



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **El fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos**

The phenomenon of acid rain as a strategy for learning chemistry and the development of scientific competence explain the phenomena

**Angie Vanessa Arias Suns**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales  
Manizales, Colombia  
2023

# **El fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos**

**Angie Vanessa Arias Suns**

Trabajo final de maestría de profundización presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales**

Director (a):

MSc. Jorge Eduardo Giraldo Arbeláez

Línea de Investigación:

Enseñanza de las ciencias

Grupo EDUCEN

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Manizales, Colombia

2023

*A mi esposo e hijo, Juan Jacobo<sup>2</sup>, por su amor, eterno apoyo, tiempo y comprensión.*

# Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Angie Vanessa Arias Suns

---

Angie Vanessa Arias Suns

Fecha 31/07/2023



# Agradecimientos

A Dios por regalarme vida y salud para culminar esta etapa.

A mi familia por su apoyo incondicional, por las palabras de aliento cuando más las necesité.

Al profesor MSc. Jorge Eduardo Giraldo Arbeláez, por ser guía en este proceso, por el cariño y motivación que me transmitió en cada encuentro y asesoría.

A la Institución Educativa Alfonso López Pumarejo por brindarme los espacios para realizar la investigación.

A los estudiantes que participaron en el estudio por su colaboración y apoyo, sin ustedes no tendría sentido este estudio.

## Resumen

Uno de los grandes retos que enfrenta el aprendizaje de las ciencias es usar el contexto de los estudiantes para el desarrollo de competencias científicas. Es por esto, que se hace necesario conectar contenidos curriculares de química con fenómenos de ocurrencia en la vida cotidiana de los estudiantes. Este trabajo diseñó una unidad didáctica que usó el fenómeno de la lluvia ácida para el aprendizaje de conceptos químicos, tales como pH, cambio químico y estequiometría y el fortalecimiento de la competencia científica explicación de fenómenos. Para el diseño de la estrategia se creó un cuestionario, que evaluó las ideas previas de los estudiantes respecto a los conceptos y que midió el nivel de la competencia científica, con el eje articulador del fenómeno de la lluvia ácida. Posteriormente, se analizó cualitativa y cuantitativamente los resultados obtenidos en el cuestionario, mediante una frecuencia de mención y un análisis estadístico descriptivo e inferencial. Con base en esta información se diseñó e implementó la unidad didáctica que usó el fenómeno de la lluvia ácida. Los resultados obtenidos muestran que en el pretest los estudiantes no tenían la competencia científica explicar fenómenos desarrollada, y por lo tanto los conceptos usados no estaban adquiridos; pero después de aplicar el posttest se encuentra que los estudiantes adquieren aprendizajes significativos y logran el desarrollo de la competencia científica en mención. Finalmente, se puede concluir que la lluvia ácida como estrategia didáctica permite el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.

**Palabras clave:** competencia científica, lluvia ácida, unidad didáctica, química, explicación de fenómenos.

## Abstract

One of the great challenges facing science learning is using the students' context to develop scientific competencies. For this reason, it is necessary to connect chemistry curricular contents with phenomena that occur in the daily life of students. This work designed didactic unit. This strategy used the phenomenon of acid rain to learn chemical concepts, such as pH, chemical change and stoichiometry. A quiz was created to measure the level competence and chemical concepts. A frequency mention, descriptive and inferential statistical analysis was performed. In the pretest, the results were that the students did not have the scientific competence to explain acid rain phenomena, and therefore the concepts used were not acquired. After, in the posttest, it was found that students acquire significant learning and achieve the development of the aforementioned scientific competence. Finally, it can be concluded that acid rain as a didactic strategy allows the learning of chemistry and the development of scientific competence explanation of phenomena.

**Keywords:** scientific competence, acid rain, didactic unit, chemical, explain the phenomenon.



# Contenido

Resumen.....	VII
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas.....	XIII
Lista de abreviaturas.....	XIV
Introducción.....	1
<b>1. Planteamiento de la propuesta.....</b>	<b>5</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	5
1.2 Justificación.....	8
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo general.....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	10
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>13</b>
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Fenómeno de la lluvia ácida.....	15
2.3 Conceptos químicos relacionados con el fenómeno de la lluvia ácida.....	22
2.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH).....	22
2.3.2 Cambio químico.....	24
2.3.3 Estequiometría.....	26
2.4 Competencia científica.....	27
2.4.1 Explicación de fenómenos.....	29
2.5 Unidad didáctica.....	31
<b>3. Metodología.....</b>	<b>35</b>
3.1 Enfoque de trabajo.....	35
3.2 Contexto del trabajo.....	35
3.3 Fases del trabajo.....	36
3.3.1 Fase 1: Diagnóstico.....	36
3.3.2 Fase 2: Diseño.....	42
3.3.3 Fase 3: Intervención.....	43
3.3.4 Fase 4: Evaluación de la propuesta.....	47
<b>4. Análisis de resultados.....</b>	<b>48</b>
4.1 Análisis de resultados pretest.....	48
4.1.1 Análisis por pregunta del pretest.....	48
4.1.2 Análisis del pretest de acuerdo a los ejes temáticos.....	64

