medio de símbolos, planteamiento de fórmulas o análisis de la actividad a nivel atómico, lo cual dará la posibilidad de tener una mayor comprensión del objeto de estudio, pero limitará el entendimiento a la abstracción que puedan hacer los interesados.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL: ENTRE HISTORIA Y EXPLICACIÓN

En algún momento de nuestra cotidianidad hemos utilizado el enunciado: *“hay que aprender de la experiencia”*, expresión que pese a estar generalmente ligada al sentido común resulta tener gran significado en el campo de la ciencia, pues esta actividad se encuentra caracterizada por la búsqueda de explicaciones a partir del experimento y su respectiva discusión en comunidad. Científicos y filósofos reconocen el papel experiencial de la ciencia, del mismo modo las instituciones educativas y particularmente los profesores concuerdan en que la experimentación es una parte integral en la enseñanza de las ciencias, considerando que no se puede pensar en tal enseñanza sin la actividad experimental (Koponen y Mäntylä, 2006).

Una prueba de ello se encuentra en la investigación del profesor británico Derek Hodson, quien a finales del siglo XX pregunta a los profesores de ciencias naturales las razones para hacer que los estudiantes participen en actividades experimentales, obteniendo como resultados la motivación e interés que este tipo de prácticas puede generar, la enseñanza de técnicas y métodos de laboratorio, y el aprendizaje de conocimientos científicos y habilidades instrumentales (Hodson, 1994)³³.

Sin embargo los profesores privilegian distintas concepciones de ciencia, por lo cual la actividad experimental también es concebida de diversas formas (Malagón, Sandoval y Ayala, 2013). Posiblemente, la más común asigna al experimento el rol de verificador de las teorías para hacer creer a los estudiantes. Estas prácticas por

³³ Hodson también afirma que para aprender sobre la naturaleza de las ciencias es necesario considerar las cuatro fases abarcadas por la ciencia:

1. Planificación, donde se elaboran preguntas, formulan hipótesis y se diseñan montajes experimentales.
2. Realización, en la que se asignan cualidades y se recogen datos.
3. Reflexión, por medio de la cual se interpretan los resultados a partir de diferentes teorías.
4. Registro, en la que se elabora un informe para ser socializado en las diferentes comunidades.

lo general son llevadas a cabo mediante protocolos de laboratorio que simplemente confirman lo dicho teóricamente por el profesor o por el texto, y en algunas ocasiones se realizan de manera informativa conduciendo a situaciones que los estudiantes no se han preguntado y sobre las cuales no tienen interés alguno (Segura, Molina y Pedreros, 1997), haciendo que este recurso imprescindible en la enseñanza de las ciencias naturales suela encontrarse difuso entre las erradas rutinas que con frecuencia se realizan en la escuela (Nersessian, 1989).

Otra de las formas de concebir la actividad experimental suele confundir el rol de estudiante con el de científico, sin entender que ambos actúan en escenarios distintos, pertenecen a comunidades con intereses predeterminados y pueden privilegiar diferentes concepciones de ciencia (Sandoval, Malagón, Ayala y Tarazona, 2006).

Bajo esas formas dominantes la experimentación se puede caracterizar como una actividad circunstancial, en algunos casos estandarizada y en otros improvisada. Una práctica que ha tenido poco impacto en la comprensión de las ciencias naturales probablemente debido a la forma en que los experimentos han sido llevados al aula, ya sea en el papel de verificadores de teorías o como elementos de descubrimiento queriendo crear falsos investigadores en los estudiantes (Koponen y Mäntylä, 2006).

No obstante, lo anterior conduce a reflexionar sobre la importancia potencial que tiene la actividad experimental en la enseñanza de las ciencias, considerando además que la experiencia puede ser catalogada como una fuente de conocimiento (Elkana, 1981) y en el caso científico este es construido a partir de la experimentación. En las ciencias cada concepto tiene su origen en la percepción sensorial y es desarrollado gracias a la depuración del experimento, situación que sencillamente resulta ser análoga en la enseñanza (Koponen, Kurki-Suonio, Jauhiainen, Hämäläinen y Lavonen, 2001).

Por ende, aparecen formas alternativas de concebir la actividad experimental, sin pretender corroborar teorías o descubrir la naturaleza, el experimento se vuelve insumo para crear o ampliar las bases fenomenológicas, dando posibilidad a que el individuo desarrolle ideas y organice las mismas (Malagón, Sandoval y Ayala,

2013) construyendo así sus propias explicaciones. Esto implica drásticos cambios en la actividad escolar, pues al momento de la enseñanza debe ser más importante llenar matraces que matrices, dado que en los primeros se pueden percibir transformaciones de sustancias para generar preguntas e incitar la búsqueda de respuestas, mientras que en las segundas se restringe el pensamiento del estudiante al llenar espacios vacíos con información puntual solicitada desde una posición unilateral.

La emergente actividad experimental privilegia la producción de conocimientos más que la divulgación de resultados, quebrantando aquella dicotomía entre la idea y lo sensible, y construyendo de ese modo puentes cognitivos entre teoría y práctica que forman una relación dinámica donde las propiedades de ordenación, jerarquización y formalización toman especial relevancia (Sandoval, Malagón y Ayala, 2011). Este dinamismo teórico-práctico se retroalimenta permanentemente, toda vez que la información preexistente no permite la solución de problemas contextuales y se requiere de nuevo el abordaje del fenómeno para poder establecer situaciones más significativas.

La relación dinámica entre teoría y práctica también es apoyada por autores como Moreira y Levandowski (1983), para quienes la experimentación es un enfoque epistemológico que intenta reflejar cómo se produce el conocimiento cuando la enseñanza es llevada al laboratorio, el lugar donde se presentan las estrechas relaciones entre preguntas, fenómenos, métodos y concepciones. La actividad experimental a realizar en este lugar es definida a partir de una perspectiva mental, un abordaje, una aproximación ideológica o un punto de vista desde una situación personal, que no propicia ni la universalidad de la objetividad, ni los prejuicios personales de la subjetividad, y se va construyendo de la mano de la apreciación y la reflexión. Situación que Sandoval, *et al.* (2006) complementan cuando afirman que *“existe una relación en la actividad experimental que no se reduce a los hechos observables ni los presupuestos teóricos que explican el fenómeno”*.

Pero desde lo referido anteriormente surgen las preguntas ¿Cómo diseñar ese tipo de actividades experimentales? y ¿Cómo saber si el estudiante logra explicar el fenómeno?

Actividad experimental y análisis histórico-crítico

Para abordar la primera pregunta es conveniente recapitular que en su mayoría la ciencia se ha construido experimentando en el espacio del laboratorio, así que antes de diseñar dichas actividades es conveniente indagar por cómo han procedido los científicos y remitirse a la historia de la ciencia, esbozando un análisis crítico que resalte la experimentación y posibilite llevar a cabo la reconstrucción del fenómeno.

Esa reconstrucción puede servir de fundamento para la planificación de las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias naturales, sin embargo, es necesario aclarar que para fines educativos los experimentos no deben ser copiados de manera literal, pues el contexto científico es diferente al contexto escolar, y nuevamente se puede caer en aquella forma confusa mencionada en párrafos anteriores.

Gracias a las actividades experimentales provenientes de los análisis históricos, el estudiante estará en capacidad de obtener el rol protagónico en la construcción de sus propias explicaciones (Koponen y Mäntylä, 2006). Particularmente, cuando se profundiza en los momentos históricos donde se ha desarrollado el fenómeno de la basicidad (y por tanto de la acidez), se infiere que los científicos y personajes implicados mediante diversos procedimientos experimentales y debido a intereses particulares de sus comunidades, pretendían asignar características a dicho fenómeno para identificarlo, poder emplearlo a su favor y comprender las cualidades de las sustancias. Así, establecieron información necesaria para consolidar los cuerpos teóricos alrededor de los álcalis o las bases.

El reconocimiento inicial de tales circunstancias históricas puede evidenciar las diferentes maneras en que ha sido concebido el fenómeno de la basicidad y mostrar cómo la experimentación juega un papel fundamental en la interpretación y comprensión del mismo (Sandoval, Malagón y Ayala, 2006), aportando insumos para la planeación de las actividades experimentales (Malagón, Ayala y Sandoval, 2011), enriqueciendo el proceso de enseñanza en el aula y posibilitando la construcción de explicaciones.

Del mismo modo, la historicidad puede generar idealizaciones de la ciencia más humanas, comprensibles, útiles y susceptibles de ser apreciadas, donde se le revalore como uno de los grandes logros de la cultura humana (Matthews, 1994) dejando de lado la clásica imagen positivista de verdades absolutas y resultados infranqueables, y se le entienda como una actividad que se manifiesta por medio del ejercicio propio de la experimentación, con el cual ha logrado influenciar a las sociedades modernas y contemporáneas³⁴, quienes consideran que la ciencia es importante porque gracias a ella elaboran sus concepciones del mundo (Cachapuz y Goncalves, 2004).

El análisis histórico-crítico cobra una mayor relevancia en el caso concreto de la basicidad, ya que gracias a él es posible construir un fenómeno del cual no tenemos mucha experiencia en nuestra cotidianidad, tal como lo afirman Malagón, Sandoval y Ayala:

...desde nuestra vida cotidiana se tienen algunas formas de referenciar los ácidos, bien sea por su sabor u olor característico o por la acción sobre los metales, sin embargo es poca la experiencia que se tiene con respecto a las bases o álcalis (Malagón, Sandoval y Ayala, 2013, p. 134).

Actividad experimental y construcción de explicaciones

Para afrontar la segunda pregunta, es conveniente señalar que uno de los objetivos primordiales de la ciencia empírica consiste en explicar los fenómenos (Hempel, 1965) y en los contextos educativos esas explicaciones se encuentran directamente relacionadas con los procesos de formalización, los cuales no necesariamente implican desarrollar la matematización del fenómeno, pues pueden generarse desde el momento en que aparecen formas de lenguaje para referirse al mismo (Malagón, Sandoval y Ayala, 2013). Así, de la actividad experimental subyacen nuevos términos, enunciados que describen la observación de un hecho, generalizaciones del fenómeno y formas de organizar las ideas, en suma, procesos que dan cuenta de las explicaciones construidas por los estudiantes.

³⁴ Aunque la actividad científica históricamente también se ha visto influenciada por Intereses sociales particulares.

El camino hacia la explicación comienza cuando aparecen desequilibrios entre las creencias del estudiante, la manera previa de entender el mundo y las nuevas percepciones producto de la actividad experimental. Este hecho propicia la motivación por indagar más sobre el fenómeno y así tratar de equilibrar lo que se percibe con una reorganización de ideas. En el fenómeno de la basicidad dicho desequilibrio es inexistente, pues las ideas que tienen los individuos alrededor de las sustancias básicas o alcalinas son casi nulas. Sin embargo, el diseño de actividades experimentales intencionadas podría generar situaciones de controversia, en las cuales inicialmente el estudiante no logre explicar lo que percibe.

En virtud de lo expuesto anteriormente, el cuestionamiento resulta imprescindible para la construcción de explicaciones. Éste puede darse mediante la observación de un hecho específico o la obtención de un dato experimental, en actividades intencionadas desde una concepción teórica por los docentes. La continua y correcta formulación de preguntas lleva a construir explicaciones de mayor nivel (Bunge, 2000), que presenten estructuras con argumentos deductivos y utilicen criterios cognitivos en búsqueda de la unificación o la formulación de leyes (Estany, 2006).

En este sentido, las ideas docentes suscitadas por el análisis histórico-crítico generan unas actividades experimentales que provocan curiosidad y asombro, situaciones particulares que conducen a la formulación de preguntas o nuevos puntos de partida en el estudio de los fenómenos, así como a despliegues discursivos donde las comparaciones, los diseños experimentales, las generalizaciones y las predicciones, facilitan formas de explicación más coherentes y aproximadas que las iniciales (Segura, Molina y Pedreros, 1997), en las cuales convergen las ideas y el mundo sensible del sujeto, mediante esfuerzos constantes por organizar la experiencia y recrear las cualidades percibidas (Ayala, Malagón y Sandoval, 2011), por ejemplo, la cualidad de las sustancias básicas se reconoce por su carácter relacional, es decir, en la interacción con otras y no por sí mismas, con ello se diferencian de otra cualidad como la acidez de las sustancias, dando posibilidad a la elaboración de ordenaciones de mayor o menor grado de basicidad.

Para abordar la explicación, el epistemólogo alemán con nacionalidad estadounidense Carl Gustav Hempel (1965) propone el tradicional modelo *nomológico*³⁵-*deductivo*, el cual concibe la explicación como un razonamiento deductivo que se vale de leyes universales y hechos específicos para dar cuenta del fenómeno, por ende, para explicar un suceso es necesario incluir la descripción de su observación en una generalización.

Dicho modelo denomina *explanans*³⁶ al enunciado que se refiere a una generalización proyectable a casos estudiados y no estudiados, y *explanandum*³⁷ al enunciado que relata un suceso particular, por consiguiente, a partir de una ley general *explanans* se explica un hecho particular *explanandum* (Hempel, 1965). A modo de ejemplo, el *explanans* “*los ácidos se neutralizan con las bases*” explica el *explanandum* “*el jugo gástrico es neutralizado con la leche de magnesia*”, debido a que el jugo gástrico se considera como un ácido y la leche de magnesia como una base.

Sin embargo, el presente trabajo considera que el *explanans* y el *explanandum* se retroalimentan de manera constante, pues experimentalmente una generalización puede aparecer cuando el hecho particular se repite en varias ocasiones. Por ejemplo, los *explanandum* “*la leche de magnesia es un álcali y se colorea de verde*”, “*el bicarbonato de sodio es un álcali y se colorea de verde*” y “*la ceniza es un álcali y se colorea de verde*”, conforman el *explanans* “*los álcalis se colorean de verde*”.

De esa forma, cualquier explicación es producto de una generalización y un hecho particular, por lo cual surge la proposición: si todos los *A* son *B*, y *c* es un *A*, entonces *c* es un *B* (Bunge³⁸, 2000), que aplicada a un caso concreto del fenómeno de la basicidad tendría una generalización: “*todos los álcalis son amargos*”, un hecho particular: “*la espinaca es amarga*”, y como consecuencia la explicación: “*la espinaca es un álcali*”.

³⁵ Del griego “Nomos” que significa ley.

³⁶ Aquello que proporciona la explicación.

³⁷ Aquello que es explicado.

³⁸ Pese a que el filósofo argentino Mario Bunge critica la fenomenología, sus aportes en el tema de la explicación científica son valiosos para comprender como se logra explicar un fenómeno.

Es importante agregar que las explicaciones no científicas o nominales caen en situaciones circulares y estáticas, donde lo desconocido es explicado por lo desconocido (Bunge, 2000), como se aprecia en la expresión, *“la espinaca es amarga debido a su amargura”*. Por otra parte, las explicaciones con cierto carácter científico tienden a ser perfectibles y dinámicas, debido a que la fenomenología describe la experiencia pero ésta se perfecciona con la intencionalidad (Reeder, 1986), que se evidencia cuando las explicaciones utilizan datos cuantitativos, son capaces de predecir hechos o mejoran los procedimientos en el diseño experimental.

Una característica que se convierte en requisito para la explicación de carácter científico es la contrastabilidad, entendiendo que todos los enunciados constituyentes de una explicación deben ser susceptibles de contrastación empírica (Hempel, 1965). Así, en la experimentación se percibe que las cenizas tienen efecto limpiador en los objetos y entonces el enunciado *“los álcalis como la ceniza tienen efecto limpiador”* puede ser contrastado empíricamente, propiciando nuevamente la relación dinámica entre teoría y práctica (Sandoval, Malagón y Ayala, 2011).

Por lo expuesto, se podría considerar que las actividades experimentales diseñadas a partir de un análisis histórico-crítico, posibilitan la construcción de estructuras explicativas que utilizan generalizaciones y hechos particulares para dar cuenta de un fenómeno como el de la basicidad, en un proceso de enseñanza que privilegia la producción de conocimientos sobre la adquisición o distribución de resultados.

En conclusión, la enseñanza del fenómeno de la basicidad puede partir de la organización histórica del conocimiento, reconociendo la experimentación realizada y encontrando coherencia entre la formulación teórica y dicha práctica, para enriquecer los hechos observables por medio del diseño de actividades experimentales que posibiliten la construcción de explicaciones, extiendan la comprensión y den mayor valoración a este tipo de sustancias, todo obviamente en relación con la cotidianidad de nuestra cultura particular y generando procesos de autonomía en los estudiantes.

RUTA DE AULA: CAMINO A LA EXPLICACIÓN

La reflexión y análisis sobre el desarrollo histórico de la basicidad (y por tanto la acidez), permite diferenciar varios momentos donde las sustancias se caracterizan, clasifican, explican y organizan, al observar su interacción y reacción con otras sustancias en diversos procedimientos experimentales mediados por la curiosidad científica. Por lo tanto, se elabora un recorrido similar llevando a la clase de ciencias naturales actividades experimentales que amplían la experiencia alrededor de la basicidad (alcalinidad), promueven la discusión y el consenso entre los participantes, y posibilitan la construcción de explicaciones y la organización del fenómeno. En consecuencia, fue diseñada una propuesta que consta de cinco fases como puede apreciarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Fases de implementación de la ruta de aula.

Fase	Intencionalidad	Tiempo
1. Obtención y primera caracterización de álcalis	Obtener un álcali objeto de estudio (ceniza) y caracterizarlo en su interacción con otras sustancias como agua, grasa y metales.	3 horas
2. Caracterización de álcalis y ácidos	Agrupar diversas sustancias entre alcalinas y ácidas, mediante caracterizaciones elaboradas con el sentido del gusto y el tacto.	2 horas
3. Clasificación de álcalis y ácidos	Fabricar un indicador natural de álcalis y ácidos, para clasificar diferentes sustancias acorde con estas cualidades.	3 horas
4. Organización del proceso de neutralización	Estructurar el proceso de neutralización entre álcalis y ácidos, reconociendo la formación de sales y el origen del término “base”.	4 horas
5. Organización de la fuerza de bases y ácidos	Reconocer la mayor o menor presencia de la basicidad y la acidez en distintas sustancias, organizándolas de acuerdo con mediciones en su interacción.	4 horas

La propuesta es desarrollada con veintidós estudiantes del grado octavo en la Jornada Tarde de la Institución Educativa Distrital Atenas, ubicada en la localidad 4ta de San Cristóbal al sur oriente de la ciudad de Bogotá. Para tal efecto se diseñó un módulo de cinco sesiones experimentales correspondientes a cada una de las fases anteriormente mencionadas y un cierre en plenaria con la presentación de explicaciones por parte de los estudiantes. En la sección de **anexos** se puede apreciar el referido módulo de trabajo.