---

4.1.3	Análisis del pretest de acuerdo al nivel de desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.....	68
4.2	Análisis de resultados postest.....	69
4.2.1	Análisis por pregunta del postest.....	70
4.2.2	Análisis del pretest de acuerdo a los ejes temáticos.....	85
4.2.3	Análisis del postest de acuerdo al nivel de desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.....	90
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>93</b>
5.1	Conclusiones .....	93
5.2	Recomendaciones .....	94
<b>6.</b>	<b>Anexo A: Cuestionario para la valoración de ideas previas y postest.....</b>	<b>95</b>
<b>7.</b>	<b>Anexo B: Unidad didáctica que usa el fenómeno de la lluvia ácida para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.....</b>	<b>103</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>137</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1-1:</b> Ubicación geográfica Institución Educativa Alfonso López Pumarejo. ....	8
<b>Figura 2-1:</b> Esquema gráfico de la formación de la lluvia ácida (IDEAM, 2023). ....	16
<b>Figura 2-2:</b> Efectos de la lluvia sobre cuerpos de agua (Ecología verde, 2023). ....	18
<b>Figura 2-3:</b> Efectos sobre ecosistemas forestales (National Geographic, 2023). ....	19
<b>Figura 2-4:</b> Efectos de la lluvia ácida sobre estructuras (IDEAM, 2023). ....	20
<b>Figura 2-5:</b> Esquema de la primera ecuación química de la historia. Imagen adaptada de la tesis aprendizaje activo de cambio químico en educación media por medio de una caja didáctica (Ruíz, 2013, p14). ....	25
<b>Figura 2-6:</b> Indicadores por niveles de desempeño de la competencia científica. ....	31
<b>Figura 2-7:</b> Estructura de la unidad didáctica. ....	32
<b>Figura 3-1:</b> Evidencias fotográficas Expociencia Municipal Tuluá 2021. ....	44
<b>Figura 3-2:</b> Certificado participación evento de divulgación científica fase institucional. .	45
<b>Figura 3-3:</b> Certificado participación en evento de divulgación científica fase departamental. ....	45
<b>Figura 3-4:</b> Evidencias fotográficas estudiantes realizando mediciones de pH. ....	46
<b>Figura 3-5:</b> Evidencia fotográfica estudiantes realizando cálculos estequiométricos. ....	47
<b>Figura 4-1:</b> Nivel de aprendizaje previo de los conceptos de pH, cambio químico y estequiometría. ....	66
<b>Figura 4-2:</b> Diagrama de frecuencias a) Eje temático pH y b) Eje temático cambio químico-estequiometría. ....	67
<b>Figura 4-3:</b> Nivel de competencia de los estudiantes según el pretest. ....	68
<b>Figura 4-4:</b> Diagrama de cajas del nivel de competencia de pretest. ....	69
<b>Figura 4-5:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 1. ....	70
<b>Figura 4-6:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 2. ....	72
<b>Figura 4-7:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 3. ....	73
<b>Figura 4-8:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 4. ....	75
<b>Figura 4-9:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 5. ....	76
<b>Figura 4-10:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 6. ....	78
<b>Figura 4-11:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 7. ....	79
<b>Figura 4-12:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 8. ....	81
<b>Figura 4-13:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 9. ....	82
<b>Figura 4-14:</b> Resultados pretest y postest para la pregunta 10. ....	84
<b>Figura 4-15:</b> Nivel de aprendizaje postest de los conceptos de pH, cambio químico y estequiometría. ....	87
<b>Figura 4-16:</b> Comparación del nivel de la competencia científica explicación de fenómenos pretest y postest. ....	90

---

<b>Figura 4-17:</b> Diagrama de cajas competencia científica posttest. ....	91
<b>Figura 7-1:</b> Escala de pH.....	103
<b>Figura 7-2:</b> Efectos de la lluvia ácida.....	104
<b>Figura 7-3:</b> Video formación de la lluvia ácida. ....	105
<b>Figura 7-4:</b> Esquema de formación de la lluvia ácida. ....	107
<b>Figura 7-5:</b> Esquema de las reacciones químicas que representan la formación de lluvia ácida.....	122
<b>Figura 7-6:</b> Quema de cultivos de caña.....	123
<b>Figura 7-7:</b> Ejemplos de cambios físicos y químicos. ....	124

## Lista de tablas

<b>Tabla 2-1:</b> Evolución de la evaluación de la competencia científica. ....	28
<b>Tabla 3-1:</b> Categorías medidas en el instrumento de valoración de saberes previos. ....	36
<b>Tabla 3-2:</b> pH de agua con la que fueron regadas diversas plantas. ....	39
<b>Tabla 3-3:</b> pH de diferentes muestras de agua lluvia. ....	41
<b>Tabla 3-4:</b> Secuencia de actividades de la unidad didáctica el fenómeno de la lluvia ácida. ....	43
<b>Tabla 3-5:</b> Tiempo de aplicación de la secuencia de actividades. ....	43
<b>Tabla 4-1:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 1. ....	49
<b>Tabla 4-2:</b> Resultados de acuerdo a la rúbrica pregunta 1. ....	50
<b>Tabla 4-3:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 2. ....	51
<b>Tabla 4-4:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 3. ....	52
<b>Tabla 4-5:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 4. ....	54
<b>Tabla 4-6:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 5. ....	55
<b>Tabla 4-7:</b> Resultados de acuerdo a la rúbrica pregunta 5. ....	56
<b>Tabla 4-8:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 6. ....	57
<b>Tabla 4-9:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 7. ....	59
<b>Tabla 4-10:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 8. ....	60
<b>Tabla 4-11:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 9. ....	62
<b>Tabla 4-12:</b> Rúbrica de evaluación pregunta 10. ....	63
<b>Tabla 4-13:</b> Matriz de datos obtenida del análisis de las ideas previas de los estudiantes. .....	65
<b>Tabla 4-14:</b> Estadísticos de fiabilidad. ....	66
<b>Tabla 4-15:</b> Test T de diferencias medias para los ejes temáticos del pretest. ....	67
<b>Tabla 4-16:</b> Matriz de datos obtenida del análisis del postest. ....	86
<b>Tabla 4-17:</b> Test T de diferencias medias para los ejes temáticos postest. ....	88
<b>Tabla 4-18:</b> Test T de diferencias medias para los presaberes y aprendizajes adquiridos respecto al concepto pH. ....	89
<b>Tabla 4-19:</b> Test T de diferencias medias para los presaberes y aprendizajes adquiridos respecto al eje temático cambio químico-estequiometría. ....	89
<b>Tabla 4-20:</b> Test T de diferencias medias para el nivel de competencia en el pretest y postest. ....	92

## Lista de abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<b>s</b>	Desviación Estándar
<b>N</b>	Tamaño de la Muestra
<b>ES</b>	Esperanza matemática
<b>Glib</b>	Grados de Libertad
<b>t</b>	Error Estándar
<b>P</b>	Probabilidad

# Introducción

El estudio de fenómenos como la lluvia ácida se ha convertido en un tema de interés para la ciencia y la sociedad, ya que causa diversas afectaciones en la salud de las personas y el medio ambiente. Tales como, el aumento de concentración de partículas en el aire que son perjudiciales para el sistema respiratorio, especialmente en personas con problemas de salud preexistentes; la acidificación de los cuerpos de agua como ríos y lagos; daños a la vegetación como decoloraciones, reducción en la tasa de crecimiento e incapacidad de las plantas para absorber nutrientes del suelo; corrosión de edificios, monumentos y estructuras metálicas; y contaminación de sistemas acuíferos que afectan la calidad del agua potable. Es por esto, que para mitigar y minimizar sus efectos se requiere desarrollar estrategias que estudien y comprendan el fenómeno.

En este contexto, surge la alternativa de estudiar el fenómeno de la lluvia ácida a través de la química verde, un fenómeno atmosférico que se caracteriza por la presencia de componentes ácidos, como ácido sulfúrico y ácido nítrico, en la precipitación; resultado de la interacción entre los óxidos de azufre y nitrógeno con el vapor de agua presente en la atmósfera. Además, la química verde permite comprender los mecanismos de reacción involucrados en la formación y dispersión de la lluvia ácida, identificar las fuentes naturales y antropogénicas precursoras de la lluvia ácida, cuantificar y analizar las concentraciones de gases y partículas en la atmósfera, así como estudiar sus interacciones y efectos sobre el planeta tierra.

Por otro lado, el aprendizaje de la química requiere estrategias que conecten contenidos curriculares con fenómenos de ocurrencia en la vida cotidiana, de modo que los estudiantes adquieran conocimientos fundamentales para comprender y explicar su entorno. Así mismo, usar el contexto de los estudiantes es una estrategia que cada vez toma más relevancia en el desarrollo de competencias científicas. Es por esto, que el fenómeno de la lluvia ácida se convierte en un pretexto para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.

Adicionalmente, los constantes avances tecnológicos no son ajenos al sector educativo y se requiere que las estrategias didácticas implementadas en el aula de clase involucren el uso de herramientas tecnológicas. En el presente estudio, los estudiantes midieron el pH del agua lluvia en la ciudad de Tuluá con un sensor programado en Arduino con la finalidad de determinar la presencia de acidez. Esta estrategia permite afianzar conceptos de química como pH, cambio químico y cálculos estequiométricos que están relacionados con el fenómeno de la lluvia ácida. A su vez, es un punto de partida para desarrollar el pensamiento crítico y lógico en los estudiantes sobre fenómenos que ocurren en su entorno, y de esta manera alcanzar competencias científicas.

En este orden de ideas, el presente estudio tiene como objetivo implementar una unidad didáctica que use el fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos en los estudiantes. Inicialmente, se identificaron las ideas previas y el nivel de competencia que tenían los estudiantes sobre el fenómeno de la lluvia ácida y conceptos relacionados como pH, estequiometría, cambio químico. Con estos resultados se diseñó la unidad didáctica usando el fenómeno de la lluvia ácida; y se evaluó la implementación de la estrategia con relación a los aprendizajes adquiridos y el desarrollo de competencia científica explicación de fenómenos. El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque mixto con un alcance descriptivo e interpretativo, en el que se utilizaron instrumentos como un cuestionario de ideas previas y la unidad didáctica. Los resultados se analizaron cualitativamente y a través de una Prueba T para determinar diferencias significativas en el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia.



El presente documento se divide en cinco secciones: en la primera se describe el problema que motiva el desarrollo de la presente investigación, así como su justificación y los objetivos planteados; en la segunda se presentan los antecedentes que preceden a la investigación y el marco teórico que sustenta el trabajo; en la tercera se plantea la metodología con la cual se desarrolló la investigación; en la cuarta se realiza el análisis de los resultados obtenidos y finalmente, las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.



# 1. Planteamiento de la propuesta

## 1.1 Planteamiento del problema

La enseñanza de la química afronta retos en la comprensión y modelación de fenómenos naturales, debido a que es una ciencia que maneja conceptos abstractos en un lenguaje propio. Para lograr una comunicación eficaz a través de este lenguaje se hace necesario integrar niveles como el descriptivo (macroscópico), simbólico (representativo) y explicativo (microscópico) (Santos & da Silva, 2013). La apropiación de conceptos vistos en el currículo de química, en la media escolar, implica un constante cambio entre estos lenguajes; si esto no ocurre los estudiantes no tendrán la capacidad de dar explicaciones científicas a fenómenos naturales.

Por otro lado, la desconexión entre los fenómenos cotidianos y los conceptos que se aplican en el aula de clase, tiene como consecuencia que los estudiantes no encuentren la aplicación e importancia de la química. Tal es el caso del concepto de pH, utilizado ampliamente en la vida cotidiana pero debido a su naturaleza abstracta y no observable conlleva a que los estudiantes no puedan clasificar como ácidos o básicos productos comunes como el café, leche o jabón (Liso et al., 2000). Además, el concepto de pH conlleva otra dificultad asociada con el lenguaje propio de la química, explicar fenómenos relacionados con pH implica que los estudiantes tengan claro términos como pH, pOH, base, ácido y se ha demostrado que existen concepciones erróneas referente a estos términos (Kala et al., 2013). Así mismo, ocurre con otros conceptos como cambio químico, según Méndez (2013) algunas de las dificultades que se presentan para comprender este concepto son:

- Saber diferenciar cuándo una sustancia sufre un cambio físico y cuándo sufre un cambio químico.
- Identificar el proceso químico como un cambio sustancial.
- Conocer que en una reacción química existe una redistribución de los átomos.
- Interpretar el significado de una ecuación química ajustada.
- Diferenciar masa molar y cantidad de sustancia.
- Comprender la conservación de la masa en una reacción química.