A continuación se detallan las actividades planteadas para cada una de las fases, así como las observaciones generadas en el desarrollo de la intervención en el aula y los análisis construidos a partir de los registros escritos de los estudiantes.

Fase 1. – Obtención y primera caracterización de álcalis

Obtener un álcali objeto de estudio (ceniza) y caracterizarlo en su interacción con otras sustancias como agua, grasa y metales.

Tabla 3. Fase 1.

Actividad	Observaciones	Registros
<p>En un espacio acondicionado y con una fogata en el centro se hizo la introducción a la investigación. Se leyeron y contaron historias sobre la alquimia, el fuego y la importancia de</p>	<p>Se conformaron seis grupos de trabajo (cuatro grupos de tres estudiantes y dos grupos de cuatro estudiantes) y se les entregó el documento guía de la discusión. Incentivándolos a la experimentación y al análisis mediante preguntas y anotaciones en las hojas de trabajo. Cerrando con indicaciones de seguridad en cuanto a la manipulación de sustancias y el establecimiento de acuerdos para la realización de la actividades. Algunos estudiantes están motivados por la realización de las actividades pero otros muestran apatía.</p>	

las cenizas para nuestra comunidad. Así mismo se dialogó entorno al origen de los álcalis y se recogieron las cenizas de la fogata y el humo para su análisis

Se desplazaron a una plazoleta dentro del colegio, donde se prendió una fogata, la cual se rodeó en un costado y el docente al frente del grupo dio paso a la lectura del documento “De las cenizas a los álcalis” haciendo relevancia en las cenizas que iba dejando el fuego, la importancia de su estudio en la alquimia y la necesidad de ser estudiada por los estudiantes como una forma de reconocer las propiedades de los álcalis. Mientras tanto algunos estudiantes toman apuntes y registro con los celulares, haciendo intervenciones sobre términos desconocidos



“La madera cambio las cenizas de color negro y gris”

Los estudiantes habían traído malvaviscos y con ayuda de pinchos se les permitió ser cocinados con el fuego de la fogata para ambientar la discusión. Esto propicio la identificación de propiedades por medio del gusto y lo amargo como una característica de los malvaviscos quemados.



“Los masmelos al ser quemados tienen sabor amargo como a carbón”

Se continuó con las lecturas de la guía para reconocer que las cenizas al ser mezcladas con agua producen los álcalis. Para finalizar cada grupo recogió cenizas de la fogata en un mortero y el gas producido en un balón de vidrio cerrado con un corcho. Durante la lectura se hizo énfasis en la relación cenizas y álcalis para poder establecer el término álcali como resultante de la obtención de las cenizas y su mezcla con agua.



Se reconoció el efecto limpiador de las cenizas en objetos hechos de diferentes metales previamente engrasados y su diferenciación con el gas de la fogata con ayuda de preguntas guiadas por el docente.

El curso se desplazó al laboratorio del colegio, ubicándose los grupos en dicho espacio según su gusto, uno o dos por cada mesón de trabajo. Leyeron la “Actividad experimental” que proponía la guía I y a las cenizas se les añadió agua para disolverla, se repartieron roles entre el grupo de trabajo. Unos cogen el material y lo lavan mientras que otros tratan de establecer lo que van a hacer sin embargo existe la dificultad de determinar un procedimiento a seguir debido a que no se toman el tiempo para planificar las acciones a realizar y que la hoja no tiene especificado los pasos a realizar. Algunos consultan con otros grupos por el procedimiento a seguir. Posteriormente se tomaron los siguientes objetos previamente engrasados:

- Un pedazo de papel Aluminio.
- Un anillo de Plata
- Un trozo de cable de Cobre
- Un trozo de teja de Zinc
- Una llave de Latón
- Una moneda de \$200
- Una moneda nueva de \$50.
- Una puntilla de Hierro
- Una cuchara de Acero Inoxidable

Al dejarlos unos minutos al contacto con las cenizas disueltas y al ser lavados con agua los estudiantes anotaron lo observado, describiendo los cambios sufridos por los metales, diferenciándolos y clasificándolos para dar explicaciones

Sobre el aspecto de la ceniza se dice:



“tiene una compostura terrosa como la arena”

“cogimos cenizas y al echarle un poco de agua quedo homogénea”.

Sobre la acción de las cenizas en los metales se dice:



“la llave se volvió brillante al contacto de la ceniza”

“la moneda de \$200 quedo más lisa”

“la moneda que usamos quedo aún”

	<p>al fenómeno del aumento de brillo en algunos de ellos y las sensaciones que producen al tacto. Observando que aunque la ceniza aumenta el brillo de los metales no lo hace con la misma intensidad, no disminuye el olor a grasa de los objetos, pero si los deja más lisos y suaves. Un estudiante prueba la ceniza denota que tiene sabor amargo y a tierra, algunos se pintan la cara con ceniza</p>	<p><i>más brillante y lisa”</i> <i>“se le pudo quitar la mayoría de aceite al cobre”.</i> <i>“la cuchara quedo más limpia”</i> <i>“la cadena blanqueo”.</i></p>
	<p>En la guía de trabajo se plantearon las preguntas: ¿Por qué las Cenizas pueden limpiar una armadura? Y ¿Existen otras sustancias con cualidades similares a las cenizas que también puedan hacerlo?, las cuales fueron debatidas por el grupo y su respuesta consignada en las hojas de trabajo. Dando respuestas que mencionaban el llegar a efectos esperados o resultados positivos.</p>	<p>Para responder las preguntas se señala que: <i>“descubrimos que las cenizas limpian metales”, o “se cayó la grasa de todos los materiales dejando un aspecto más suave en ellos”</i></p>
<p>Se mezclaron las cenizas con grasa animal para fabricar Saponem (Jabón sólido)</p>	<p>La fabricación de saponem (jabón sólido) mezcla de ceniza y grasa animal, se dificulto por la extensión de la actividad pero al tratar de limpiar con éste, algunos estudiantes observan que quita la grasa de algunos materiales y es arrastrada por el agua cuando esta se moja.</p> <p>Algunos estudiantes se fijan en la composición de la mezcla, el olor y la textura que deja al contacto con los metales, señalado que el jabón cancela el efecto de la grasa en los metales.</p>	<p><i>“la ceniza mojada absorbe la grasa”, “el álcali remueve la grasa” o “la ceniza deshizo el efecto de la grasa”, “es un jabón de cenizas”</i> <i>“quita la grasa al contacto con el agua”.</i></p> 

Las primeras caracterizaciones que hacen los estudiantes sobre las cenizas indican su composición terrosa, lo cual se aprecia en la afirmación *“tiene una compostura terrosa como la arena”*, aclarando que la palabra *“compostura”* significa la construcción y hechura de un todo que consta de varias partes. Así mismo, mencionan la solubilidad del material en agua, haciendo alusión a la formación de una mezcla homogénea en la aseveración *“cogimos cenizas y al echarle un poco de agua quedo homogénea”*.

Al momento de experimentar “el efecto limpiador” de las cenizas, aparecen expresiones como *“la llave se volvió brillante al contacto de la ceniza”*, *“la moneda de \$200 quedo más lisa”* o *“la moneda que usamos quedo aún más brillante y lisa”*, las cuales señalan un cambio en el brillo y la textura de los metales luego de tener contacto con el álcali y dan cuenta de tal efecto limpiador. El hecho de comparar la moneda *“usada”* con otra de igual denominación a la que no se le realizó proceso alguno, resulta ser muy funcional para establecer parámetros de análisis al interior de cada grupo y evidenciar sensorialmente los cambios ocurridos.

En algunos casos como el del cable de cobre, los estudiantes mencionan que si bien no existe un cambio general, las cenizas mantienen cierto efecto limpiador, *“se le pudo quitar la mayoría de aceite al cobre”*. En otros, dicho cambio es contundente y relevante, por ejemplo, *“la cuchara quedo más limpia”* o *“la cadena blanqueo”*.

Los estudiantes concluyen con las siguientes expresiones: *“descubrimos que las cenizas limpian metales”*, *“luego del contacto con las cenizas los objetos ganaron más brillo”* o *“se cayó la grasa de todos los materiales dejando un aspecto más suave en ellos”*, lo cual generaliza el efecto limpiador como una característica de los álcalis al contacto con los metales. Particularmente un grupo menciona que *“las joyas también se pueden limpiar con bicarbonato de sodio”* y por tanto esta sustancia tendría cualidades similares a la ceniza.

Con respecto a una explicación del fenómeno, se expone que *“la ceniza mojada absorbe la grasa”*, *“el álcali remueve la grasa”* o *“la ceniza deshizo el efecto de la grasa”*, suponiendo el accionar de una propiedad química como la “polaridad” cuando interaccionan agua, grasa y álcali. Esta idea es reafirmada con la

fabricación y utilización del Saponem que “es un jabón de cenizas” y “quita la grasa al contacto con el agua”.

Resumiendo, podemos afirmar que la obtención de un álcali y su caracterización en la interacción con otras sustancias como agua, grasa y metales, posibilita estructurar algunas ideas sobre las sustancias alcalinas desde la experiencia sensible, teniendo como referencia la alquimia. Así, los estudiantes caracterizan el álcali por su composición terrosa, solubilidad en agua, efecto limpiador al quitar la grasa, poder brillador de metales y funcionalidad en la elaboración de jabones (saponem).

Fase 2. – Caracterización de álcalis y ácidos

Agrupar diversas sustancias en álcalis y ácidos, mediante la caracterización elaborada con el sentido del gusto y el tacto.

Tabla 4. Fase 2.

Actividad	Observaciones	Registros
Introducción y lectura de la guía II, en la cual se menciona la latroquímica y la búsqueda de sustancias para curar la acidez, lo amargo, lo dulce y lo salado en los cuerpos.	En el laboratorio de ciencias de la institución se reunieron los mismos estudiantes y dos docentes investigadores. Los grupos de trabajo y su distribución espacial se mantuvieron como en la primera sesión. La lectura de la guía se realizó por grupos de trabajo y los estudiantes empezaron a relacionar las sustancias alcalinas y los ácidos con algunas enfermedades y valorar su conocimiento	
Lectura del uso del sentido del gusto para reconocer sustancias con ayuda del sistema nervioso.	En grupo recordaron las propiedades de los álcalis observados en la sesión anterior con la ceniza y los malvaviscos en cuanto a su sabor amargo.	<i>“las cenizas tienen sabor amargo igual que los masmelos”</i>

Degustación de sustancias acidas y alcalinas que producen sensaciones en la lengua y se pueden agrupar por regiones en la misma relacionando dichos sabores con él de las cenizas.

Un estudiante designado recogió el material de vidrio a utilizar durante la sesión, el cual incluía diez tubos de ensayo, una gradilla, mortero y crisol. Además de sustancias agrias y amargas como: Bicarbonato de Sodio, Café, Cenizas, Clara de Huevo, Gas de la fogata, Jabón líquido, Jugo artificial de naranja, Leche de Magnesia, Vinagre y Zumo de Limón.

Estas fueron saboreadas por un integrante del grupo al cual se le había vendado previamente los ojos. Algunos mostraban desconfianza y temor al no poder ver y probar sustancias algunas de las cuales no habían saboreado nunca. Dentro de los grupos un estudiante tomaba apuntes acerca de las sensaciones que le producían las sustancias, mostrando interés por reconocer la zona de la lengua donde se percibía el sabor agrio o amargo. Posteriormente cada grupo se reunió para definir y clasificar las sustancias según fueran agrias o amargas y escribiendo las observaciones en la guía, algunos grupos no logran diferenciar claramente lo agrio de lo amargo y por lo tanto se dificulta la clasificación de las sustancias. Otros observan la textura, lo jabonoso o lo líquido de las sustancias como elemento diferenciador, además de la zona en la lengua donde se producía el sabor agrio o amargo.



Jabon liquido: Amargo
 *La sustancia es espesa el olor es menos fuerte que del champo el sabor es amargo

Shampoo: Amargo
 *La sustancia es muy espesa el sabor es amargo y el olor es muy fuerte

Cafe: agrio
 *El cafe es pastoso le agregue agua el cafe muestra sabor agrio

Milenta: Amarga
 *La milenta tiene un sabor como amargo y a esta sustancia se le agrio mona

Cola Negra: Agrio
 *siento que la sustancia le sopo a dotee y el agrio es el gas

Acido
 - Jugo de naranja
 - Acido
 - Limon

Experimentación con sustancias alcalinas de origen vegetal para ampliar la

Cada grupo tomo hojas de Acelga, Diente de León y Espinaca las cuales fueron trituradas y solubilizadas en agua para que fueran degustadas y clasificadas en lo hecho anteriormente. Apoyado por lecturas sobre los

“La acelga sabia amarga, al igual que la

experiencia sobre álcalis volátiles y álcalis vegetales que se *sabila, la*
las mismas. pueden extraer de las cenizas de plantas *espinaca y el*
alcalinas. Sin embargo no fue clara la manera *diente de*
como realizar el procedimiento y fueron *león por esto*
ayudados por el docente. Se les dificulto *son alcalis”*
clasificar las sustancias vegetales dadas como
amargas e inscribirlas al grupo de las
sustancias alcalinas.

Al inicio de la actividad experimental, los estudiantes retoman la fase anterior y continúan mencionando la composición terrosa que perciben en las cenizas, “*a nuestro compañero la ceniza le supo a tierra*”. Sin embargo, esta peculiaridad termina siendo despreciada pues a lo largo de la experimentación no aparece en otras sustancias.

Generalmente la lengua se reconoce por ayudar en la diferenciación de sustancias y junto con la boca conforman el sentido del gusto, con la nariz y la piel se potencializa la distinción de sustancias mediante el tacto y el olfato. En consecuencia, además de los sabores, los estudiantes utilizan las texturas que perciben para caracterizar y agrupar sustancias alcalinas y ácidas.

Al llevarse a la boca diversas sustancias, señalan cierta textura resbalosa, gelatinosa o jabonosa que coincide en algunas y los orienta a realizar pequeñas agrupaciones, por ejemplo “*la clara de huevo y la leche de magnesia son resbalosas*” o “*el huevo y el jabón tienen una textura gelatinosa*”, estas caracterizaciones son asociadas al “*sabor amargo*” y conducen a generalizaciones como “*todos los gelatinosos son amargos*” o “*los amargos: cenizas, jabón líquido y leche de magnesia tienen una sensación jabonosa en la parte izquierda de la lengua*”.

Precisamente los estudiantes agrupan “*las cenizas, el jabón líquido, la leche de magnesia, la clara de huevo y el bicarbonato de sodio*”, por su sabor amargo y asumen que son “*álcalis*” debido a la inclusión de la cenizas en el grupo. Esto pone de manifiesto la importancia de lo construido en la primera fase y establece el sabor amargo como característica de las sustancias alcalinas. De manera particular, alguien lleva “*jabón rey*” para realizar la experiencia y al respecto

escribe *“es el más amargo de todos, entonces debe ser el que mejor limpia”*, refiriéndose a esta sustancia como la de mayor cualidad alcalina entre las estudiadas.

Sin embargo, es recurrente incluir al *“café”* en el anterior grupo, quizás porque el lenguaje cotidiano habla del sabor amargo de las bebidas calientes como el chocolate y el café, descripción que no comparten los catadores, quienes afirman del café una sensación de sequedad producida en los bordes de la lengua y en la parte de atrás del paladar, acompañada de un tono picante característico de su acidez.

Los estudiantes mencionan esa sensación picante y la asocian directamente a la acidez del zumo de limón, el vinagre o el agua con gas, *“el limón está concentrado en la punta de la lengua con sensación picosita o sensación ácida, la gaseosa también es picosita”*, *“el vinagre se siente picante, un sabor ácido en el lado de atrás de la lengua y es muy parecido al limón”*. Tal distinción es utilizada para agrupar las sustancias y se vincula con el *“sabor agrio”* en expresiones como *“el vinagre es agrio un poco picante”*. Por consiguiente, agrupan *“el zumo de limón, el vinagre, el agua con gas y el jugo artificial de naranja”*, y señalan que son *“ácidos”*, estableciendo como características de las sustancias ácidas el sabor agrio y la sensación picante que producen.

El característico sabor amargo de los álcalis y agrio de los ácidos, resulta ser complejo de identificar, pues en el afán de la cotidianidad las personas no se toman el tiempo de degustar y reconocer los sabores, haciendo que el sentido del gusto apenas sea utilizado por necesidad. Lo anterior se suma a la inexperiencia de los estudiantes caracterizando sabores de sustancias.

No obstante, el saborear intencionadamente y vendar los ojos para hacerlo, genera curiosidad y lleva a que los individuos centren toda su atención en las caracterizaciones que pueden elaborar con su boca, algo muy funcional en el desarrollo de la actividad experimental y en la construcción de explicaciones. En dicho ejercicio, la acelga, el diente de león y la espinaca también tienen un papel relevante, pues con estas sustancias se logra la identificación del sabor amargo que presentan los álcalis.

Para terminar, se puede afirmar que esta fase posibilita conocer, diferenciar y agrupar sustancias alcalinas y ácidas mediante el sentido del gusto. Las distinciones elaboradas se basan en la memoria sensitiva y se unen a la experimentación, generando caracterizaciones amargas para los álcalis y agrias para los ácidos. Además de generar interés en los estudiantes, emerge la textura jabonosa como otra característica de los álcalis fundamental para su reconocimiento. Ciertos inconvenientes de los individuos a la hora de agrupar las sustancias por medio del sentido del gusto y el tacto, hacen evidente la necesidad de profundizar en el reconocimiento del fenómeno por medio de indicadores naturales que permitan clasificar sustancias a partir de una evidencia más concreta como el cambio de color.

Fase 3. – Clasificación de álcalis y ácidos

Fabricar un indicador natural de álcalis y ácidos, para clasificar diferentes sustancias acorde con estas cualidades.