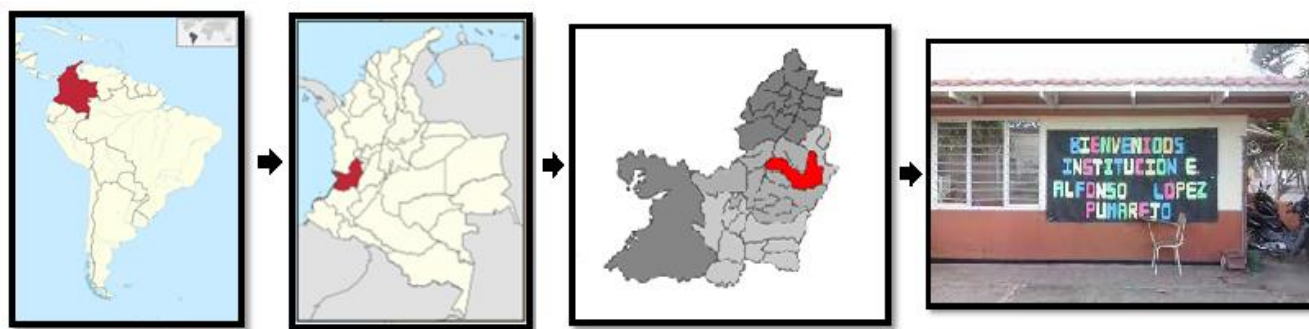
Desde la perspectiva de los docentes, la enseñanza de la química afronta dificultades adicionales como la falta de conceptos sólidos de matemáticas (regla de tres, manejo de ecuaciones, razonamiento cuantitativo), incomprensión lectora y la no asociación de fenómenos de la vida cotidiana con la aplicación de la química (Obando, 2013). Así como, el planteamiento de problemas teóricos que no se contextualizan con la realidad de los estudiantes, y por ende su solución no implica el uso de los diferentes lenguajes de la química (Gabel, 1993). Además, el uso prolongado de metodologías tradicionales en el aula de clase ha promovido que se vea al estudiante como un espectador en su proceso de aprendizaje, sin que juegue un papel activo en la construcción de nuevos conocimientos. Esto genera limitaciones en el momento de desarrollar competencias científicas y desconexión de los contextos sociales, culturales y económicos en los cuales se desenvuelve el estudiante (Telleria, 2012).

Un ejemplo claro de las dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química es la comprensión del fenómeno de la lluvia ácida. Este fenómeno puede presentar desafíos para muchos estudiantes, ya que involucra una serie de conceptos químicos y procesos atmosféricos. Estas dificultades pueden ser atribuidas a diversos factores, como la complejidad del tema, las ideas previas erróneas y las limitaciones en la enseñanza de la química verde. Tal como lo afirma Smith et al. (2019) y García et al. (2021), muchos estudiantes tienen la concepción de que la lluvia es ácida por sí misma, ya que no tienen claridad de que ocurren diversas reacciones químicas entre los gases contaminantes y el agua presente en la atmósfera para la formación de esta. Como resultado de esta falencia, los estudiantes no comprenden las fuentes que originan el fenómeno de lluvia ácida y se les dificulta proponer estrategias para minimizar los efectos que esta causa; a su vez

imposibilita el desarrollo de competencias científicas que les permitan explicar un fenómeno que ocurre en su cotidianidad.

Si a lo anterior le añadimos, la necesidad de usar herramientas informáticas y de comunicación en la enseñanza de la química debido al continuo avance tecnológico al cual están expuestos los estudiantes. Esto implica que los docentes exploren métodos de aprendizaje más interesantes que desarrollen habilidades científicas mediante el uso de las tecnologías de la información (TIC) y que a su vez se incluyan proyectos de investigación como estrategia para solucionar problemas cotidianos de los estudiantes (Othaman et al., 2012). Tal como lo plantea Chamizo, Guerrero & Izquierdo (2005) “los conceptos científicos surgen de situaciones problemáticas y, por lo tanto, requieren de una situación real en la que aplicarse y en la que adquieren sentido” (p. 9); es por esto que el uso de las TIC permite abordar la enseñanza de la química a través lenguajes científicos sencillos, comprensibles y aplicados a realidades de la sociedad actual.

En el caso de la Institución Educativa Alfonso López Pumarejo, ubicada en el departamento del Valle del Cauca, ciudad de Tuluá (Figura 1.1), los resultados de la prueba saber 11 indican que más del 50% de los estudiantes responden incorrectamente preguntas relacionadas con la explicación de fenómenos químicos a través del análisis de variables, la relación entre dos o más conceptos del conocimiento científico y de la evidencia derivada de investigaciones científicas (ICFES, 2021). Es decir, aproximadamente la mitad de los estudiantes de la media escolar presentan dificultades conceptuales en química y no relacionan lo aprendido en el aula con la solución de problemáticas de su entorno. Estos resultados no están alejados de los obtenidos en las pruebas PISA, donde el 49% de los estudiantes muestran desempeños bajo en ciencias naturales, es decir, aproximadamente la mitad de los estudiantes del país presentan dificultades en el manejo de conceptos básicos del área (Useche Gutiérrez & Vargas Guativa, 2019).



**Figura 1-1:** Ubicación geográfica Institución Educativa Alfonso López Pumarejo.

En este contexto, surge la necesidad de plantear estrategias didácticas para la enseñanza de la química que involucren fenómenos de ocurrencia en la realidad de los estudiantes, y por ende se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo desarrollar competencias científicas que permitan el aprendizaje de conceptos químicos relacionados con la lluvia ácida, en estudiantes del grado undécimo de la Institución Educativa Alfonso López Pumarejo de Tuluá?

## 1.2 Justificación

La globalización de la información ha llevado a que la forma de aprender y enseñar se transforme para dar respuesta a las necesidades de la sociedad. Es por esto que internacionalmente se han implementado los nuevos estándares de las ciencias para la próxima generación, NGSS por sus siglas en inglés (Next Generation Science Standards). Estos lineamientos se diseñaron con la finalidad de desarrollar habilidades científicas en los estudiantes, razonamiento crítico frente a problemas presentados en su contexto y la transversalización del conocimiento con otras áreas como la ingeniería, matemáticas, tecnología y arte (Bybee, 2014). Es relevante resaltar que a partir de estos estándares se integran tres dimensiones del aprendizaje, las cuales son:

- Las ideas disciplinares básicas de la ciencia: para el caso de esta investigación se usará el contenido curricular de química.