Tabla 5. Fase 3.

Actividad	Observaciones	Registros
<p>Lectura sobre “El indicador de los álcalis” y sobre el papel de la experimentación según Robert Boyle</p>	<p>Continuando la experiencia de aula en el laboratorio de ciencias de la institución se reunieron los estudiantes y los docentes investigadores. Los grupos de trabajo y su distribución espacial se mantuvieron como en las sesiones anteriores. Se inicia la sesión con preguntas y discusión alrededor de lo observado en la sesión anterior y con posibles aclaraciones sobre la clasificación hecha por algunos grupos para las características de ácido y álcali de las sustancias. Algunos estudiantes habían consultado en casa y mencionaban el término pH como posible forma de conocer las propiedades ácidas o alcalinas de una sustancia. Con el</p>	

grupo se realizó la lectura y el docente motivo a los estudiantes en la realización de las actividades para el día, enfatizando en la necesidad de crear una sustancia que permita reconocer las propiedades de las sustancias para poderlas clasificar. Posteriormente se leyó un fragmento sobre la experimentación escrito por Robert Boyle, acerca de la experimentación y como ampliar la experiencia sensible para generar explicaciones acerca de la naturaleza de las sustancias. El docente realiza énfasis en la forma como experimentaba Boyle como ejemplo de curiosidad científica frente a los fenómenos naturales.

“Los alcalis tienen sabor amargo, en la lengua se sienten en la parte de atrás, son resbalosas, gelatinosas y pueden limpiar los metales quitándole la grasa”

“Los ácidos son agrios, se siente en los bordes y punta de la lengua, son picantes, arden e irritan con cosquilleo en la piel”

Actividad Experimental
Fabricación de un indicador mediante plantas vegetales.

A cada grupo se le asignó un tipo de vegetal con el cual fabricar el indicador reseñado en la guía teniendo las siguientes opciones:

1. Flores de Jazmín
2. Flores Violetas.
3. Repollo morado.
4. Mora
5. Rojo Carmín.

Se repartieron roles para el lavado, la toma de apuntes y la dirección de la actividad. El docente intervino en la explicación del procedimiento y la realización de acciones como el calentamiento en baño de María, el filtrado y la recogida del extracto.

Alcalis = Orina Ceniza - Verde azulado
 Jabón - Azul marino
 Bicarbonato = Azul claro
 Leche magnesia = Azul

Ácidos = Orina
 Gaseosa
 Jugo artificial
 Vinagre
 Limpiador
 Alcohol

Reyes



Experimentación del indicador fabricado con varias sustancias.

Usando el material respectivo se realizó la mezcla del indicador previamente elaborado con sustancias como: Ácido de Batería, Alcohol, Bicarbonato de Sodio, Café en Agua, Cenizas Humedecidas, Clara de Huevo, Desengrasante, Gas de la Fogata disuelto en agua, Jabón Líquido, Jugo Artificial de Naranja, Leche de Magnesia, Orina, Vinagre y Zumo de Limón.

Lo anterior con el fin de organizarlas según sus propiedades acidas o alcalinas. Los estudiantes usaban gradillas y tubos de ensayo pero en un principio no los rotulan por lo cual el reconocimiento de las sustancias se dificulta. Los indicadores vegetales presentan las siguientes propiedades químicas:

1. La infusión amarilla de las flores de Jazmín pierde el color con las sustancias ácidas y se tornan amarillas con los álcalis.
2. La infusión de flores de violeta es de color violeta pálido, sin embargo presentan coloraciones rojas con sustancias ácidas y verdes con sustancias alcalinas.
3. La infusión de remolacha de color rojo presenta coloraciones rojas para sustancias ácidas y leves coloraciones moradas para sustancias alcalinas no obstante dichos cambios no son tan evidentes presentándose una



degradación de colores desde los rojos fuertes según la fuerza del ácido hasta leves morados cuando el álcali es fuerte.

4. El extracto del repollo morado presenta coloración morada intensa que va desde el rojo intenso cuando se mezclan con ácidos hasta el violeta para sustancias neutras y el verde azulado para álcalis fuertes.

5. La infusión de mora presenta coloración roja que se mantiene con las sustancias ácidas pero cambia a azul y verde cuando se mezclan con las sustancias alcalinas.

6. La extracción de rojo carmín usando cochinillas no dio el resultado esperado ya que se usó una especie local y se requiere un tipo especial de cochinilla (*Dactylopius coccus*) por lo cual el indicador se tuvo que cambiar por uno llamado indicador universal hecho a base de líquenes.

A los estudiantes se les dificulta realizar ordenaciones y clasificar los ácidos y los álcalis por lo cual el docente debe realizar aclaraciones que relacionen las sesiones anteriores como el sabor de las sustancias y el color dado por el indicador. Las lecturas anteriormente realizadas no son retomadas a profundidad debido al poco tiempo de discusión y se pierden elementos que enriquecen la observación. El uso del material y su distribución no fue el óptimo



“Con las gotas añadidas de indicador podemos saber si la sustancia es acida o alcalina”

“Los ácidos cambian los indicadores a rojo y los álcalis a verde”

por cuanto no se tuvo el tiempo previo para organizarlo al igual que las sustancias a manipular y eso llevó a que exista desorden en la práctica. Algunos estudiantes filtraron los extractos para evidenciar mejor los cambios de color en el indicador sin instrucción del docente. La ordenación varía entre los grupos pero el docente orienta el análisis haciendo precisiones sobre las sustancias manipuladas y los resultados obtenidos cuyo objetivo es evidenciar dos clases de sustancias acidas o álcalis sin importar el tipo de indicador. Aunque la actividad es larga (2 horas y 30 minutos) el docente parece entusiasmado con los hallazgos realizados por los estudiantes, el grupo permanece motivado por la experiencia y realizan mezclas para tratar de identificar nuevos comportamientos de las sustancias y ampliar la observación de los fenómenos.

Materiales
 leche de magnesia.
 Japón artificial de naranjo
 Jabón
 Gaseosa
 Bicarbonato de sodio
 solución indicador
 Ceniza
 Suero de limón
 Acido de batería.
 Agua.
 Acido / Bicarbonato.
 Apuntes
 para que la sustancia sea más alcali se hizo que agregara 3 ~~gotas~~ dosis de bicarbonato de sodio.
 leche de magnesia / Acido de batería
 Al acido. Para volver el acido alcali se necesitan 3 dosis el acido de batería y con la leche se necesitan más de 3 para volverlo alcali.
 Acido / ceniza.
 La ceniza siendo más fuerte en color alcali, resulto ser más fuerte el bicarbonato de sodio.
 Jabón / Acido de B.
 Como el acido con más de tres dosis del Jabón.
 resultado.
 El más alcali del bicarbonato de sodio.

Mezcla de ácido muriático y Soda caustica concentrada y diluida.

Se realizó la mezcla de gotas de un ácido fuerte con un álcali fuerte, cada uno en los extremos de un vidrio de reloj, con la finalidad de observar los cambios de color respectivos en el indicador y realizar variaciones en las cantidades añadidas para construir explicaciones sobre la neutralización de las propiedades alcalinas o acidas de las sustancias cuando se combinan mutuamente. Posteriormente se realizó el



“logramos que cambiara de color el ácido de rojo a sin color y a verde

mismo procedimiento pero con soluciones diluidas de las mismas sustancias. Dando como resultado que el ácido presentaba coloración roja y la base verde al mezclarse con el indicador pero al juntarse la coloración permanece roja hasta cuando se añade más álcali y los estudiantes hacen comentarios sobre la pérdida de fuerza de los ácidos ya que se torna traslucida la mezcla hasta cuando desaparece el color y es remplazado por el color verde característico de los álcalis. Con un pitillo y un Erlenmeyer al cual se le sumerge la punta en solución de indicador y agua, con coloración amarilla inicial, un grupo le agrega bicarbonato de sodio, la coloración cambia a verde y un estudiante sopló y posteriormente la mezcla volvió a tomar coloración amarilla por lo cual se pudo reconocer la característica ácida de las sustancias que exhalan los pulmones y acomodarla en la clasificación anteriormente realizada. Los estudiantes muestran alegría por lo observado.

cuando lo mezclamos con el álcali”



“El aire resultó siendo ácido y se neutralizó con combinaciones del álcali de a tres dosis”

Experimentación con mezcla de varias sustancias

Los estudiantes realizan combinaciones entre las siguientes sustancias:

- Las Cenizas Humedecidas con el Gas de la Fogata disuelto en agua.
- El Zumo de Limón con el Desengrasante.
- La Clara de Huevo con el Jabón Líquido

Para responder a la pregunta: ¿Qué



sucedirá si se mezclan dos sustancias coloreadas de manera diferente por el mismo indicador? Los estudiantes señalan el cambio en el color inicial de la sustancia y el color de la solución resultante de la mezcla como un indicador de la naturaleza de la mezcla final para poderla clasificar como ácida o básica. Otros propusieron realizar la mezcla midiendo la cantidad tomada inicialmente y cuanto requería para cambiar el color tomando apuntes de las mismas para construir tablas.

“Los alcalis desaparecen por los ácidos y la efervescencia es producida por la neutralización”

Teniendo presente la existencia de sustancias tóxicas o nocivas que no pueden ser saboreadas para determinar su alcalinidad o acidez, los estudiantes fabrican un indicador con extractos naturales que posibiliten diferenciarlas sin necesidad de usar el gusto. Antes de proceder con la clasificación de sustancias, algunos estudiantes recapitulan la experiencia anterior al mencionar *“el propósito es aplicar la sustancia de violetas para diferenciar los amargos de los ácidos”*, haciendo alusión al sabor amargo propio de los álcalis y de un grupo contrario al de las sustancias ácidas.

La clasificación de álcalis y ácidos se logra por los colores observados en las sustancias cuando es agregado un indicador natural. En el caso del jarabe de violetas y el repollo morado *“los álcalis son verdes y los ácidos son rojos”*, por lo cual los estudiantes hacen constructos como *“el limón coloreo rojo así que es ácido”* o *“la leche de magnesia dio verde que es un álcali”*. Mientras que con el extracto de moras *“los álcalis dan colores entre morados o azules y los ácidos son de colores entre rojos y rosados”*.

Sin embargo, algunos indicadores elaborados durante la actividad experimental no son tan efectivos, por ejemplo, el fuerte tinte rojo de la remolacha no permite ver con claridad los cambios de color, en el extracto de flores blancas de jazmín solo se observan diferencias de tonalidad en algunas sustancias y el rojo carmín no se puede fabricar con las cochinillas que se encuentran en nuestro contexto,

“creemos que no trajimos la especie adecuada, debe haber muchas razas de cochinillas”. Tal circunstancia motiva a la utilización de los indicadores que resultan ser más eficaces en la clasificación de sustancias, por ende varios grupos escogen experimentar con el jarabe de violetas debido a las coloraciones verdes y rojas que éste genera.

La fabricación de indicadores naturales de álcalis y ácidos posibilita relacionar intencionalidades de explicación con procedimientos como la maceración, la decantación y la filtración, y recrea lo perfectible de estas actividades. Para visualizar mejor los colores se ponen en juego diversas técnicas y procedimientos experimentales, por ejemplo, los tubos de ensayo son situados por encima de las batas blancas, una hoja de papel blanco es ubicada atrás de la gradilla o se separan algunas sustancias no disueltas que distorsionan el color, *“para poder contemplar bien el color los filtramos”*. Por iniciativa propia, un grupo de estudiantes solicita papel filtro y embudo de filtración para extraer el exceso de cenizas de una muestra coloreada, esta práctica les permite una mejor observación del color de las sustancias por lo que es realizada de forma repetitiva con todas las sustancias objeto de estudio, perfeccionando así la actividad experimental.

Para dar cuenta de la clasificación de sustancias lograda luego de la experimentación con los indicadores, los estudiantes utilizan tablas, cuadros comparativos o esquemas, donde muestran que *“la ceniza, el bicarbonato de sodio, la leche de magnesia y el jabón líquido”* son clasificados álcalis, mientras que *“el ácido de batería, el vinagre, el zumo de limón, el jugo artificial de naranja y el agua con gas”* se catalogan ácidos.

En la clasificación de otras sustancias como la clara de huevo y la orina, existen sucesos particulares que evidencian la curiosidad y el cuestionamiento por la actividad experimental. Aunque en los planteamientos originales no se concibe el estudio de la yema del huevo, el enunciado *“la clara cambio su color y la yema no lo hizo”*, denota el interés por clasificar ambos componentes, atreviéndose además a expresar *“solo la clara de huevo es álcali”* o *“la clara es álcali y la yema es neutra”*. Así mismo, la experimentación con orina genera debates y nuevos interrogantes que se resumen en la pregunta *“¿Por qué la orina femenina es distinta a la masculina?”*, formulada luego de observar que la orina de hombre

presentaba tonalidades de álcalis, mientras que la orina de mujer parecía ser ácida.

Suponiendo que unas sustancias tienen mayor acidez en comparación con otras, dos grupos de estudiantes intentan organizar los colores resultantes de los ácidos, del más al menos intenso, coincidiendo en que *“el ácido de batería es el más ácido”*, al presentar una coloración rojiza más intensa que las demás, un grupo relata *“creemos que los colores cambian porque las sustancias tienen más o menos ácido”*, indicando que el comportamiento ácido se puede cuantificar y una prueba de ello es la intensidad del color generado en cada sustancia. De la misma forma tratan de organizar los álcalis, manifestando que *“el verde de las cenizas es casi azul”*, lo cual indica cierta particularidad en esta sustancia y presupone una mayor cualidad alcalina.

Otro grupo desarrolla la idea de una mayor alcalinidad y acidez, cuantificando el fenómeno a su manera. Para eso miden la cantidad de sustancia, *“dosis”* según ellos, que logra volver álcali a un ácido o viceversa, *“para volver álcali al el ácido de batería se tuvo que agregar 3 dosis de bicarbonato de sodio y con la leche se necesitan más de 3”*, por tanto, *“el más álcali es el bicarbonato de sodio”*. Además, la noción de cantidad aparece en la expresión *“para hacer que el limón fuera álcali se le tuvieron que echar muchos álcalis”*, lo cual directamente se asocia con la fortaleza ácida del limón, al requerir numerosos álcalis para ser transformado. En este grupo también surge una concepción sobre el proceso de neutralización, *“4 dosis de gaseosa vuelve neutral el álcali pero no lo cambia”*, afirmando que ambas sustancias pierden sus cualidades ácidas y alcalinas cuando se combinan en ciertas cantidades.

Los estudiantes empiezan a significar la neutralización creando una terminología alrededor de la misma, toda vez que al mezclar álcalis y ácidos, observan coloraciones diferentes a las originales, *“cuando las mezclas se colorean de amarillo es porque no son ni álcalis ni ácidos, son como el agua”*, *“el ácido de batería es neutro tras juntarlo con bicarbonato, otras veces lo logramos neutralizar agregando otros álcalis”*. También caracterizan el proceso acorde con las reacciones que perciben, *“cuando se hecho bicarbonato de sodio al limón salió espuma”*, *“vinagre y jabón: al mezclarlos pudimos observar que hizo una*

erupción”, llegando a generalizaciones como *“al mezclar los álcalis y un ácido hay una erupción”*.

La clasificación del aire proveniente de los pulmones ocasiona un interés particular que propicia el perfeccionamiento de la actividad experimental en búsqueda del proceso de neutralización. Las expresiones *“al soplar con el pitillo el agua con indicador, aparece un color más naranja que amarillo”*, *“al introducir el aire en la sustancia tuvo un color naranja que es ácido”* y *“al agregar el aire se vuelve naranja lo que quiere decir que es ácido”*, indican la naturaleza ácida del aire exhalado, mientras que procedimientos y explicaciones como *“100 ml de agua + álcali + indicador = color verde, soplamos y el color se iba tornando más claro, es decir en escala de amarillo. El aire resultante siendo ácido y al contacto con el álcali término siendo amarillo es decir neutro”* o *“cuando echamos bicarbonato al agua se tornó verde lo que quiere decir que es álcali, pero después de soplar por el pitillo se volvió amarillento y eso significa que el aire es ácido”*, dan cuenta del proceso de neutralización gracias a la experimentación intencionada que emplea sustancias previamente caracterizadas.

La concentración de las sustancias resulta ser otro elemento de interés en el proceso de neutralización y en la determinación de las cualidades alcalinas y ácidas. Luego de experimentar coloraciones diluyendo álcalis y ácidos, algunos estudiantes escriben *“al mezclar un ácido no puro con un álcali no puro, se manifiesta el álcali no puro, pero si se mezcla con un ácido puro se manifiesta ese ácido puro”*, lo cual señala que un incremento en la pureza del ácido implica el aumento de su acidez.

Además, se evidencia como la construcción parcial de explicaciones genera dudas que se transforman en cuestionamientos y posibilitan una reorganización de la experiencia, por ejemplo, la afirmación *“los jabones se comportan diferente a los jugos”* suscita la pregunta *“¿habrá algún jugo que de los resultados de los jabones?”*, con la cual se promueve el diseño de nuevas actividades experimentales que respondan a dicho interrogante. También se plantean procesos de verificación y perfeccionamiento de la experimentación, como en la certeza *“los jabones dan colores entre azul y verde”* con la que se propone una corroboración del hecho *“debemos volver a probar con un jabón de color rojo o naranja”*.

En suma, esta fase invita a profundizar con mayor detalle en la experimentación, pues aparecen nuevas observaciones como la tonalidad de los colores, la efervescencia y la neutralización de comportamientos, las cuales generan interrogantes frente a la naturaleza y la concentración de las sustancias, poniendo en evidencia la necesidad de formalizar el fenómeno desde las maneras de referirse al mismo, así como procurar su cuantificación realizando ordenaciones de intensidad de basicidad y acidez.

Fase 4. – Organización del proceso de neutralización

Estructurar el proceso de neutralización mutua entre álcalis y ácidos, reconociendo la formación de sales y el origen del término “base”.

Tabla 6. Fase 4.