- Las prácticas más importantes: trabajo de la ciencia en el mundo real, en esta investigación se plantean el fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química.
- Conceptos transversales: se usaron herramientas tecnológicas, como simuladores, medidores automáticos de pH programados mediante Arduino, recolección, procesamiento y análisis de datos.

Por otro lado, la ONU aprobó la agenda 2030 una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. La agenda tiene como Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4: “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (ONU, 2015b). Mediante esta investigación se diseñó e implementó una estrategia didáctica que pretende otorgar herramientas a los estudiantes que puedan usar durante toda su vida, y que les permitan el acceso a la educación superior o emprender de acuerdo a las necesidades de los contextos sociales, económicos y culturales. Por otro lado, el ODS 13: “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” (ONU, 2015a) implica que se desarrollen propuestas para evaluar el efecto de la contaminación atmosférica, en este caso se recolectó información de pH del agua lluvia de Tuluá, se analizó dicha información y se determinó la acidez presente en las muestras. Estos datos son un diagnóstico inicial sobre el fenómeno de lluvia ácida en la ciudad que puede servir como base para investigaciones futuras.

Adicionalmente, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ha recomendado al gobierno nacional realizar acciones encaminadas a generar un sistema educativo de calidad que le permitan a los estudiantes adquirir competencias científicas y pensamiento crítico (Radinger et al., 2018). El uso del fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de competencias científicas, en especial la explicación de fenómenos propicia escenarios de calidad educativa, ya que tiene en cuenta el contexto de los estudiantes para generar una propuesta de enseñanza-aprendizaje; de esta forma dar respuesta a las recomendaciones de la OCDE.

El diseño de una estrategia pedagógica que integre herramientas tecnológicas, como el uso de medidores de pH programados en Arduino, le permite al estudiante analizar fenómenos de la vida real e integrar los diferentes lenguajes de la química en escenarios

de la vida cotidiana. De tal forma, se promueve el desarrollo de competencias científicas y el pensamiento crítico del estudiante en el momento de tomar decisiones y resolver situaciones problema presentes en su contexto. Se propone crear conexiones entre los contenidos vistos en química y el fenómeno de lluvia ácida, de tal forma que se promueva la interdisciplinariedad de las ciencias naturales y situaciones problema presentes en el contexto de los estudiantes. Además, a través de esta investigación los estudiantes se apropian de conceptos vistos en química, como cambio químico, pH y estequiometría.

La filosofía de la institución educativa Alfonso López Pumarejo se centra en el reconocimiento del estudiante como un ser actuante, participativo e investigativo; es decir desde la enseñanza de la química se debe promover que los estudiantes sean representantes activos de su formación. Esta propuesta de investigación busca que los estudiantes adquieran conocimientos de química y desarrollen competencias científicas a través del fenómeno de la lluvia ácida. Además, que se convierta en una herramienta de consulta para otros docentes que deseen usar y aplicar la unidad didáctica en sus entornos educativos, con la finalidad de propiciar espacios que fomenten la comprensión de fenómenos cotidianos.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Implementar una unidad didáctica que use el fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos en los estudiantes.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar mediante la aplicación de un cuestionario las ideas previas que presentan los estudiantes respecto a lluvia ácida, cambio químico, pH, estequiometría y el nivel de competencia científica explicación de fenómenos.



- Diseñar una unidad didáctica que use el fenómeno de lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química a partir del análisis de las ideas previas.
- Evaluar la implementación de la estrategia con relación a los aprendizajes adquiridos y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos, en los estudiantes.



## 2. Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

Gabel (1993) menciona tres posibles razones por las cuales los estudiantes no logran aprendizajes significativos en química, la primera es que se enfatice en la enseñanza a nivel simbólico (uso de fórmulas y ecuaciones) y se de menor importancia al nivel microscópico y entendimiento del fenómeno. La segunda es que se enseñen los tres niveles pero no se crean conexiones suficientes entre los niveles lo que da como resultado que los aprendizajes queden almacenados en la memoria a largo plazo. La tercera es que a pesar de enseñar los tres niveles y que se enfatice en la relación entre niveles, los fenómenos analizados no estaban relacionados con la vida cotidiana de los estudiantes (Gabel, 1993). Por esto, es fundamental que en las estrategias didácticas se empleen los tres lenguajes de la química y adicionalmente, se contextualice el aprendizaje teniendo en cuenta la realidad de los estudiantes. Adicionalmente, el uso de fenómenos reales como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la química crea interés y motivación tanto en estudiantes como en docentes, por aprender y estudiar esta ciencia; a su vez se relacionan conceptos abstractos con situaciones cotidianas y a se logra un aprendizaje significativo usando los lenguajes de la química (Mancipe, 2012).

Diseñar propuestas didácticas que involucren fenómenos de la vida cotidiana puede ser una estrategia eficaz para captar el interés de los estudiantes por el aprendizaje de la química. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Othaman et al. (2012), donde se muestra un camino de poca inversión económica y tecnológica para generar motivación e interés en los estudiantes hacia el aprendizaje de la química. En su estudio se emplearon experimentos sencillos con productos químicos de la vida cotidiana, como la columna de densidad con sustancias de la casa, hacer slime para conocer propiedades de los polímeros, conocer el pH de diferentes sustancias usando el repollo morado, la leche

mágica para estudiar la tensión superficial de los fluidos, entre otros. Los resultados muestran que los estudiantes aumentaron su interés por la química (Othaman et al., 2012). Chamizo e Izquierdo (2005), Martínez e Ibanez (2020) y Mosquera (2008) afirman que los conceptos científicos surgen a partir de situaciones problema, y por lo tanto requieren de una situación real a la que se apliquen y en la que toman sentido. Es decir, la enseñanza de la química adquiere relevancia a medida que se usan situaciones reales del contexto social, económico, cultural y ambiental de la comunidad educativa. Es por esto, que usar el fenómeno de la lluvia ácida permite integrar conceptos de química a un problema real, innovar en el proceso de aprendizaje-enseñanza y que los estudiantes construyan aprendizajes significativos (Basso & Lorenzo, 2018; Gómez et al., 2020; Mancipe, 2012).