Actividad	Observaciones	Registros
Lectura de los “Álcalis a las Bases”	Para iniciar la sesión se realizaron aclaraciones, comentarios y síntesis en torno a las observaciones hechas en sesiones anteriores. Se realizó la lectura sobre cómo Guillaume Francois Rouelle propone el termino base, que reúne los principios térreos de los álcalis, en la fabricación de sales. Durante esto los estudiantes intentan comprender lo abordado por la lectura y realizan preguntas acerca de la naturaleza de las sales y su origen ácido o básico, cuestionándose sobre la relación del sinónimo álcali y base.	 <p><i>“podemos llamar bases a los álcalis”</i></p>
Actividad experimental Fabricación de un antiácido estomacal usando la	A partir de la pregunta: ¿Cómo saber si a un álcali se le han neutralizado sus características? Y la necesidad que se presentaba en la época de la latroquímica de elaborar remedios que neutralizaran la acidez estomacal y en los humores de las personas, los estudiantes fabricaron un antiácido partiendo de un vegetal alcalino asignado por el docente y mezclando su	<p><i>“los vegetales son amargos por lo cual son alcalinos estos pueden transformar el vinagre disminuyendo</i></p>

técnica
latroquímica
llamada
“Espagíria”.

extracto con vinagre al cual se le ha añadido un indicador que permite detectar el cambio acido-base y la producción de sal. Los vegetales usados fueron Brócoli, Diente de León, Apio, Acelga, Espinaca y Aguacate.

Cada grupo debió obtener su respectivo extracto de la siguiente manera. Los estudiantes tomaron la planta y la calcinaron, las hojas fueron hervidas y filtradas para obtener su extracto el cual se mezcló con las cenizas y ha esta le hicieron pruebas de alcalinidad dando como resultado coloraciones verdes características de los álcalis. Sin embargo se observa alguna dificultad para manipular el material de laboratorio y reconocer la forma como se usa cuando los elementos de vidrio están calientes. Algunos no planifican la experimentación antes de realizar la práctica por lo cual existe dificultad de obtener el antiácido. Además al añadir al vinagre el antiácido preparado, los estudiantes reconocen en el cambio de color del indicador de rojo a verde, una señal de disminución de las propiedades del ácido y su neutralización por medio del antiácido. Sin embargo existe dificultad al relacionar la mezcla de dichas sustancias con la conformación de otra distinta a la que llamaron sal los químicos de la época.

su acidez”



“Nuestro remedio si funciona ya que cambiamos el color rojo del ácido por el verde de los álcalis”

Lectura y
fabricación
de sales
neutras de
Rouille
usando
vinagre y

Se profundizó en la explicación de la naturaleza de las bases mediante la preparación de sales neutras y la formulación de preguntas como: ¿Por qué se toma en cuenta las cantidades para hacer la combinación? En esta parte se usó la balanza digital y con ayuda del docente los estudiantes realizaron el pesaje de las sustancias. Existe gran interés en ellos por



bicarbonato de sodio.

reconocer si pueden hacer predicciones de cuanto pesará una sustancia y contrastarlo con el peso en la balanza. Sin embargo queda en evidencia que no corresponde su predicción con la medición hecha en la balanza lo cual los sorprende. Los estudiantes se cuestionan al ver como la mezcla libera gas burbujeante. Como la mezcla llegó incluso a regarse en la mesa y toman los datos respectivos. Sin embargo a algunos se les dificultó el reconocimiento del fenómeno de la neutralización y la formación de sales.

¿Qué sucede si cambiamos las cantidades y proporciones? Lo anterior con la finalidad de ampliar la explicación acerca de las proporciones de ácido y base necesarias para neutralizar sus propiedades reconociendo dicho cambio por medio del indicador universal. Además se cristalizó la sal líquida preparada en la estufa, algunos estudiantes reconocieron el cambio de color de verde a blanco y cuando probaron por medio de la lengua, la sustancia reconocieron el sabor salado característico de la unión ácido y base para formar sal.

Resultados Experimento #2.
• Vinagre + Bicarbonato de sodio
↓ ↓
Acido + Base = Medio →
Después lo calentamos
al hacer contacto en frío
resultado una sustancia neutra

Segundo intento:
vinagre + indicador rojo
Bicarbonato + indicador = Verde
Bicarbonato + Vinagre = Amarillo / Blanco

Vinagre = Acido
Bicarbonato = Base

En la presente fase, la identificación de sustancias retoma experiencias adquiridas en sesiones anteriores y caracteriza las sustancias alcalinas por su sabor amargo y el color que muestran con los indicadores naturales, pero debido a la necesidad de unificar tales coloraciones, estudiantes y docentes acuerdan utilizar una solución indicadora universal. Dichas caracterizaciones se evidencian en expresiones como *"un compañero probó la sustancia de espinaca y dijo que tenía un sabor amargo"*, *"al probar el antiácido es amargo"*, *"el bicarbonato se volvió verde con el indicador, o sea es una sustancia álcali"* o *"al mezclar el bicarbonato con indicador nos dio un color verde (álcali)"*.

La concepción sobre el proceso de neutralización se fortalece elaborando un antiácido estomacal con recetas iatroquímicas que utilizan vegetales alcalinos. La eficacia de tal producto es evaluada agregándolo a un ácido *“luego quisimos comprobar si nuestro remedio funcionaba y lo que hicimos para ello fue tomar vinagre en una de las capsulas y le agregamos el remedio de cenizas”*, sin embargo, para hacer visible el proceso de neutralización algunos estudiantes deciden colorear previamente el ácido *“al añadir nuestro remedio (espagiria) al vinagre de color rojo, nos dio un color amarillo claro entonces nuestro remedio si funciona”*.

La cantidad de sustancia también es importante en el proceso de neutralización y establece la proporción en que ácido y álcali anulan mutuamente sus efectos *“el vinagre que actúa como si fuese el ácido estomacal, después de agregar la fórmula de aguacate que en total fueron 3 mililitros logro transformar el vinagre que estaba de color rojo paso a amarillo lo cual indica que es neutro, o sea que si se logró el propósito”*.

Lo anterior conduce a razonamientos como *“formamos un antiácido para contrarrestar el vinagre”*, donde la palabra *“contrarrestar”* indica la neutralización de la cualidad ácida por efecto del remedio elaborado. Asimismo, la experimentación posibilita hacer conjeturas sobre las sustancias *“el extracto de apio funciona como antiácido”* y construir explicaciones articuladas a sucesos cotidianos *“mezclamos espinaca con agua y luego con algo ácido y nos dio álcali por tanto la acidez disminuyó, por eso podemos utilizar la espinaca para disminuir la acidez”*.

Del mismo modo que se evidencia la eficacia del antiácido, en la formación de sales la idea de una mutua neutralización es comprobada mediante la coloración con el indicador, *“ambos ya tenían el indicador el bicarbonato había quedado verde y el vinagre había quedado rojo. El resultado de los dos dio a la primera un naranja. Pero le tuvimos que echar más bicarbonato a ver si quedaba neutro”*. Es conveniente aclarar que la solución de indicador universal posibilita identificar más fácilmente los característicos tonos amarillos generados por las sustancias neutras, *“al mezclar el bicarbonato y el vinagre hizo erupción y tomó un color amarillo (neutro)”*.

De igual manera, la expresión *"el amarillo neutro significa que la sustancia resultante no es perjudicial"*, permite asociar el color a la neutralidad y asigna a las sustancias neutras cualidades similares a las presentadas por el agua, obviando que algunos álcalis y ácidos pueden ser perjudiciales cuando entran en contacto con los cuerpos.

Por otro lado, a partir de las sustancias objeto de estudio se constituye la formación de sales *"álcali y ácido es igual a sal"*, así como el proceso para su fabricación *"al hervir la mezcla de álcali y ácido se evapora el agua y deja los cristales, cuando lo bajamos de la estufa quedaron bolitas"*. En este último texto se reitera la idea de neutralización mediante la producción de agua (sustancia considerada neutra) en la reacción entre álcali y ácido, igualmente aparece una caracterización de las formas de la sal resultante.

Las caracterizaciones de las sales se extienden al sabor y a la cualidad alcalina y ácida que presentan, por ejemplo, *"la mezcla empezó a tomar un color amarillo y probamos un poquito y salió como salado"* o *"la mezcla del álcali y ácido quedó verde, el sabor y la textura es a jabón, seguramente echamos más álcali a la mezcla"*. La expresión *"al echarle bicarbonato al vinagre salió espuma, con el indicador se volvió amarillo y al probarlo sabía a sal, el sabor y la textura es a jabón"* reúne maneras de proceder utilizadas en sesiones anteriores para caracterizar sustancias y evidencia la reacción acontecida en la interacción de bases y ácidos.

Durante la evaporación de agua para formar los cristales de sal, los estudiantes observan que la mezcla originalmente amarilla se torna verde, por lo cual construyen explicaciones causales como *"la mezcla de bicarbonato y vinagre empieza a volverse álcalis de pronto a causa de la temperatura, el ácido de densidad liviana empieza a evaporarse dejando agua con bicarbonato"* o *"al calentarse se volvió alcalino porque cuando se hierve se evapora el ácido"*. En éstas, el aumento de la alcalinidad en la mezcla es directamente asociado a un cambio de fase ocurrido en el ácido, el cual ocasiona una disminución notable de la acidez.

En esta sesión aparecen ideas de complementariedad entre álcalis y ácidos, que desembocan en procesos de neutralización y formación de sales. Las

explicaciones aquí construidas dan cuenta de la cualidad de las sustancias, los cambios de fase, la cristalización, la cantidad de materia y el comportamiento básico o ácido de las sales resultantes, evidenciando organizaciones cognitivas entorno a la neutralización. Finalmente, la basicidad empieza a ser explicada como una cualidad que tienen las sustancias, al igual que la acidez, debido a lo observado en el comportamiento de las sales, lo cual además genera curiosidad por reconocer qué sustancia podría ser más básica o ácida en comparación con otra.

Fase 5. – Organización de la fuerza de bases y ácidos

Reconocer la mayor o menor presencia de la basicidad y la acidez en distintas sustancias, organizándolas de acuerdo con mediciones en su interacción.

Tabla 6. Fase 5.

Actividad	Observaciones	Registros
Lectura sobre “las primeras mediciones de la basicidad y la acidez”	Se continuó con el grupo de trabajo y la organización según disposiciones previas, se realizan aclaraciones, comentarios y síntesis en torno a las observaciones realizadas en las anteriores experimentaciones, orientadas por el docente, sobre la naturaleza de las sales y su origen ácido o básico. Se realizó la lectura sobre la manera como históricamente se compararon la fuerza de algunos ácidos y bases mediante sustancias “patrón” y la formulación de leyes de equivalencia o la proporción en que se mezclan un ácido y una base para neutralizar sus propiedades mencionando químicos como Torbern Bergmann o Jeremias Richter. Los estudiantes intentaron comprender lo abordado en la lectura, realizando preguntas y afirmaciones acerca de la equivalencia entre ácidos y bases para lograr la neutralización de sus	 <p><i>“La soda caustica es un alcali y al derramarse en una bota la mancha, usamos vinagre para limpiar y disminuir sus efectos”</i></p>

propiedades y cómo a través de los sentidos se puede percibir variaciones entre la fuerza de un ácido con otros o entre las mismas sustancias básicas. Además que se puede percibir diferencias en cuanto a sus efectos en el sentido del gusto. Por último se cuestionaron acerca de cómo establecer relaciones de proporción cuantitativa entre dichas propiedades.

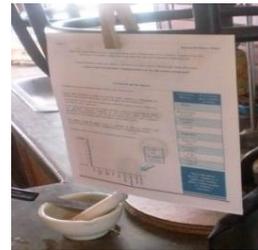
Actividad experimental

Medición de la fuerza de las bases usando ácido de batería como sustancia patrón.

A partir de la pregunta: ¿Cómo medir la basicidad o cualidad básica de las diferentes sustancias? los estudiantes tomaron como “patrón” el ácido de batería (ácido sulfúrico al 30%) y lo mezclaron con distintas sustancias alcalinas para que mediante el conteo de gotas añadidas se produjera un cambio de color en el indicador vegetal, posteriormente realizaron tabulaciones y graficas comparativas que determinaban cuales tenían mayor y menor cualidad básica. Esta parte se comenzó con la presentación de la actividad y entrega de materiales pero se dificultó la realización de la misma debido a la cantidad de material requerido, el estado sólido de las sustancias y su disolución en agua, la preparación del ácido y la cantidad de operaciones a realizar. Entre las sustancias usadas se tuvieron:

1. Bicarbonato de Sodio.
2. Lavalozza
3. Cenizas de la fogata.
4. Espinaca.
5. Diente de León.
6. Detergente en polvo.
7. Soda Caustica.

El ácido fue coloreado con indicador dando



una coloración roja la cual al ser mezclada con las diferentes bases y mediante goteo cambiaba a verde. Los estudiantes mostraron buena disposición para realizar las actividades aunque algunos debieron ser asesorados por los docentes sobre la forma de manipular las pipetas, el pipeteador y los procedimientos a seguir para desarrollar la práctica. La concentración del ácido patrón usada para ser neutralizada por las diferentes bases era alta y por ello se debió diluir para que mediante poca cantidad de base se observara fácilmente los cambios de color y realizar la tabulación. Los estudiantes nuevamente se dividen el trabajo entre la manipulación del material, la toma de apuntes y la dirección de la experimentación. La cantidad de base usada para neutralizar el ácido y su conteo en gotas permitió mediante el uso de gráficas reconocer que unas son más fuertes que otras sin embargo para algunas bases el cambio no es evidente y por ello no se ajusta a las comparaciones encontradas en libros de texto.

“El gas de la fogata tiene 12 gotas es el menos fuerte”

Objeto	Numero de
Dicarbonato	23
Leveloza	(50) (54) 60
Diente de leon	300
Delegante en polvo	115
espinoso	7
ceniza	depende de la cantidad

Medición de la fuerza de los ácidos usando las cenizas obtenidas en la fogata como sustancia patrón.

A partir de la pregunta: ¿Cómo medir la acidez o cualidad ácida de las diferentes sustancias? Los estudiantes tomaron como “patrón” o base común de comparación las cenizas obtenidas en la fogata y lo mezclaron con distintas sustancias ácidas que mediante el conteo de gotas añadidas se produjera un cambio de color en un indicador, posteriormente se realizaron tabulaciones y gráficas comparativas que determinaron cuáles tienen mayor y menor cualidad ácida. Entre las sustancias usadas se tienen:

1. Ácido de batería.



2. Alcohol.
3. Gas de la fogata.
4. Gaseosa.
5. Jugo de naranja.
6. Vinagre
7. Zumo de Limón.

Esta actividad se dificultó debido a lo extenso de la guía, los estudiantes presentaban buena disposición aunque algunos ya estaban agotados físicamente en el momento de realizar esta parte, sin embargo se realizó usando la mayoría de sustancias a excepción de alcohol que difícilmente cambia de color al añadir una base esto por su débil carácter ácido.

El cambio de color se presenta para algunos ácidos al añadir pocas gotas, desde una para el ácido de batería hasta cinco para el jugo de naranja, por lo cual la tabulación y diagramación en gráficas comparativas no se realizó con la misma facilidad que con las sustancias básicas. En esta actividad fue fundamental la intervención de los docentes para orientar el manejo del material y la contabilidad de las gotas.

“La que tiene menos gotas es el ácido de batería es el más fuerte”

Ordenado del más fuerte al más débil

- 1 Acido bateria Número de gotas = 1
- 2 Naranja pura Número de gotas = 2
- 3 Limon Puro Número de gotas = 2
- 4 Vinagre Número de gotas = 2
- 5 Naranja artificial Número de gotas = 5
- 6 Gaseosa Número de gotas = 8

Lecturas sobre las tablas de equivalencia y establecimiento de proporciones entre un ácido y varias bases.

Se profundizó en la lectura sobre la proporción necesaria para neutralizar las propiedades básicas o ácidas de algunas sustancias mediante las tablas de equivalencia propuestas por Jeremias Richter, animando a los estudiantes a construir sus propias tablas de proporción mediante el reto de tomar una cantidad líquida de ácido y neutralizarlo con diferentes bases. Se realizó la lectura y dio

¿Cuál es el ácido más fuerte? El ácido de batería.
¿Cuál es la base más fuerte? Las cenizas?

como aporte el esclarecimiento de las proporciones y la pertinencia de realizar comparaciones entre la fuerza de los ácidos y las bases.

Esta sesión inicia con los fundamentos y explicaciones construidas en la fase anterior, la expresión *“para crear la sal se necesita un álcali o base y un ácido”* evidencia la idea de neutralización puesta en juego para determinar la fuerza de bases y ácidos, e involucra en el lenguaje la palabra *“base”* como sinónimo del término álcali. En relación a la basicidad son utilizados diferentes términos para formar frases como *“la sal quedo básica”* o *“se tuvo que colorear las bases de verde”*.

La fuerza de las bases se logró medir con la cantidad de gotas que cada sustancia de este tipo emplea para neutralizar un ácido en común. Esto posibilitó a los estudiantes escribir afirmaciones como *“la espinaca es más fuerte porque a menos gotas que los demás logro volver neutro el vinagre”* o *“el menos fuerte es el diente de león porque utilizó la mayor cantidad de gotas”*, en las cuales se aprecia la intención de comparar las sustancias objeto de estudio y se establece que las bases más fuertes son aquellas que emplean menos cantidad en neutralizar el mismo ácido.

Tal conjetura sobre la cantidad también es aplicada a la fuerza de los ácidos, la expresión *“el que menos gotas utilizó es el ácido de batería, entonces es el más fuerte”* muestra claramente que la sustancia de mayor cualidad ácida es aquella que emplea el menor número de gotas en neutralizar las características básicas de otra sustancia.

En la expresión *“con 3 gotas la espinaca fue la más rápida que neutralizó el ácido”*, la rapidez en la neutralización es asociada a la mayor basicidad de una sustancia particular, además, se percibe la necesidad de medir o asignar un valor numérico en el experimento para poder hacer comparaciones con otras sustancias. Mediante el escrito *“el bicarbonato logra volver neutro un ácido con menos cantidad 2,5 mL”*, un grupo de estudiantes propone utilizar una medida de volumen como los mililitros en lugar de contar gotas, cuando se les cuestiona por esta idea responden, *“el tamaño de las gotas es variable y por eso no es exacto”*,

entonces consideran que es conveniente utilizar una medida de volumen “*hay gotas grandes y pequeñas y eso no lo podemos medir, los mililitros si son exactos*”, evidenciando una vez más la permanente preocupación por mejorar las técnicas experimentales.

Para finalizar, se puede afirmar que en esta fase los estudiantes dan cuenta del reconocimiento de una mayor o menor presencia de la basicidad o la acidez en distintas sustancias, organizándolas mediante cantidades, ya sean gotas o mililitros. Tales organizaciones se elaboran de manera sistemática con ayuda de tablas y gráficos, poniendo en juego las relaciones cuantitativas consolidadas en ordenaciones de mayor o menor intensidad del fenómeno, así, por ejemplo se puede leer que una base es más fuerte que otra si requiere mayor cantidad del mismo ácido para ser neutralizada y un ácido es más fuerte que otro si necesita más cantidad de una base para ser neutralizado.

Lo anterior crea relaciones entre la experimentación y la construcción de explicaciones sobre el fenómeno de la basicidad y la acidez de las sustancias, pues todo hecho experimental es cuestionado y llevado a enunciado para contrastarse con las generalizaciones elaboradas. Las explicaciones construidas también dan apertura a nuevos interrogantes como *¿es posible encontrar cosas más básicas o cosas más ácidas que éstas?*, lo cual propicia el rediseño de la actividad experimental en búsqueda de explicaciones más complejas sobre el fenómeno, poniendo de manifiesto que el estudio no ha culminado y por el contrario faltan muchas situaciones por indagar.

CONSIDERACIONES FINALES: UN ESTUDIO ABIERTO

En el diseño y desarrollo de la ruta de aula se evidencian aportes significativos a la tesis que defiende la presente investigación, la construcción de explicaciones sobre el fenómeno de la basicidad, fundamentadas en la actividad experimental que tiene como trasfondo el análisis histórico-crítico, son una prueba de tal afirmación. Por ende, la incidencia de la historia en la comprensión del fenómeno de la basicidad y las explicaciones sobre el comportamiento de las bases a partir de las actividades experimentales, son las consideraciones finales que se pretenden abordar.

Incidencia de la historia en la comprensión del fenómeno de la basicidad

La importancia de abordar el desarrollo histórico de la basicidad a partir de la lectura de fuentes primarias, como la historia experimental del color de Robert Boyle, radica en la construcción auténtica del fenómeno, dejando de lado la interpretación de intermediarios que pueden tener una intencionalidad diferente a la planteada en el presente trabajo. Este proceso se fundamenta en una postura crítica, reflexiva y sistemática, que permite a los docentes investigadores resolver y formular preguntas, construir sus propias explicaciones, reconocer los diversos modos de proceder y diseñar actividades experimentales para la enseñanza de la basicidad, en suma, poder afirmar que el análisis histórico-crítico es un método que puede ser utilizado para comprender el fenómeno de la basicidad.

En el ámbito educativo, la basicidad es un fenómeno repleto de incertidumbres al cual se pueden asociar pocas experiencias cotidianas, quedando limitado a prácticas que únicamente emplean reactivos de laboratorio como el hidróxido de sodio. Por ende, los docentes de ciencias naturales plantean diversos interrogantes, por ejemplo ¿Qué sustancias cotidianas se pueden utilizar en el estudio de la basicidad? y ¿Existe algún alimento con cualidades alcalinas? Preguntas que encuentran respuesta en el análisis crítico de la historia, pues en él

se caracterizan como sustancias básicas a las cenizas, la orina y la espinaca, entre otros.

Pero, además de responder interrogantes, el análisis histórico-crítico hace que emerjan nuevos cuestionamientos, por ejemplo, ¿Qué origen tenía la orina que Boyle caracterizó como álcali, era masculina o femenina? o ¿Por qué todos los ácidos generan coloraciones rojizas? Estas preguntas muestran la imagen de una ciencia sin productos definitivos y en constante transformación, promoviendo la curiosidad en los docentes investigadores.

En este sentido, el acercamiento a la historia interna de las ciencias naturales muestra las ideas y los experimentos llevados a cabo por cada científico presente directa o indirectamente en el estudio de las sustancias alcalinas o básicas, elaboraciones que logran dar cuenta de la basicidad (y por tanto la acidez) de las sustancias, mediante la caracterización, clasificación y organización del fenómeno, exponiendo de esa manera elementos importantes para la construcción de las propias explicaciones de los docentes.

Cabe destacar que en tales elaboraciones no se vinculan teorías como las de Arrhenius, Bronsted-Lowry o Lewis, no se habla de entes metafísicos como los iones hidroxilos o los hidronios, ni se utilizan sofisticados instrumentos de medición que difícilmente podrían ser entendidos por los estudiantes. Por tanto, las explicaciones sobre el fenómeno se estructuran a partir de los hechos perceptibles, relacionando las experiencias cercanas a la cotidianidad³⁹ del estudiante para aproximarlos a una actividad científica comprensible y aplicable en diversos casos.

No obstante, el análisis histórico-crítico se encuentra abierto al estudio de las mencionadas teorías, las cuales fueron concebidas a partir de la segunda mitad del siglo XIX, aclarando que la función de dicho análisis no consiste en comprender el pasado, ordenar hechos históricamente lineales y acumulativos, ni descubrir las propiedades de las sustancias; más bien pretende configurar una idea de la ciencia como actividad humana y por tanto cultural, que en muchos

³⁹ Tal es el caso del efecto limpiador que pueden tener las sustancias alcalinas, su característico sabor amargo o las tonalidades verdes que generan cuando se les agrega un extracto de repollo morado hecho en casa.

casos es discontinua⁴⁰ y en donde los fenómenos son estructurados y organizados.

El elevado contenido experimental que se manifiesta en la reconstrucción del fenómeno, despliega los diversos modos de proceder científico, promoviendo un sinnúmero de ideas para que los docentes diseñen actividades experimentales orientadas a la enseñanza de la basicidad. Tales experiencias son innovadoras, atractivas y significativas para el estudiante debido a su naturaleza tangible.

Actualmente, en la enseñanza de la basicidad se ha olvidado la actividad experimental al tratar de privilegiar algunas teorías contemporáneas, las cuales necesitan instrumentos sofisticados que no se encuentran en algunas instituciones educativas y requieren abstracciones complejas de difícil comprensión para los estudiantes. Esta situación se ve reflejada en la poca ejemplificación que tienen los docentes sobre las sustancias básicas, debido a que se limitan a nombrar reactivos como el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio, presentes únicamente en el laboratorio de química.

El reconocimiento histórico de la basicidad posibilita la ampliación de dicha ejemplificación, fortaleciendo los argumentos de los docentes cuando abordan las sustancias básicas en las explicaciones y la experimentación, pues ahora pueden hablar y diseñar actividades de una gran cantidad de bases, entre las que se destacan las cenizas, diferentes formas de jabones y vegetales como la espinaca, la acelga o el diente de león, además de los mencionados hidróxidos. Esta circunstancia también posibilita el abandono de posiciones absolutistas y estáticas alrededor de las bases o álcalis.

La manera en que los docentes investigadores adaptan su propio análisis histórico-crítico para llevar algunas lecturas a los estudiantes, como las relacionadas con la iatroquímica y en particular la fabricación de remedios antiácidos, apoya el proceso de construcción de explicaciones, configura un modelo de enseñanza alternativo a los tradicionales que vinculan una historia

⁴⁰ Por ejemplo, en la ciencia se habla del proceso de neutralización cuando aparece la idea de formación de sales en el siglo XVIII, sin embargo, Nicolás Lémery explicaba una idea de complementariedad a finales del siglo XVII y en el siglo XVI Paracelso ya fabricaba un remedio (Espagíria) para contrarrestar la acidez estomacal, en una evidente neutralización.

obsoleta y sancionada, cambiando de esa forma los patrones anecdóticos por ideas que pueden hacerse actuales en diferentes contextos (Lombardi, 1997) y recrearse mediante la actividad experimental.

El continuo diálogo de los estudiantes con compañeros, docentes y lecturas de trasfondo histórico, posibilita una discusión colectiva que genera consensos para establecer maneras experimentales de proceder, modos de hablar y significados correspondientes al fenómeno, dejando de lado la simple narración de hechos que resulta no importarle a la comunidad, puesto que se aleja de sus propias experiencias y construcciones. En la presente investigación, la comunidad conformada por estudiantes y docentes llega a consensos sobre la utilización de un solo indicador⁴¹ para dar cuenta de la basicidad o acidez de las sustancias, acuerda que el sabor agrio puede ser sinónimo del sabor ácido y establece que el proceso de neutralización significa la pérdida de características de las sustancias involucradas.

Por su parte, los estudiantes logran construir diversos procesos cognitivos como el de relacionar las características de las sustancias básicas con su comportamiento o reconocer las reacciones que éstas presentan cuando son mezcladas con otras sustancias, por ejemplo, su papel activo en la formación de sales. Esta situación revaloriza el hecho de consultar múltiples relatos históricos acerca de la basicidad, pues lejos de representar un defecto o un error, diversas fuentes primarias aportan particularidades científicas que resultan significativas a la hora de comprender el fenómeno (Lombardi, 1997).

Asimismo, los estudiantes reiteradamente se cuestionan por los experimentos que realizaron los científicos y los sucesos históricos que llevaron a la consolidación de concepciones sobre la basicidad y la acidez, lo cual los lleva a ser conscientes de sus propias ideas, postular nuevos interrogantes e identificar posibles defectos en su experimentación (Sánchez, 1988), como en el caso del indicador elaborado con las cochinillas, que según los estudiantes no funcionó porque se utilizaron cochinillas de otra especie. Con lo anterior, nuevamente se muestra la importancia del análisis histórico-crítico alejado de la sucesión de hechos o de los resultados acumulados que propenden por situaciones teleológicas (Fichant y Pécheux,

⁴¹ Deciden emplear una solución de indicador universal.

1969), las cuales impedirían los mencionados procesos de retroalimentación y la plena comprensión de la cualidad básica de las sustancias.

Gracias al análisis crítico de la historia, los docentes se aproximan al entendimiento de la dinámica interna en el desarrollo de la idea de sustancias básicas, por lo que pueden establecer múltiples relaciones entre los hechos científicos para construir comprensiones del fenómeno, superando la clásica historiografía empírico-positivista que concibe tales hechos como descubrimientos propuestos por mentes geniales (Gallego, 2006).

En la labor docente, el análisis histórico-crítico se convierte en un instrumento que suscita el diseño de actividades para la enseñanza de la basicidad, proporcionando una reconstrucción del fenómeno que facilita las interpretaciones de los sujetos y posibilita la generación de concepciones cercanas a un relato coherente y significativo (Whitaker, 1979), alejando la historia de las ciencias del tradicionalismo que únicamente la vincula en la elaboración de tareas o consultas sobre determinados experimentos o biografías científicas.

Explicaciones sobre el comportamiento de las bases a partir de las actividades experimentales

Al reflexionar sobre la forma como los estudiantes elaboran conjeturas alrededor de la basicidad y la acidez de las sustancias, se piensa en una influencia significativa de la ruta de aula en tales procesos, pues ésta proporciona actividades experimentales con las que los estudiantes logran caracterizar, clasificar y organizar el fenómeno, posibilitando la construcción de explicaciones, las cuales se pueden constatar en la relación de hechos y generalidades, la formulación de nuevos interrogantes, la perfectibilidad de la experimentación y la apropiación de nuevas formas de lenguaje.

Para comenzar, la exploración sensorial realizada en las primeras sesiones de la ruta de aula, favorece la aproximación al fenómeno, pero luego de abordar las actividades experimentales, las afirmaciones sobre las bases y los ácidos relacionan las características perceptibles de las sustancias con las ideas surgidas en experiencias anteriores, como lo mencionan Gallego y Pérez (2007) “una idea previa del pensamiento fruto de la experiencia previa se consolida en cada

actividad, con lo cual se profundiza en las observaciones y se dirigen hacia un fin”. Para citar un ejemplo, cuando las sustancias básicas son colocadas en la boca se percibe una textura característica que se asocia directamente con la idea del jabón y por ende los estudiantes afirman que *“las bases tienen una textura jabonosa”*.

Esto conduce a explicaciones del tipo nomológico-deductivo, en las cuales aparecen leyes o explanans preestablecidos *“la ceniza es la primera sustancia en considerarse álcali”* o contruidos experimentalmente por medio de generalizaciones *“los álcalis son amargos y tienen una sensación jabonosa”*, asimismo surgen explanandum que se desprenden de la actividad experimental y describen hechos concretos, como el caso de *“las cenizas limpian metales”*, *“las joyas también se pueden limpiar con bicarbonato de sodio”* o *“la clara de huevo tiene una textura jabonosa”*.

Por lo tanto, la presencia de explanans y explanandum configura diferentes explicaciones, por ejemplo, *“si las cenizas limpian metales y con el bicarbonato de sodio también se pueden limpiar las joyas”* entonces cenizas y bicarbonato de sodio tienen la misma característica, ahora bien, *“si la ceniza es la primera sustancia en considerarse álcali”* puede ser que el bicarbonato de sodio también sea un álcali. Citando otra explicación, *“si los álcalis son amargos y tienen una sensación jabonosa”* y por su parte *“la clara de huevo tiene una textura jabonosa”*, entonces la clara de huevo también es amarga y puede considerarse como álcali⁴².

La formulación de nuevos interrogantes también indica la construcción de explicaciones. Si bien la actividad experimental posibilita la resolución de varios problemas con respecto al fenómeno, a partir de este nuevo conocimiento emergen inquietudes que se traducen en el planteamiento de preguntas como *“¿por qué la orina femenina es distinta a la masculina?”* refiriéndose al comportamiento ácido y básico respectivamente, o *“¿habrá algún jugo que dé los resultados de los jabones?”* cuestionando por la existencia de un jugo de características básicas.

⁴² Aclarando que tales aseveraciones son comprobadas por medio de otras características del fenómeno, por ejemplo, las coloraciones en común que esas sustancias presentan al contacto con los indicadores naturales de álcalis (bases) y ácidos.

Los interrogantes sobre las sustancias básicas formulados a lo largo de la implementación de la ruta de aula, se apoyan en la curiosidad y conllevan a que los estudiantes piensen en el diseño de nuevas actividades experimentales alrededor del fenómeno para dar respuesta a las problemáticas generadas, obviando que en este ejercicio complejizarán sus explicaciones. Preguntas como *“¿es posible encontrar cosas más básicas o cosas más ácidas que éstas?”* evidencian la mencionada intencionalidad y muestran que el estudio sobre el fenómeno de la basicidad permanece abierto.

Otros cuestionamientos presentes al momento de ejecutar las distintas actividades experimentales, conducen a buscar el perfeccionamiento de las mismas. Pensando que la cantidad (referida a la masa o al volumen) puede hacer que el resultado de la experimentación varíe, los estudiantes se esfuerzan por medir con exactitud las cantidades en instrumentos de laboratorio como la balanza o las pipetas graduadas, lo cual les ayuda a refinar la experiencia y dar mayor validez a las explicaciones construidas.

De igual manera, procedimientos empíricos como filtración y maceración, llevados a cabo por iniciativa de los estudiantes con el objetivo de perfeccionar las observaciones, señalan la intención de examinar a profundidad el fenómeno en búsqueda de explicaciones más complejas. Por ejemplo, las coloraciones de las sustancias al contacto con el indicador no pueden visualizarse adecuadamente si existen fragmentos sólidos como cenizas en la solución, por lo cual se decide filtrar. Luego de mejorar la observación se establecen ordenamientos de tonalidades para relacionarlos con una mayor o menor presencia de la cualidad básica y ácida en esas sustancias.

Al respecto, la organización de bases y ácidos, lograda en la sesión cinco, muestra un interesante nivel de comprensión del fenómeno, pues la mayoría de estudiantes conciben a las sustancias básicas como un complemento de las sustancias ácidas, relacionándolas en la formación de sales y agua, lo cual mantiene el estudio abierto hacia la composición de la materia y sus interrelaciones, ofreciendo la posibilidad de diseñar nuevos experimentos en búsqueda de explicaciones.

Esto pone de manifiesto el dinamismo teórico-práctico presente en la construcción de explicaciones, las cuales se van profundizando en la medida que se perfecciona la actividad experimental y se logran elaborar análisis de resultados más complejos, situación que incluso desborda lo planeado en la ruta de aula, pues los estudiantes replantean la experimentación para dar respuesta inmediata a sus cuestionamientos y repiten experimentos para observar lo mismo que otros y así llegar a consensos, demostrando que en el fenómeno de la basicidad existe una relación dinámica entre la organización mental del sujeto y los hechos empíricos.

La negociación de significados para describir hechos o afirmar generalizaciones, las preguntas e inquietudes reveladas y los modos de proceder en busca de la perfectibilidad de la actividad experimental, configuran nuevas formas de lenguaje alrededor del fenómeno de la basicidad, lo cual formaliza las explicaciones construidas (Malagón, Sandoval y Ayala, 2013) y demuestra cierta apropiación de la actividad científica.

A diferencia de la palabra ácido, en el inicio del estudio el vocablo álcali es desconocido y el término base presenta otras connotaciones, pero al finalizar el mismo, ambos convergen en significación y representan una red dinámica de ideas que forma una imagen mental, donde esta cualidad de las sustancias es relacionada con interacciones, sabores, texturas o colores, que ya no hacen referencia a las tonalidades verdes como tal, pues ahora son considerados como símbolos para identificar y clasificar las sustancias. El lenguaje se transforma en el transcurso de la actividad experimental por medio del diálogo de saberes, haciéndose efectivo en toda la comunidad.

Las nuevas formas de lenguaje también posibilitan un medio para conocer el fenómeno, toda vez que los estudiantes en su continuo diálogo formulan preguntas y elaboran respuestas, acercándose colectivamente al entendimiento de nuevos términos y la apropiación de significados que facilita la construcción de explicaciones. A este proceso se le puede denominar, “*uso heurístico del lenguaje*” (Reid y Hodson, 1993).

Por ello, la presente investigación concentra su análisis en el uso del lenguaje y las maneras de explicar, construyendo una narrativa descriptiva que permite

dialogar con los relatos de los estudiantes. De tal forma, se vinculan fragmentos de escritos y observaciones de campo que pueden citar lo hablado y además dar cuenta de un plano de experiencias indecibles. Estas últimas son entendidas como el uso de cierto lenguaje corporal en la actividad experimental, donde los estudiantes muestran inseguridades, cuestionamientos o certezas, que aportan en la construcción de explicaciones pero al final no son expresadas, pues *“hay cosas de las que se tiene experiencia y que no se consigue decir, o describir o repensar, y hay cosas que se saben decir y a las que no se consigue identificar con experiencias”* (Arca, Guidoni y Mazzoli, 1990, p. 32).