Por otro lado, el cambio climático y la contaminación atmosférica que se experimenta en el planeta tierra otorgan la necesidad de enseñar la química bajo un enfoque verde. Tal como lo afirman Borsese y Soledad (2005) enseñar química mediante fenómenos de la vida real es tendencia en los enfoques de educación, ya que le permite a los estudiantes aplicar los conceptos adquiridos y desarrollar competencias científicas para el trabajo o emprendimiento (Esteban, 2005). Mancipe (2012) enuncia que cuando se usan fenómenos relacionados con el contexto de los estudiantes, ellos "...no verán los contenidos de la química exclusivos al salón de clases o al laboratorio, generando una habilidad de argumentar problemáticas sociales relacionadas con la ciencia". Se puede concluir que el uso de fenómenos reales en la enseñanza de la química proporciona a los estudiantes un contexto concreto para comprender y aplicar los conceptos químicos. Los fenómenos reales, como la lluvia ácida permiten a los estudiantes observar y analizar los procesos químicos en acción, lo que facilita la comprensión de los conceptos relacionados.

Además, involucrar el uso de las tecnologías de la información (TIC) en los procesos de enseñanza de las ciencias naturales se convierte en una estrategia didáctica eficaz para la comprensión de fenómenos naturales. Diversos estudios así lo demuestran, Sarmiento (2015) uso simuladores de laboratorio para realizar prácticas de laboratorio y encuentra que los estudiantes profundizaron y se apropiaron de conceptos como cambios de estado y comportamiento de sustancias químicas (Sarmiento Navarrete, 2015). Molnár y Molnár-Hamvas (2011) usaron la metodología LEGO para realizar cálculos en química, revelaron que esta estrategia le permite a los estudiantes resolver problemas de forma más efectiva y eficaz (Molnár & Molnár-Hamvas, 2011). Pacheco et al. 2021 uso simuladores PhET para

la enseñanza del concepto de soluciones y halló que los estudiantes construyeron aprendizajes mejor estructurados y más profundos, mediante la movilidad mental entre la información abstracta e implícita y las representaciones macro o explícitas (Pacheco et al., 2021). Finalmente, Daza et al (2009) concluye que el uso de las TIC son indispensables en el proceso de aprendizaje enseñanza de la química y hay que incorporarlas cuanto antes para no aumentar la brecha digital entre docentes y alumnos (Daza Pérez et al., 2009).

Por último, diversos estudios han demostrado que la integración de la enseñanza de la química con otras áreas del conocimiento, como la ingeniería, tecnología, matemáticas y el medio ambiente le permiten a los estudiantes desarrollar competencias científicas, crear aprendizajes significativos, enamorarse de la química cotidiana y usar la química como herramienta para la comprensión y solución de problemas de la vida real (De Jong, 1996; Merino, C; Pino, S; Meyer, E; Garrido, J; & Gallardo, 2015; Moreno, 2017).

## **2.2 Fenómeno de la lluvia ácida**

En 1850 el químico escocés Robert Angus Smith fue la primera persona en descubrir el fenómeno de la lluvia ácida, quien demostró que las emisiones que las grandes industrias realizaban a la atmósfera alteraban la química del aire, y por ende acidificaban el agua lluvia (Granados Sánchez et al., 2010). En 1872, el químico inglés Angus Srr Trth fue quien oficialmente otorgó el nombre de lluvia ácida a este fenómeno. Desde finales de los años 1950 se han detectado efectos de este fenómeno en ecosistemas terrestres y acuáticos, tal como lo estableció el científico sueco Svante Oden en aguas superficiales de Escandinavia y Gene Likens en Norteamérica. Pero solo fue en la convención de Estocolmo de 1972 donde por primera vez se habló del tema (Garcés & Hernández, 2004).

Desde 1980 se han realizado mediciones de acidez en la lluvia y la nieve en todo el mundo, pero fue en Estados Unidos donde se estableció por primera vez el programa Nacional de Deposición Ácida (NADP), los resultados obtenidos fueron que en la parte noreste de este país era muy alta la acidez de las deposiciones. A razón de esto, varias naciones industrializadas reconocieron las amenazas de la lluvia ácida y llegaron acuerdos para

limitar las emisiones de los gases contaminantes, como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, que la generan (Garcés & Hernández, 2004).

Por lo anterior, es importante definir el concepto de lluvia ácida:

El término lluvia ácida comprende tanto a la precipitación, depósito, deposición, depositación húmeda de sustancias ácidas disueltas en el agua lluvia, nieve y granizo, como a la precipitación o depositación seca, por la cual los aerosoles o compuestos gaseosos ácidos son depositados como cenizas, hollín o como gases en el suelo, en las hojas de los árboles y en las superficies de los materiales. En realidad, estas partículas no tienen carácter ácido mientras están en la atmósfera, pero cuando entran en contacto con la neblina, el rocío o el agua superficial, se convierten en ácidos y tienen efectos similares a los de la precipitación húmeda (Garcés, 2004, pp 68).

El concepto de lluvia ácida comprende cualquier forma de precipitación que contenga elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico. Se forma cuando reacciona el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) con el agua presente en la atmósfera, como lo muestra la figura 2-1 (National Geographic, 2010).



**Figura 2-1:** Esquema gráfico de la formación de la lluvia ácida (IDEAM, 2023).

Los óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre tienen dos fuentes de origen, el antropogénico y el natural. Los provenientes de forma natural comprenden las emisiones volcánicas, tormentas eléctricas, descomposición de la biomasa, entre otras. Las fuentes antropogénicas se pueden dividir en fijas y móviles, las fijas corresponden a las emisiones de las industrias derivadas de la quema de combustibles fósiles, como el carbón y petróleo; las móviles tienen su origen en las emisiones de los vehículos de transporte que usan combustibles fósiles como fuente de energía. Por otro lado, existen otras emisiones intermitentes o menos frecuentes, como los incendios forestales o la quema de biomasa o basura (Ubilla & Yohannessen, 2017). La permanencia de estos contaminantes en la atmósfera depende de factores meteorológicos, como la dirección del viento, la estabilidad térmica y la radiación solar. Estos factores influyen en la distribución, dispersión y transporte de la lluvia ácida en diferentes regiones geográficas.