Al culminar la ruta de aula y escuchar las intervenciones de los estudiantes en la exposición final del trabajo, se percibe la construcción de explicaciones individuales y colectivas, comprendidas según Giordan y Vecchi, como:

...una estructura que podemos utilizar como referencia: un cierto número de objetos sobre los que podemos operar transformaciones determinadas por medio de una estructura explicativa general que pueda ser confrontada de nuevo con la realidad para comprobar si sigue siendo pertinente. (Giordan y Vecchi, 1995, p. 216).

Las explicaciones puestas en escena en la exposición final, evidencian la ampliación y transversalización de saberes en relación a la basicidad y la acidez, la predicción de hechos y la interpretación de una realidad con la que antes no se contaba, ya que al principio la palabra álcali ni siquiera tenía significación. Además de generalizaciones sobre el fenómeno repercuten directamente en hechos puntuales, dando validez fáctica a las relaciones mentales usadas para explicar el comportamiento de las bases, como lo indican Inherder y Piaget, *“existe una estrecha correlación entre la construcción de operaciones formales y operaciones combinatorias, al mismo tiempo que el sujeto combina elementos o factores dados en el contexto experimental y construye un sistema de operaciones mentales”*. (Inherder y Piaget, 1955, p. 225)

Las explicaciones incluso trascienden del plano cualitativo, logrando cuantificaciones que se muestran en la organización de sustancias de menor a mayor presencia de la cualidad básica, luego de conocer la cantidad exacta que emplearon para neutralizar un ácido en común. Tales ordenaciones involucran

datos numéricos representados en tablas y diagramas, que consolidan los saberes construidos en la experimentación.

Pese a la gran cantidad de avances en la explicación del fenómeno de la basicidad, este estudio permanece abierto, pues todavía se encuentra pendiente el abordaje de las diferentes teorías de acidez y basicidad, la asociación de otros fenómenos como el potencial eléctrico para perfeccionar la cuantificación, y la construcción de una escala única que mida ácidos y bases, entre otras posibles alternativas que el docente de ciencias naturales lector del presente documento pueda considerar importantes.

Algunos aportes pedagógicos

Para finalizar, el desarrollo de la presente investigación puede derivar algunos aportes pedagógicos hacia la enseñanza de las ciencias naturales, representados en el reconocimiento de la historia de las sustancias básicas en el aula desde un enfoque crítico y la priorización de la actividad experimental para explicar la basicidad.

Desde el uso crítico de la historia de la basicidad se identifica que docentes y estudiantes elaboran su propio relato explicativo del fenómeno, el cual es diferente al de los libros de texto. Por ende, el reconocimiento de la historia en el aula puede dar cuenta de las formas de hacer ciencia, estimulando una comprensión holística y contextualizada, donde las sustancias básicas se relacionan en la cotidianidad y los estudiantes por ejemplo pueden aconsejar “*acelga, espinaca o diente de león contra la gastritis*”.

Recurrir a relatos históricos también permite producir cambios en el empirismo ingenuo de docentes y estudiantes, posibilitando la formación de individuos curiosos y críticos, que más allá de hacer por hacer, piensan en la construcción de ideas y diseños experimentales que los lleven a explorar las características de las sustancias básicas y a establecer relaciones entre lo que saben y lo que desconocen, para seguir indagando por el fenómeno.

En cuanto a la actividad experimental, ésta invita a caracterizar las sustancias por medio de la experiencia sensible, clasificar los comportamientos mediante la

interacción y elaborar organizaciones de la intensidad de la cualidad. En la presente investigación, se reconocen el efecto limpiador, el sabor amargo y la textura jabonosa, como características de las sustancias básicas, se les puede clasificar por sus coloraciones verdes al contacto con la solución de indicador universal, el extracto de repollo morado o el jarabe de violetas, y se tiene claro que son complemento de los ácidos, con lo cual se puede determinar el grado de intensidad de la cualidad.

Además de posibilitar las explicaciones antes mencionadas, la experimentación muestra diversas relaciones que se entretienen al interior del laboratorio cuando se trata de entender el comportamiento de las bases, lo cual propone una forma diferente de comprender las dinámicas de la escuela y el conocimiento que allí se construye. Entonces, al priorizar la actividad experimental se podrá investigar tal dinamismo y se favorecerán los procesos de motivación, curiosidad, diálogo argumentativo y construcción de explicaciones. Esto último puede evidenciarse en el gusto por la experimentación, los argumentos usados a la hora de convencer a otros y lo construido cognitivamente para comunicar las ideas.

Entonces, al vincular en la clase de ciencias lo histórico crítico y la actividad experimental, se genera un cambio en la concepción de ciencia positivista de verdades absolutas todavía dominante en la escuela, por una imagen de ciencia como actividad cultural, donde los científicos más que genios son humanos, las disciplinas se encuentran influenciadas por intereses particulares y el experimento puede ser el instrumento para construir explicaciones de los fenómenos.

BIBLIOGRAFÍA

Arca, M., Guidoni, P. y Mazzoli, P. (1990). *Enseñar Ciencia. Como empezar: reflexiones para una educación científica de base*. Barcelona: Paidós.

Arribas, S. (1991). *La fascinante historia de la alquimia descrita por un científico moderno*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Ayala, M., Malagón, F. y Sandoval, S. (2011). Magnitudes, medición y fenomenologías. *Revista de Enseñanza de la Física*, 24(1), 43-54.

Bardanca, M., Nieto, M. y Rodríguez, M. (1993). Evolución de los conceptos ácido-base a lo largo de la enseñanza media. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 125-129.

Bensaude-Vincent, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamericana S. A.

Bergman, T. (1788). *Traité des affinités chimiques, ou attractions électives*. Paris: Buisson.

Bouchardat, A. (1848). *Tratado completo de química*. (Trad. de Sánchez). Madrid: Ignacio Boix.

Boyle, R. (1664). *Experiments and considerations touching colours*. London: Henry Herringman.

Bunge, M. (2000). *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*. México D.F.: Siglo Veintiuno Editores.

Cachapuz, A. y Goncalves, M. (2004). De la teoría a la práctica: la investigación/acción como estrategia para la innovación en la formación del

profesorado de química. Un ejemplo en la enseñanza en laboratorio del tema ácido/base. *Educación Química*, 15(1), 8-14.

Chaptal, J. (1790). *Éléments de Chymie. Tome III*. Montpellier: Jean-Francois Picot.

Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (2004). *Estándares básicos de competencias en ciencias naturales*. Bogotá D.C.: Autores.

Eliade, M. (1974). *Herreros y alquimistas*. Madrid: Alianza Editorial, S.A.

Elkana, Y. (1981). A programmatic attempt at an anthropology of knowledge. *Sociology of the Sciences*, 5, 1-76.

Estany, A. (2006). *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.

Esteva, J. (1991). *La química sagrada. De la alquimia a la química en el siglo XVII*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.

Fichant, M. y Pecheux, M. (1969). *Sobre la historia de la ciencia*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Fischer, E. (1819). *Physique mécanique*. (Trad. de Biot). Paris: Vve Courcier (Original en Alemán).

Flores, J., Caballero, M. y Moreira, M. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, 68(33), 75-12.

Franckowiak, R. (2002). Les sels neutres de Gullaume-Francois Roulle. *Revue d'histoire des sciences*, 55(4), 493-532.

Furio, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación química*, 11(3).

Gagliardi, R. (1988). Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-296.

Gallego, R. y Pérez, R. (2006). *La enseñanza de las ciencias experimentales. El constructivismo del caos*. Bogotá: Editorial Cooperativa editorial del Magisterio.

García, A. (2006). Representaciones epistemológicas cognitivas del concepto ácido-base. *IIEC*, 1(1), 60-68.

Gebelein, H. (2007). *Secretos de la alquimia*. Barcelona: Ediciones Robinbook.

Giordan, A. y Vecchi G. (1995). *Los orígenes del saber*. Serie Fundamentos N° 1. Colección investigación y enseñanza. Sevilla: Diada Editorial.

Glauber, J. (1659). *La teinture de l'or ou le veritable or potable*. Paris: Thomas Jolly.

Gutiérrez, J. (2002). Química de todos los días: un mundo de óxidos. *Acta Universitaria*, 12(3), 29-40.

Hempel, C. (1996). *La explicación científica. Estudios sobre la filosofía de la ciencia*. (Trad. de Frassinetti de Gallo, Míguez y Ruiz) Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A. (Original en Inglés, 1965).

Hess, M. (1842). On the scientific labours of Jeremias Benjamin Richter. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(136), 81-95.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 299-313.

Inherder, B. y Piaget, J. (1955). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Barcelona: Paidós.

Jiménez, F. (2011). *Los conceptos de ácido y base: concepciones alternativas y construcción del aprendizaje en el aula*. Tesis para optar al Título de Magister en

Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.

Jiménez, M., De Manuel, E., González, F. y Salinas, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 451-461.

Jiménez, M. (2002). La Neutralización ácido-base a debate. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3) 451-464.

Koponen, I. y Mäntylä, T. (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: A suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education*, 15, 31-54.

Koponen, I., Kurki-Suonio, K., Jauhiainen, J., Hämäläinen, A. y Lavonen, J. (2001). *The role of experimentality in concept formation in physics: Quantifying experiments and invariances. Physics Teacher Education Beyond 2000: Selected contributions of international conference*, eds. R. Pinto and S. Surinach. Paris: Elsevier Editions, 337-340.

Lavoisier, A. (1798). *Tratado elemental de química*. (Trad. de Munarriz). Madrid: Imprenta Real (Original en Francés, 1789).

Leicester, H. (1967). *Panorama histórico de la química*. Madrid: Editorial Alambra S.A.

Lémery, N. (1675). *Cours de chymie*. Paris: l'auteur.

Lombardi, O. (1997). La pertinencia de la historia en la enseñanza de las ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las ciencias*, 15(3), 343-349.

Malagón, F., Ayala, M. y Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Malagón, F., Sandoval, S. y Ayala, M. (2013). La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización. *Praxis Filosófica*, 36, 119-138.

Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 255-277.

Matute, S. (2011). Concepciones de los estudiantes sobre las sustancias ácidas y básicas. *Educ. Humanismo*, 13(21), 17-33.

Maykut, P. y Morehouse, R. (1999). *Investigación cualitativa: una guía práctica y filosófica*. Santiago: Hurtado Ediciones.

Moreira, M. y Levandowski, C. (1983). *Diferentes abordagens ao ensino de laboratorio*. Porto Alegre: Editora da Universidade.

Muños, J. y Muñoz, L. (2009). Neutralización ácido-base. Un concepto desde lo cotidiano. *Tecné, Episteme y Didaxis*. 4º Congreso Internacional sobre formación de profesores de Ciencias.

Nersessian, N. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80, 163-183.

Paracelso. (1945). *Obras Completas (Opera Omnia)*. (Trad. de Lluesma). Buenos Aires: Editorial Schapire (Original en Alemán, 1599).

Pozo, J. (2000). Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que les enseñamos: el caso de las ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 13-19.

Osacar, J. (1990). *Iconografía alquímica aragonesa*. Zaragoza: Instituto de Carboquímica.

Reeder, H. (2001). *La praxis fenomenológica de Husserl*. (Trad. de Vargas). Bogotá: San Pablo. (Original en Inglés, 1986).

Reid, D. y Hodson, D. (1993). *Ciencia para todos en secundaria*. Madrid: Editorial Narcea.

Rouelle, G. F. (1759). *Cours d' experiences chymiques*. Paris: Bertin.

Rubio, D., León, I. y Garay, F. (2008). Enseñanza de los conceptos ácido-base: una propuesta enfocada hacia el desarrollo del pensamiento científico. *IIEC*, 2(3), 64-66.

Salcedo, R. y García, J. (1999). Los suelos en la enseñanza de la teoría ácido-base de Lewis. Una estrategia didáctica de aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 59-71.

Sánchez, J. (1988). Usos y abusos de la Historia de la física en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 6(2), 179-188.

Sandoval, S., Malagón, F., Ayala, M. y Tarazona, L. (2006). El experimento en enseñanza de las ciencias como una forma de organizar y ampliar la experiencia. Ponencia presentada al III Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. Universidad Pedagógica Nacional.

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*, Volumen Extra (13).

Segura, D., Molina, A. y Pedreros, R. (1997). *Actividades de investigación en la clase de ciencias*. Sevilla: Díada Editora S.L.

Severgnini, H. (2007). *Robert Boyle: mecanicismo y experimento*. Córdoba: Encuentro Grupo Editor.

Szabadváry, F. (1966). *History of analytical chemistry*. (Trad. de Pergamon Press). London: Pergamon Press (Original en Húngaro, 1960).

Van Helmont, J. (1671). *Les oeuvres de Jean Baptiste Van Helmont, traittant des principes de medecine et physique, pour la guerison assurée des maladies*. (Trad. de Le Conte). Lyon: Jean Antoine Huguetan & Guillaume Barbier.

Whitaker, M. (1979). History and quasi history in physics education. *Physics Education*, 14(2), 108-112.

Willcox, M. (2000). Soap. En Butler, H. (Ed.), *Poucher's perfumes, cosmetics and soaps, 10th Edn.* (453-465). Great Britain: Kluwer Academic Publishers.

Wisniak, J. (2002). Guillaume-François Rouelle. *Educación Química*, 14(4), 240-248.

Zafra, S. (2001). El aprendizaje total de los conceptos científicos ácido-base. *Tecné, Episteme y Didaxis, Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad Pedagógica Nacional*, 10, 66-78.

Anexos

Anexo 1. De las Cenizas a los Álcalis.



De las Cenizas a los Álcalis

LA FOGATA DEL ALQUIMISTA

El alquimista, como el herrero, y antes que ellos el alfarero, es un «señor del fuego», pues mediante el fuego es como se opera el paso de una sustancia a otra. Lo que el calor «natural» —el del sol o el vientre de la Tierra— hacía madurar lentamente, lo hacía el fuego en un tiempo insospechado.

Fragmento tomado de: "Los Señores del Fuego", un capítulo del libro *Herreros y Alquimistas* escrito por Mircea Eliade.

Muchas culturas a lo largo de la historia se han reunido alrededor del fuego para contar o escribir historias, llevar a cabo rituales, refugiarse del frío o transformar sustancias. Seguramente el "Ave Fénix" presente en la mitología griega es creado en uno de esos intentos, este mito concibe un pájaro *Renaciendo de las Cenizas*.

Nuestra pequeña comunidad hoy también se reunirá en torno al fuego para comparar relatos de la alquimia (*una práctica pre-científica que*

realizaba ensayos con diferentes sustancias para lograr fabricar la piedra filosofal), posteriormente experimentar y debatir sobre la ceniza resultante.



Imagen del "Ave Fénix" tomada del libro *La Crónica de Núremberg*, escrito en el siglo XV.

FUEGO Y CENIZAS EN LA ALQUIMIA

El fuego es uno de los elementos alquímicos con mayor significado. El fuego les permitió a los hombres transformar (usando su magia) al barro y la arena en cerámica o vidrio y a las piedras en metales. El fuego acelera así los procesos de la naturaleza. El fuego es por tanto un elemento mágico, regalo de los dioses, y

el descubrir sus secretos es lo que hacen los cuentos de la forja. Así los primeros magos fueron los herreros y los orfebres que guardaban bien sus secretos de transformación, ellos son los primeros alquimistas y los químicos del mundo antiguo, que buscan transformar la materia en nuevas realidades.

La cenizas que resultan del fuego es usada por chamanes hindúes que se cubren de cenizas para indicar un proceso de acercamiento con la divinidad y el conocimiento; un cuerpo cubierto de ceniza opera igual.

Tomado en línea del Blog: arescronida.wordpress.com

EL ALQUIMISTA

(BASADO EN EL POEMA ORIGINAL DE ELOYSIUS BERTRAND)

Nuestro arte se aprende de dos maneras, mediante la experimentación con las sustancias y por medio de la discusión con los otros. Esto permite encontrar en él alguna armonía o explicación, para ello hay que agudizar la habilidad de ser paciente, aplicado y vigilante.

Entonces podemos enunciar algunos de los relatos de un hombre cualquiera, y sus claves para hallar los misterios de la sabiduría del mundo.

"Meditaba sobre el fuego, el gas que se desprendía de él y los residuos, de aspecto particular y en escala de grises"

"Hojebaba durante días y noches relatos de alquimia antigua bajo la luz mortecina de la vela."

"O limpiaba su armadura, y después soplabla las cenizas sobre el libro de formulas y el tintero."

Libro "Secretos de la Alquimia" escrito por Helmut Gebelein.



EL ORIGEN DE LOS ÁLCALIS



La Alcalinidad tiene su origen en el siglo VII, cuando los árabes heredan la alquimia greco-egipcia y luego de sus trabajos con diferentes sustancias crean el término

Al-Quili para referirse al grupo

de compuestos que se comportaban similar a las cenizas que tenían contacto con el agua, ya fuera por acción de la lluvia o por la intencionalidad del hombre.

Fragmento del Documento de Caro y Mosquera.

PARA DISCUTIR A LO LARGO DEL PRESENTE ESTUDIO...

¿Cómo harías para determinar si otras sustancias tienen la misma cualidad "Al-Quili" o "Alcali" de las Cenizas?

¿Qué características tienen los "Alcalis"?

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL



⇒ Las principales sustancias resultantes de la fogata son las cenizas y el gas desprendido. Necesitarás tomar muestras de ambos para realizar la experimentación.

⇒ Para recoger las cenizas utiliza una espátula y una cápsula de porcelana (hazlo con precaución, ya que pueden estar muy calientes!), para hacer lo propio con el gas emplea un balón de vidrio.



EL CONTACTO CON EL AGUA

* Disolver las Cenizas en agua puede ser el primer paso para la consecución de un compuesto "Alcali" y así poder agrupar las sustancias que tengan similar comportamiento.

* De igual forma intenta disolver en agua el gas recogido en la fogata.

EL EFECTO LIMPIADOR...