La acidez del agua lluvia se puede cuantificar midiendo el pH y realizando análisis de laboratorio que determinen la concentración de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  presente en la atmósfera. El agua lluvia tiene un pH ligeramente ácido, entre 5,7 y 7, debido a la reacción química que se da entre el vapor de agua y el dióxido de carbono presentes en la atmósfera. Sin embargo, cuando hay elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y ácido nítrico, el pH de la lluvia puede ser inferior a 5,6 (Barreto, 2019).

- **Efectos de la lluvia ácida**

La lluvia ácida puede tener diversos efectos negativos en el medio ambiente. Uno de los impactos más evidentes es la acidificación de cuerpos de agua, como ríos y lagos, lo cual afecta la vida acuática y puede provocar la muerte masiva de peces y otros organismos. Esto se debe, a que al aumentar la acidez del agua se disminuye la capacidad de neutralización y aumenta la concentración de aluminio disuelto. Es importante destacar, que todas las relaciones que se dan entre los ácidos presentes en el agua lluvia y los compuestos presentes en el ecosistema acuático, son reacciones complejas que dependen de muchos factores (Garcés & Hernández, 2004).

La disminución del pH en el cuerpo de agua conlleva a un aumento de la concentración de aluminio disuelto, y esto provoca una intoxicación en los peces y las plantas. Esta es la principal causa de muerte de los peces, tal como lo menciona Barreto:

18 El fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos

---

La alta acidez y los niveles de aluminio disuelto interrumpen el equilibrio de sal y agua en la sangre de un pez, provocando la ruptura de los glóbulos rojos y el aumento de la viscosidad de la sangre. Los estudios muestran que la sangre viscosa tensa el corazón del pez, lo que resulta en un ataque cardíaco letal (Barreto, 2019, pp 17).

Otra de las consecuencias del aumento de la acidez en los cuerpos de agua es la disminución de la diversidad de especies como el plancton, zooplancton, fitoplancton, disolución del caparazón de moluscos, tal como se observa en la figura 2-2.



**Figura 2-2:** Efectos de la lluvia sobre cuerpos de agua (Ecología verde, 2023).

Por otro lado, los últimos estudios muestran que la lluvia ácida no causa la muerte directa de plantas y árboles, sino que puede debilitar los suelos y los cultivos, alterando su composición química y disminuyendo su fertilidad. La deposición ácida afecta los suelos de tres formas, la primera agota el calcio, y otros nutrientes como, el magnesio y potasio del suelo; la segunda promueve la disolución del aluminio inorgánico y la tercera aumenta la concentración de azufre y nitrógeno en el suelo.

Los iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) son esenciales para el crecimiento de las plantas, la falta de estos provoca debilidad en las raíces y las hace más



vulnerables a la acción del viento, frío, sequías, enfermedades y parásitos (Garcés & Hernández, 2004). Es importante aclarar, que hay ecosistemas que son más sensibles a los efectos de la lluvia ácida, debido a que la disponibilidad de estos nutrientes es menor por las bajas tasas de meteorización. Cuando ocurre un desequilibrio entre la pérdida de nutrientes y la descomposición lenta de las rocas, se pueden observar algunos efectos en los ecosistemas, tales como, copas de los árboles en mal estado, crecimiento reducido de los árboles y la disminución de estos. Un ejemplo de esto, se puede observar en la imagen 2-3.



**Figura 2-3:** Efectos sobre ecosistemas forestales (National Geographic, 2023).

Otro de los efectos de la lluvia ácida se puede observar en la corrosión de estructuras y monumentos hechos de materiales sensibles a la acidez, como el mármol y el metal. Tal como se muestra en la figura 2-4, comparación en la estatua de arsénica del Castillo de Herten del año 1702 (izquierda) y 1908 (derecha), ubicados en la cuenca del Rin-Alemania. El ácido sulfúrico y nítrico atacan las estructuras de tres formas, disolviéndolas, favoreciendo el crecimiento de sales solubles al interior de los poros de las rocas que la fracturan, aparición de “costra negra” que es la deposición de materia en suspensión sobre la superficie expuesta a la atmósfera y da la apariencia de ennegrecimiento de las fachadas (Barreto, 2019).

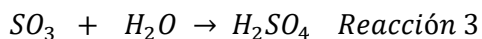
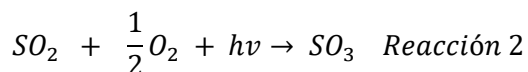
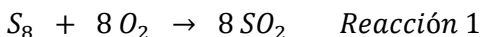


**Figura 2-4:** Efectos de la lluvia ácida sobre estructuras (IDEAM, 2023).

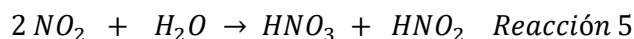
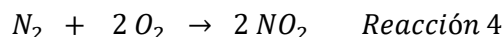
- **Química de formación de la lluvia ácida**

El fenómeno de la lluvia ácida requiere un análisis de las reacciones químicas que componen el mecanismo de formación de esta. Para esto, es necesario estudiar los óxidos de azufre que pueden estar presentes en la atmósfera, químicamente son seis compuestos gaseosos, como el monóxido de azufre (SO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), tetraóxido de azufre (SO<sub>4</sub>), sesquióxido de azufre (SO<sub>6</sub>) y heptóxido de azufre (SO<sub>7</sub>). Pero son solo dos (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>) los de interés por su estabilidad y contaminación del aire.