Trae al laboratorio los siguientes materiales y engrásalos:

- * Un pedazo de papel Aluminio
- * Una joya de Plata
- * Un trozo de cable de Cobre
- * Un trozo de teja de Zinc
- * Una llave de Latón (aleación de Cobre y Zinc)
- * Una moneda de \$200 (hecha de Alpaca: Cobre, Zinc y Níquel)
- * Una moneda nueva de \$50 (hecha de Níquel)
- * Una puntilla de Hierro
- * Una cuchara de Acero Inoxidable (Hierro como principal componente)



Experimenta si las cenizas tienen efecto limpiador sobre cada uno de estos materiales. Coloca en contacto los metales con las cenizas humedecidas, sin restregarlos, y presta especial atención a todos los cambios que se puedan presentar.

Paralelamente realiza lo mismo utilizando agua.

También puedes experimentar con el gas recogido que fue disuelto en agua.



PARA SABER MÁS...

REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Ares Cronida (22 de Agosto de 2008). *Fuego y Cenizas en la Alquimia*. Recuperado de: <https://arescronida.wordpress.com/2008/08/22/fuego-y-cenizas-en-la-alquimia/>
- ◆ Banco de la Republica (24 de Junio de 2013). *Moneda de 200 pesos*. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/page/moneda-200-pesos>
- ◆ Banco de la Republica (27 de Enero de 2015). *Moneda de 50 pesos de la nueva familia de monedas*. Recuperado de: <http://www.banrep.gov.co/es/moneda-50-nueva>
- ◆ Caro, O. y Mosquera, D. (2015). *El Papel del Análisis Histórico-Crítico y la Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad*. Documento en construcción.
- ◆ Eliade, M. (1974). *Herreros y alquimistas*. Madrid: Alianza Editorial, S.A.
- ◆ Gebelein, H. (2007). *Secretos de la alquimia*. Barcelona: Ediciones Robinbook.
- ◆ Gutiérrez, J. (2002). Química de todos los días: un mundo de óxidos. *Acta Universitaria*, 12(3), 29-40.
- ◆ Osacar, J. (1990). *Iconografía alquímica aragonesa*. Zaragoza: Instituto de Carboquímica.
- ◆ Schedel, N. (1493). *Liber chronicarum (La crónica de Nuremberg)*. En Línea. Biblioteca Estatal de Baviera.
- ◆ Willcox, M. (2000). Soap. En Butler, H. (Ed.), *Poucher's perfumes, cosmetics and soaps, 10th Edn.* (453-465). Great Britain: Kluwer Academic Publishers.

¿Existen otras sustancias
 con cualidades similares a
 las cenizas que también
 puedan limpiar los
 metales?

Experimenta con ellas



EL SAPONEM
Y SU EFECTO LIMPIADOR

Historias antiguas cuentan que algún Alquimista elaboró una mezcla con cenizas vegetales, grasa animal y agua, la llevó a hervir durante varias horas y al dejarla enfriar notó que se creaba una pasta sólida uniforme y resbalosa al tacto, que al mojarse producía una espuma capaz de limpiar la grasa y la mugre. La Alquimia Romana le dio el nombre de "Saponem".

Elabora el "Saponem" y experimenta su "efecto limpiador".

Anexo 2. Los Sentidos: Una Forma de Agrupar Sustancias.



LAS CARACTERÍSTICAS IATROQUÍMICAS

En la época de la alquimia las sustancias eran organizadas acorde con el misticismo que surgía alrededor de ellas, sin embargo, cuando aparece la preocupación por estudiar el cuerpo humano y analizar diferentes enfermedades como la acidez de los cuerpos, las propiedades organolépticas (aquellas que podemos percibir con nuestros sentidos) empiezan a ser utilizadas para agrupar las sustancias y así buscar remedios para tales afecciones. Por esta razón, de la alquimia se deriva una rama llamada *iatroquímica* que permanece a lo largo del siglo XVI y es fundada por Paracelso, quien concibe la salud como un estado de equilibrio entre fluidos, por lo que la necesidad de caracterizar sustancias aumenta y la búsqueda de álcalis y ácidos toma interés.



Fragmento del Documento de Caro y Mosquera.

SOBRE LOS SABORES

Analiza el siguiente texto, fundamental para la agrupación de sustancias por medio de los sentidos.

Desde su aparición el hombre se ha valido de los sentidos para la supervivencia.

El sentido del gusto le ha permitido diferenciar, caracterizar y clasificar algunas sustancias.

En el cuerpo encontramos cuatro sabores de la tierra: el ácido, el amargo, el dulce y el salado. Y que, aun siendo perfectos en todos los sujetos, no pueden reconocerse bien más que en el hombre. La cólera saca su principio de la amargura, la cual es siempre caliente y seca como el fuego, por más que no aparezca en ningún caso afectada por él. La acidez produce melancolía, la que a su vez es siempre fría y seca, como la tierra, sin que ninguna de las dos tenga tampoco nada que ver con la tierra, si el hombre a dado predominio a la sal, el hombre será sanguíneo; colérico si prevalece la amargura, melancólico cuando su influencia mayor corresponde a la acidez o bien flemático cuando la dulzura sea la nota temperamental dominante."

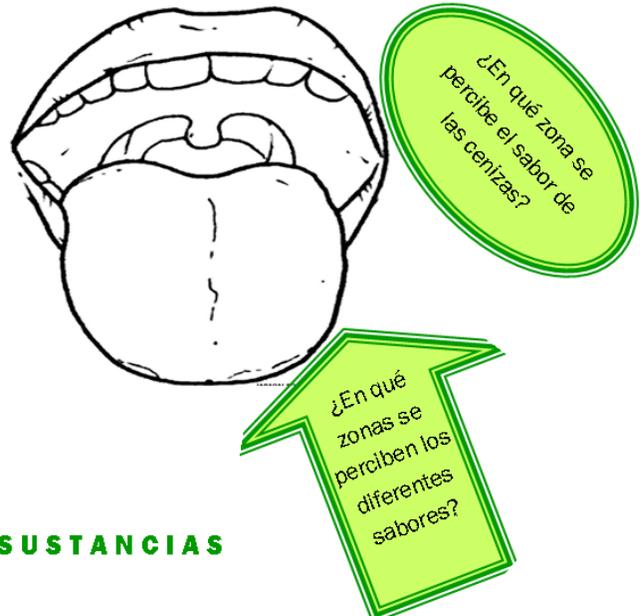
Fragmento tomado del libro: "Obras Completas (Opera Omnia)", escrito por Paracelso

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

El gusto consiste en identificar el sabor de las sustancias mezcladas con la saliva, por medio de las características que se perciben con la lengua y toda la boca.

El humano puede distinguir mínimo cuatro sabores: Dulce, agrio, amargo y salado, con lo cual puede diferenciar algunas sustancias con solo probarlas.

Experimenta a que sabor pertenecen las cenizas previamente recolectadas.



QUE LOS SENTIDOS AGRUPEN SUSTANCIAS

Usualmente somos muy visuales, por eso es necesario vendar los ojos para agudizar las sensaciones en boca y nariz.

Prueba las siguientes sustancias e intenta reconocer sabores (y cualquier sensación) en común para conformar dos grupos. Ten en cuenta que NO estás experimentando con sustancias dulces ni saladas.



Sabías que en la lengua, la región dulce informa sobre sustancias ricas en energía, lo salado acerca de moléculas indispensables para el funcionamiento del organismo, lo ácido sobre sustancias nocivas y lo amargó sobre alimentos tóxicos.

- ⇒ Bicarbonato de Sodio
- ⇒ Cenizas Humedecidas
- ⇒ Clara de Huevo
- ⇒ Gaseosa (Agua con Gas)
- ⇒ Jabón Liquido
- ⇒ Jugo Artificial de Naranja
- ⇒ Leche de Magnesia
- ⇒ Limón (Zumo)
- ⇒ Vinagre
- ⇒ Yogurt

LA SENSACIÓN DE ÁLCALIS Y ÁCIDOS

Álcalis

Se caracterizan por tener una textura jabonosa, olor picante y un sabor amargo, quemante y urinoso.

Tomado del libro *"Éléments de Chymie"* escrito por Jean Antoine Chaptal

Ácidos.

Son sustancias agrias, de sensación viva y picante, que cambia de débil a fuerte, se dice que el limón y la acedera (vinagrera) son ácidos.

Tomado del libro *"Memorias de la Academia de las Ciencias de Paris"* escrito por Puerto

EL SABOR DE LOS ÁLCALIS

Escoge una de las plantas que se encuentran en la lista y elabora un extracto (liquido) de ella. Córtala en trozos, adiciona una pequeña cantidad de agua, tritura y filtra.

Con ayuda del gusto, prueba el extracto y analiza sus características. Luego compáralas con el sabor de las Cenizas.

⇒ Acelga

⇒ Diente de León

⇒ Espinaca



MÁS DE LOS ÁLCALIS

Los álcalis también se diferenciaron por su olor, aquellos que son volátiles se reducen fácilmente en vapor y desprenden un olor muy picante.

El álcali vegetal o *potasa* puede extraerse de diversas sustancias, por ejemplo se saca de las cenizas de la leña. La ceniza contiene más o menos álcali dependiendo de la naturaleza de la madera, aquella de mayor dureza generalmente contiene más. Dicha *potasa* se vende para fabricar jabón.

Extraído del libro *"Éléments de Chymie"* escrito por Jean Antoine Chaptal

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ♦ Caro, O. y Mosquera, D. (2015). *El Papel del Análisis Histórico-Crítico y la Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad*. Documento en construcción.
- ♦ Chaptal, J. (1790). *Éléments de Chymie*. Tome III. Montpellier: Jean-Francois Picot.
- ♦ Leicester, H. (1967). *Panorama histórico de la química*. Madrid: Editorial Alambra S.A.
- ♦ Puerto, F. (1993). *Memorias de la academia de las ciencias de París 1772-1786*. Madrid: Ediciones Akal.
- ♦ Paracelso. (1945). *Obras Completas (Opera Omnia)*. (Trad. de Lluesma). Buenos Aires: Editorial Schapire (Original en Alemán, 1599).
- ♦ Van Helmont, J. (1671). *Les oeuvres de Jean Baptiste Van Helmont, traitant des principes de medecine et physique, pour la guerifon affurée des maladies*. Lyon: Chez Jean Antoine Huguetan & Guillaume Barbier.

EL CEREBRO Y EL GUSTO

La percepción del gusto se da por la excitación de células que se encuentran en la lengua y reciben el nombre de "papilas gustativas", estas reunidas con el olfato envían señales químicas mediante impulsos eléctricos al área de la corteza cerebral llamada "opérculo insular" donde se clasifica el tipo de estímulo, se une con la memoria sensorial y se realiza el reconocimiento del alimento para diferenciarlo de sustancias tóxicas y nocivas.

Reto:

Experimenta sí con la nariz completamente tapada se puede tener la sensación del gusto.

LOS ÁLCALIS Y LOS ÁCIDOS EN LAS ENFERMEDADES

Otro hito químico importante fue *Jean Baptiste Van Helmont*, quien afirmaba que la salud del cuerpo humano dependía de un apropiado balance entre ácidos y álcalis, pues cuando una de estas dos sustancias prevalece aparece la enfermedad, así, la alcalinidad en el organismo conlleva a una fiebre elevada, mientras que la acidez ocasiona extrema congestión (Van Helmont, 1671).

Seguramente estas conjeturas fueron logradas mediante la observación de las quemaduras corporales producto del contacto con sustancias ácidas y la irritación por las sustancias alcalinas. Pero más allá de tales afirmaciones, ¿a qué se refiere el apropiado balance entre ácidos y álcalis en el cuerpo?

Fragmento del Documento de Caro y Mosquera.

Anexo 3. Los Colores de Boyle.



UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
Física y Cultura

Los Colores de Boyle

El Indicador de Álcalis

En 1664 Sir Robert Boyle da a conocer la investigación titulada "Experiments and considerations touching colours", que pretendía explicar de donde provenían los colores y para la cual planteó 65 experimentos.

Su preocupación por el comportamiento de la materia y un marcado interés en la alquimia, lo llevaron a viajar por continentes diferentes a Europa en búsqueda de extractos naturales que tenían la facultad de cambiar el color a las sustancias.

La historia experimental del color (como también se conoce este trabajo) describe detalladamente 15 experimentos en relación a la naturaleza de la blancura y la negrura, y 50 experimentos para explicar el devenir del resto de

colores. De estas últimas experiencias, 18 abordan la preparación de extractos, jarabes y jugos de origen vegetal o animal, mediante técnicas como infusión, maceración, filtración, disolución, o destilación, buscando cambiar el color a las sustancias de la cotidianidad científica de la época.

En sus experimentaciones, Boyle analizó que las sustancias conocidas como álcalis y los compuestos determinados como ácidos, tomaban coloraciones características al tener contacto con estos extractos. Gracias a estas observaciones el prestigioso científico de manera indirecta introduce la poderosa idea de un indicador de álcalis y ácidos.

Fragmento del Documento de Caro y Mosquera.

"El misticismo de la alquimia llega a su fin durante el siglo XVII, cuando el irlandés Sir Robert Boyle orienta sus estudios hacia el desarrollo del experimento como fundamento de las Ciencias"



Sobre la Experimentación...

Para Boyle, la experimentación es uno de los mejores caminos por los cuales puede transitar el intelecto humano para comprender el mundo natural, debido a que posibilita la construcción de conexiones entre ideas hasta lograr la explicación del hecho.

Este camino genera un conocimiento que permite proponer nuevas opciones para la investigación que necesitarán un desarrollo teórico que las fundamente.

A manera de ejemplos podemos encontrar sus trabajos experimentales sobre los gases y las sustancias coloreadas, que terminaron con la formulación de la ley de presión y temperatura o Ley de Boyle, y el desarrollo de indicadores de álcalis y ácidos, para la clasificación de dichas sustancias.

Basado en el libro Robert Boyle: mecanicismo y experimento, escrito por Hernán Severgnini,

Actividad Experimental

Uno de los principales aportes de *Robert Boyle* a las ciencias naturales es la creación de indicadores de álcalis y ácidos, que posibilitaron la clasificación de sustancias.

Para ampliar tal actividad, cada grupo de trabajo deberá escoger uno de los siguientes materiales y llevar a cabo el respectivo procedimiento:

Extrae únicamente los pétalos, córtalos en trozos y llévalos a infusión. Filtra la solución resultante.



Flores de Jazmín

Corta los pétalos y llévalos a infusión agitando de manera constante. Filtra la solución resultante.



Flores de Violetas

Quita las hojas y macera uniformemente los frutos sin agregar sustancia alguna. Filtra la solución resultante.



Moras

Deja las cochinillas *Dactylopius coccus* al sol hasta que mueran y macéralas. Lleva la solución a ebullición y luego filtrala.



Rojo Carmín

Extrae los pétalos y llévalos a infusión agitando de manera constante. Filtra la solución resultante.



Rosas Rojas

Rasga el material en pedazos y macéralos agregando pequeñas cantidades de agua. Filtra la solución resultante.



Repollo Morado



La Experimentación de los Colores

Una vez preparado el indicador, experimenta que sucede cuando éste entra en contacto con las diferentes sustancias.

Agrega gotas del indicador a pequeñas cantidades de:

- ⇒ **Ácido de Batería (Ácido Sulfúrico)***
- ⇒ Bicarbonato de Sodio
- ⇒ Cenizas Humedecidas
- ⇒ Clara de Huevo cruda
- ⇒ Gaseosa (Agua con Gas)
- ⇒ Jabón Líquido
- ⇒ Jugo Artificial de Naranja
- ⇒ Leche de Magnesia
- ⇒ Limón (Zumo)
- ⇒ **Orina (Hombre y Mujer)***
- ⇒ Vinagre
- ⇒ Yogurt



También puedes utilizar otras sustancias que se encuentren en casa.

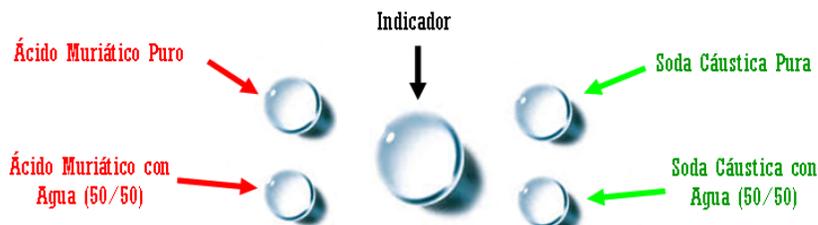
***Ten especial cuidado con estos compuestos, recuerda utilizar guantes y tapabocas.**

Bonus: coloca un poco de indicador en un recipiente y con ayuda de un palillo sopla para analizar que cualidad tiene el aire que viene de tus pulmones.

Ahora con otras sustancias...

Experimenta con el indicador las cualidades de dos sustancias **peligrosas**: la Soda Cáustica y el Ácido Muriático.

Coloca en el centro una gota de indicador, al lado derecho 2 gotas de Soda Cáustica (una pura y otra mezclada con agua) y al lado izquierdo 2 gotas de Ácido Muriático (una pura y otra mezclada con agua); tal como lo indica la imagen.



¿Cómo influye la pureza de la sustancia en su Alcalinidad o Acidez?

Con ayuda de un palillo, has que la gota del indicador tenga contacto con el resto de gotas. Analiza lo que sucede.

Recuerda que en esta actividad es necesario mantener una superficie blanca para percibir mejor el color.

Para Saber Más

Referencias Bibliográficas

- ♦ Boyle, R. (1664). *Experiments and considerations touching colours*. London: Henry Herringman.
- ♦ Caro, O. y Mosquera, D. (2015). *El Papel del Análisis Histórico-Crítico y la Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad*. Documento en construcción.
- ♦ Esteva, J. (1991). *La química sagrada. De la alquimia a la química en el siglo XVII*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- ♦ Malagón, F., Ayala, M. y Sandoval, S. (2011). *El experimento en el aula, comprensión de fenomenologías y construcción de magnitudes*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- ♦ Malagón, F., Sandoval, S. y Ayala, M. (2013). *La actividad experimental: construcción de fenomenologías y procesos de formalización*. Praxis Filosófica, 36, 119-138.
- ♦ Severgnini, H. (2007). *Robert Boyle: mecanicismo y experimento*. Córdoba: Encuentro Grupo Editor.



¿Qué cualidad podrían tener cada una de las mezclas?

...Mezclando Colores

¿Qué sucederá si se mezclan dos sustancias coloreadas de manera diferente por el mismo indicador?

Una vez agregado el indicador, mezcla:

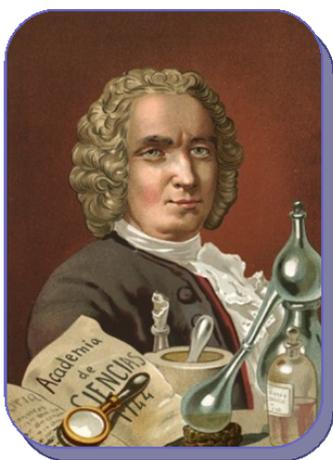
- ⇒ Las Cenizas Humedecidas y el Agua con Gas de la Fogata.
- ⇒ La Clara de Huevo y la Leche de Magnesia.
- ⇒ El Zumo de Limón y el Jabón Líquido.

También puedes intentar otras mezclas.

Anexo 4. De los Álcalis a las Bases.

De los Álcalis a las Bases

El Origen de las "BASES"



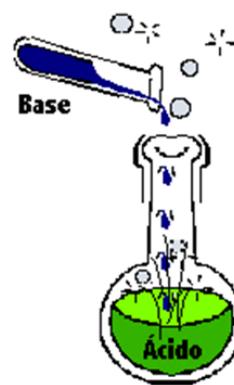
Durante el siglo XVIII, en Francia se realizan investigaciones para determinar la naturaleza de las sales, las cuales intrínsecamente tienen en cuenta las sustancias alcalinas. El profesor de química Guillaume Francois Rouelle, es quien realiza el estudio de mayor complejidad logrando la organización de las sales en neutras, ácidas y básicas; este proceso es detallado en las sucesivas memorias que envía a la Academia de Ciencias de Paris en 1744 (Franckowiak, 2002).

Para Rouelle era un hecho común negarse a aceptar cualquier teoría de primera vez, debido a que se fundamentaba en la objetividad que le podía dar la práctica, resumida en la experiencia y la observación de los fenómenos, por lo cual su investigación alrededor de las sales neutras tenía un alto contenido experimental

Guillaume Francois Rouelle introduce en las ciencias naturales el término **"base"** expresando que los principios térreos, compuestos por álcalis, sirven de "base" a los diferentes ácidos para la formación de sales. Rouelle explica que al combinar un ácido con una base se genera una solución con cualidades particulares, la cual puede llevarse a la evaporación para obtener los cristales característicos de las sales (Rouelle, 1759).

El futuro profesor del revolucionario químico Antoine Lavoisier, realiza una clasificación esquemática de las sales de acuerdo a las formas geométricas que a su parecer presentaban los cristales (Wisniak, 2002). Además las organiza en neutras, ácidas y básicas, cuando al agregarles el jarabe de violetas le revelan las respectivas coloraciones amarillas, rojas y verdes; (Franckowiak, 2002).

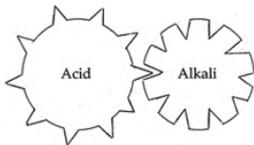
Al analizar las sales que no eran neutras, Rouelle menciona la presencia de cierto grado de acidez o basicidad en ellas, introduciendo por primera vez el término basicidad en el léxico propio de las ciencias naturales. Durante este proceso describe las características de algunas sales básicas como el carbonato de potasio.



Fragmento del Documento de *Cam y Mosquera*.

Actividad Experimental

De cómo neutralizar las características de los Álcalis



Ya has caracterizado ampliamente a los Álcalis, ahora experimenta como puedes neutralizar tales características.

Previamente con los indicadores de álcalis o ácidos, se evidencio un comportamiento opuesto de estos grupos de sustancias.

De acuerdo a la clasificación de álcalis y ácidos que ya tienes elaborada, **mezcla cantidades iguales de un álcali y un ácido y examina las características de la sustancia resultante.**

¿Cómo saber si a un álcali se le han neutralizado sus características?

La Espagíria y el primer Antiácido

En la época *Iatroquímica*, Paracelso busca elaborar remedios a partir de plantas, retomando la tradición alquímica denominada "*Espagíria*".

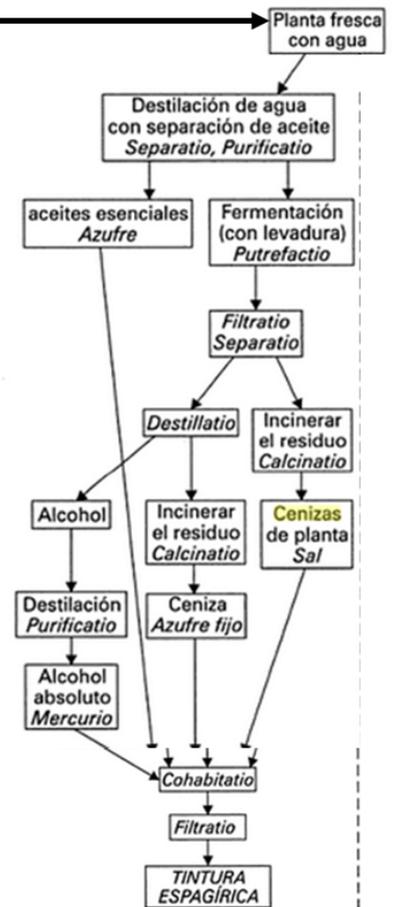
Construye tu propio antiácido estomacal partiendo de una de las siguientes plantas:



- * Acelga
- * Apio
- * Diente de León
- * Aguacate
- * Brócoli
- * Espinaca

Experimenta qué características antiácidas tiene tu remedio.

Procedimiento



Las Sales

La Formación de Sales: Glauber el primer ejemplo



Imagen tomadas del libro *The Works of the Highly Experienced and Famous Chymist* escrito por *Johann Glauber*

El denominado primer químico industrial *Johann Rudolph Glauber*, mediante su continua búsqueda de una tintura de oro se encontró con el Sulfato Sódico, la primera “sal” experimentalmente formada y diferente a la ya reconocida sal de cocina.

Fabrica la **Sal de Glauber** adicionando 6 g de sal de cocina a 45 ml de ácido de batería. Agita la mezcla y ponla a hervir a fuego lento.

Cuando se enfríe analiza sus características.

Las Sales Neutras de Roulle

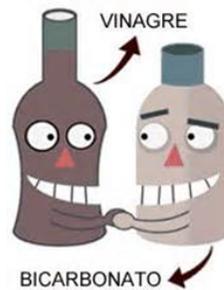
“Los principios térreos que están compuestos por álcalis, sirven de “base” a los diferentes ácidos para la formación de “sales”.

ROULLE instaura la palabra “base” para referirse a todos los álcalis, explicando que al combinar un ácido con una base se genera una solución con cualidades particulares, la cual puede llevarse a evaporación para obtener los cristales característicos de las sales.

Fabrica un ejemplo de sal neutra de Roulle, combinando vinagre con bicarbonato de sodio.

Combina 9 g de bicarbonato de sodio con 75 g de vinagre al 8% de Concentración. Luego, a fuego lento evapora el agua para obtener los cristales.

Experimenta las características de la sal resultante.



Sabiendo que el vinagre es ácido y el bicarbonato de sodio la base. ¿Por qué se toma en cuenta las cantidades para hacerla combinación?

¿Qué sucede si cambiamos las cantidades y proporciones?

Referencias Bibliográficas

- * Caro, O. y Mosquera, D. (2015). *El Papel del Análisis Histórico-Crítico y la Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad*. Documento en construcción.
- * Franckowiak, R. (2002). Les sels neutres de Gullaume-Francois Roulle. *Revue d'histoire des sciences*, 55(4), 493-532.
- * Glauber, J. (1659). *La teinture de l'or ou Le véritable or potable*. Paris: T. Jolly.
- * Lémery, N. (1675). *Cours de chymie*. Paris: l'Autheur.
- * Rouelle, G. F. (1759). *Cours d' experiences chimiques*. Paris: Bertin.
- * Wisniak, J. (2002). Guillaume-François Rouelle. *Educación Química*, 14(4), 240-248.

La cualidad *básica* y *ácida* de las sales (o cualquier sustancia)

Aparte de las sales neutras, en sus memorias Roulle también menciona la clasificación de sales básicas y ácidas, lo cual conduce a pensar que la *basicidad* y la *acidez* no son dependientes de un grupo de compuestos y más bien son una *cualidad* que puede expresar cualquier tipo de sustancia.

Experimenta la *basicidad* o *acidez* de las siguientes sales de laboratorio. Puedes emplear el indicador de bases y ácidos previamente elaborado.

- * Carbonato de Calcio
- * Carbonato de Potasio
- * Sulfato Cúprico
- * Sulfato Ferroso



Es conveniente que utilices guantes y tapabocas.

Anexo 5. Equiparando Bases y Ácidos.



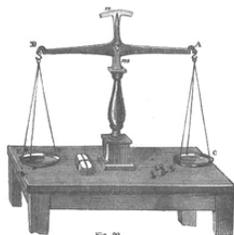
Equiparando Bases y Ácidos



Las Primeras Mediciones de la BASICIDAD y la ÁCIDEZ

Históricamente las ciencias naturales han tenido la necesidad de relacionar las propiedades de la materia con los números, de tal forma que se puedan realizar mediciones de la naturaleza y hacer comparaciones entre materiales utilizando *patrones* que sirven como referencia. A partir de las enseñanzas del revolucionario químico francés Antoine Lavoisier y el uso de la balanza para la medición de masas o el eudiómetro para calcular volúmenes de los gases, las comunidades científicas empezaron a preocuparse por medir las diferentes propiedades de la materia y entre ellas la cualidad básica y ácida de las sustancias.

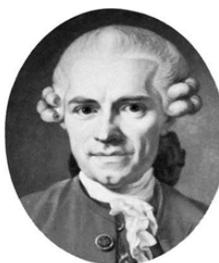
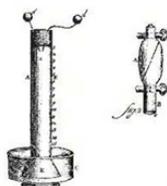
Hasta el siglo XVIII, los estudios sobre bases y ácidos explican que al combinar éstas sustancias existe un proceso de neutralización mutua, el cual produce un compuesto con nuevas características denominado sal; pero se limitan a las observaciones cualitativas y su respectivo registro en tablas de *afinidad química*, como las propuestas por el sueco *Tobern Olof Bergman*. Por lo cual, a comienzos del siglo XIX aparece la idea de una matematización de la química que



Balanza

Fig. 22.

Eudiómetro



Torbern

Olof

Bergman

Jeremias

Benjamin

Richter



concebe la basicidad y acidez como cualidades de las sustancias e intenta medirlas para determinar la fuerza de bases y ácidos.

En ese contexto, el alemán *Jeremias Benjamin Richter* propone las famosas y muy útiles *relaciones estequiométricas*, donde se analizan las proporciones en que se combinan bases y ácidos. Esta idea es ampliada y popularizada por su compatriota *Ernst Gottfried Fischer*, quien construye la *tabla de equivalencias químicas de ácidos y bases*, en la cual explica que existe una cantidad *equivalente* de cada base capaz de neutralizar las características de un ácido determinado, y a su vez cantidades equivalentes de cada ácido que pueden neutralizar las características de una base previamente establecida

De esta manera, los científicos exploran las relaciones matemáticas que conllevan a la medición y organización de la cualidad básica y ácida en las sustancias.

Fragmento del Documento de *Caro y Mosquera*

Hasta este punto debes reconocer que las bases pueden diferenciarse de los ácidos y cuando estas dos sustancias se combinan existe una neutralización que por lo general forma una sal.

También habrás notado que algunas sustancias son más o menos básicas que otras. Por ende,

¿Cómo medir la basicidad o cualidad básica de las diferentes sustancias?

La fuerza de las bases

Compara la fuerza de distintas bases frente a un mismo ácido.

Toma como referente la **gaseosa (agua con gas)**. Utilizando el indicador previamente elaborado, colorea 50 gotas de ésta sustancia.

Luego añade gotas de cada base hasta que el referente cambie de color, esto te indicará que sus propiedades han sido neutralizadas.

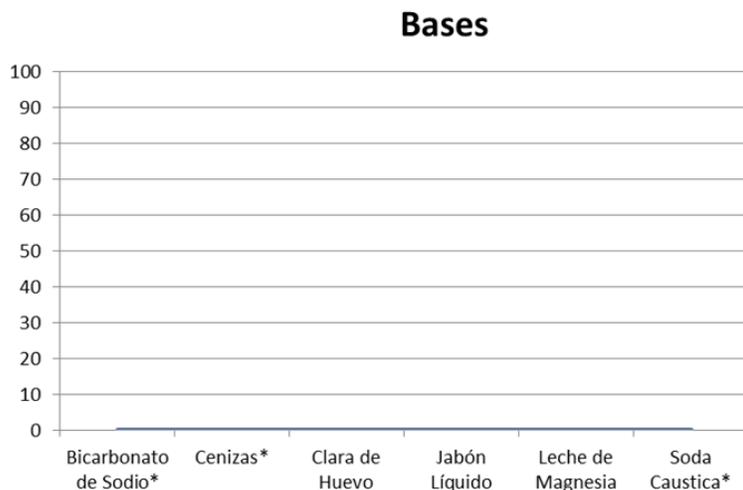
(Para las bases sólidas pesa 1g y disuélvelo en 10 mL de agua con agitación constante, calienta de ser necesario para mejorar su disolución).*

¡No olvides contar las gotas!, pues la cantidad de ellas te señalará que sustancia tiene mayor o menor cualidad básica en comparación a otra.

También puedes intentarlo con otras bases que reconozcas.

Grafica los resultados obtenidos

Bases	Nº de Gotas para cambio de Color
Bicarbonato de Sodio*	
Ceniza*	
Clara de Huevo	
Jabón Líquido	
Leche de Magnesia	
Soda Caustica*	



“Utiliza guantes y tapabocas, pues muchas bases y ácidos pueden ser corrosivos e irritantes”.
Puedes asegurarte consultar la ficha de seguridad de sustancias como la Soda Caustica.

Hasta este punto debes reconocer que los ácidos pueden diferenciarse de las bases y cuando estas dos sustancias se combinan existe una neutralización que por lo general forma una sal.

También habrás notado que algunas sustancias son más o menos ácidas que otras. Por ende,
¿Cómo medir la acidez o cualidad ácida de las diferentes sustancias?

La fuerza de los ácidos

Compara la fuerza de distintos ácidos frente a una base en común.

Toma como referente las **cenizas** (pesa 1g y disuélvelo en 10 mL de agua).
 Utilizando el indicador previamente elaborado, colorea 50 gotas de ésta sustancia.

Luego añade gotas de cada ácido hasta que el referente cambie de color, esto te indicará que sus propiedades han sido neutralizadas.

¡No olvides contar las gotas!, pues la cantidad de ellas te señalará que sustancia tiene mayor o menor cualidad ácida en comparación a otra.

También puedes intentarlo con otros ácidos que reconozcas.

Nº de Gotas para cambio de Color	Ácidas
	Ácido de Batería
	Ácido Muriático
	Gaseosa (Agua
	Jugo Artificial de Naranja
	Limón
	Vinagre

Grafica los resultados obtenidos

“El ingrediente activo de la Coca Cola es ácido fosfórico, capaz de disolver un clavo en 4 días. Este ácido es dañino para el calcio de los huesos y es uno de los mayores contribuyentes del aumento de la osteoporosis”. **¿Qué tipo de fuerza puede tener?**



Referencias Bibliográficas

Para Saber Más

- ♦ **Bergman, T. (1788).** *Traité des affinités chimiques, ou attractions électives.* Paris: Buisson.
- ♦ **Caro, O. y Mosquera, D. (2015).** *El Papel del Análisis Histórico-Crítico y la Actividad Experimental en la Enseñanza de la Basicidad.* Documento en construcción.
- ♦ **Delgado, M. y López, J. (2004).** *La recuperación del material científico de los gabinetes y laboratorios de física y de química de los institutos y su aplicación a la práctica docente en secundaria.* Madrid: Servicio editorial UPV.
- ♦ **Fischer, E. (1819).** *Physique mécanique.* (Trad. de Biot). Paris: Vve Courcier (Original en Alemán).
- ♦ **Hess, M. (1842).** *On the scientific labours of Jeremias Benjamin Richter.* *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 21(136), 81-95.
- ♦ **Lavoisier, A. (1798).** *Tratado elemental de química.* (Trad. de Munariz). Madrid: Imprenta Real (Original en Francés, 1789).

Las Tablas de equivalencias entre bases y ácidos

En 1788, el sueco Torbern Olof Bergman intenta ordenar las reacciones que se pueden presentar entre 27 ácidos y 8 álcalis, en una tabla de afinidad química (Bergmann, 1788). Por su parte, el alemán Jeremias Benjamin Richter mide los pesos de varias bases que reaccionan con idénticos pesos de un mismo ácido y en 1819 Ernst Gottfried Fischer los representa en la *tabla de equivalencias químicas de ácidos y bases* (Fischer, 1819).

Dicha tabla explica por ejemplo, que para neutralizar 1000 partes en peso de ácido sulfúrico se necesitan 859 partes en peso de soda (carbonato de sodio) o 793 partes en peso de hidróxido de calcio, y a su vez para neutralizar la misma cantidad de ésta última base se requieren 712 partes en peso de ácido muriático (ácido clorhídrico) o 1480 partes en peso de ácido acético (Fischer 1819).

Bases		Ácidos	
Magnesia	615	Muriático	712
Hidróxido de Calcio	793	Sulfúrico	1000
Soda	859	Acético	1480

Extracto de la *Tabla de Equivalencias Químicas de Bases y Ácidos* construida por *Ernst Gottfried Fischer*

En anteriores actividades se neutralizaron las características de bases y ácidos, logrando reconocer la fuerza de unos y otros, pero ahora podemos equiparar dichas fuerzas matemáticamente.

Reto: Toma una cantidad líquida de ácido y neutralízala con bases diferentes, trata de establecer las relaciones proporcionales necesarias para neutralizarla.

Comprueba la neutralización con un indicador.

¡Ten mucho cuidado! Pues todas estas sustancias pueden ser peligrosas