El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro, soluble en agua, en su mayoría, se origina por la quema de combustibles fósiles, usados en la industria, generación de energía y cocción de alimentos, como lo muestra la reacción 1. La exposición a elevadas concentraciones de este compuesto está asociada con los ingresos a urgencias por asma. Es por esto, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda monitorear, medir y analizar este contaminante atmosférico primario (OMS, 2021). Aproximadamente, el tiempo de permanencia de este compuesto en el aire es de 2 a 4 días, y se puede transportar a más de 1000 km desde el punto de emisión. El SO<sub>2</sub> actúa como precursor para la formación del trióxido de azufre, actuando como agente reductor y catalizado por la luz solar (hν), como se observa en la reacción 2. Después, el SO<sub>3</sub> reacciona con el vapor de agua presente en la atmósfera para formar ácido sulfúrico, como lo muestra la reacción 3 (Garcés & Hernández, 2004).



Por otro lado, los óxidos de nitrógeno incluyen los compuestos gaseosos monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), trióxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y pentóxido de dinitrogeno (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), pero el NO y NO<sub>2</sub> son considerados los mayores contaminantes atmosféricos. El NO<sub>2</sub> es un gas de color marrón-rojizo, soluble en agua y fuerte oxidante, la exposición a este compuesto irrita las vías respiratorias y agrava enfermedades respiratorias (OMS, 2021). Al igual que el SO<sub>2</sub>, el NO<sub>2</sub> se origina por la quema de combustibles fósiles, usados en la industria para generar energía y en zonas residenciales para la cocción de alimentos y calefacción como lo muestra la reacción 4. Este compuesto reacciona con el agua presente en el aire para formar ácido nítrico, ácido nitroso y óxido nítrico como se muestra en las reacciones 5 y 6 (Garcés & Hernández, 2004).



Por último, es relevante analizar las estrategias de mitigación y prevención de la lluvia ácida. Esto implica investigar tecnologías de reducción de emisiones contaminantes, así como políticas y regulaciones ambientales para controlar la contaminación atmosférica. También se deben explorar las prácticas de manejo del suelo y de restauración de ecosistemas afectados por la lluvia ácida. Otra estrategia importante es educar a la comunidad sobre el fenómeno de la lluvia ácida para crear habilidades ambientales que ayuden a la toma responsable de decisiones.

## 2.3 Conceptos químicos relacionados con el fenómeno de la lluvia ácida

### 2.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

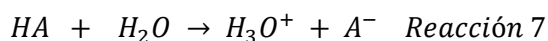
El concepto potencial de Hidrógeno está relacionado con los términos ácido y base, que han estado presentes en la humanidad desde la antigüedad. Es así como los griegos y egipcios clasificaron diferentes sustancias de acuerdo a su percepción sensorial, los ácidos se caracterizaban por tener un sabor agrio y las bases poseían un sabor amargo y textura viscosa o jabonosa. Las bases también recibían el nombre de álcalis, que proviene del árabe *al-qaly* que significa las cenizas, debido a que las más conocidas se extraían de las cenizas de la planta Kali (Ocampo, 2018).

A principios del siglo XVI, los alquimistas observaron que los ácidos tenían la capacidad de disolver metales como la plata y los tintoreros encontraron que algunos ácidos coloreaban las telas de rojos intensos y las bases cambiaban a colores azules. En 1658, el farmacéutico Johann Rudolph Glauber observó que cuando se mezclaban ácidos y bases, estos reaccionaban generando efervescencia y una nueva sustancia llamada sal (MINEDUCACIÓN, 2017). En 1664, Boyle hace uso de los indicadores para determinar la presencia de acidez o basicidad en una sustancia; además, propuso que las bases estaban compuestas por partículas porosas y los ácidos por partículas puntiagudas, el tamaño y la forma de estas influía en la ocurrencia de un cambio químico (Ocampo, 2018).

En el siglo XVIII, el químico francés Rouelle definió las sustancias básicas como formadoras de sales cuando se combinan con ácidos. En esta época hubo un desarrollo notable de diferentes indicadores, Duclós llamó turneso a un indicador extraído de líquenes y James Watt, descubre que la col roja es uno de los mejores indicadores naturales (Szabadvary & Oesper, 1964). En 1766, Macquer propone una nueva que las bases son sustancias que vuelven verde el jarabe de violetas. En 1781, Antoine Lavoisier identificó los elementos que formaban los ácidos y bases, es por esto que expuso la idea de que todos los ácidos contenían oxígeno (Ocampo, 2018).

El concepto de pH tuvo sus orígenes en los estudios realizados por científicos en el siglo XIX. Es así como, en 1810 Davy propuso que todos los ácidos contenían hidrógeno, proponiendo este elemento como grupo funcional característicos de estos compuestos; además, identificó que la afinidad química está relacionada con el potencial eléctrico de las sustancias, si se cambia la naturaleza de la sustancia alterará la magnitud del potencial eléctrico. En 1867, Guldberg y Waage enunciaron la ley de acción de masas, en donde los coeficientes de afinidad son indispensables para determinar la velocidad de reacción. Desde este momento, en el concepto de ácido y base se determinó que es importante incluir las concentraciones de las sustancias en equilibrio. En 1877, el químico sueco Svante Arrhenius propuso la teoría de la disociación electrolítica, la cual demuestra que las propiedades eléctricas de las sustancias permiten la disociación de las mismas en agua. Es por esto, que propuso de los ácidos en disolución acuosa son sustancias que se disocian en iones hidrógeno ( $H^+$ ) y las bases son sustancias que en medio acuoso se disocian en iones hidroxilo ( $OH^-$ ). Una falencia de esta teoría es que no considera la interacción entre la sustancia y el disolvente.

Después de casi medio siglo, aún no había convergencia en la definición de ácido y base, es por esto que a principios del siglo XX, Bronsted y Lowry propusieron la siguiente teoría: “Los ácidos son sustancias que en solución acuosa son capaces de donar protones, es decir,  $H^+$  y las bases son sustancias que en solución acuosa son capaces de aceptar protones, es decir,  $H^+$ . Las sustancias como el agua se comportan algunas veces como ácidos y otras como base, se conocen como anfipróticas” (MINEDUCACIÓN, 2017). Según Bronsted y Lowry la disociación de un ácido (HA) tiene como producto el ion hidronio y su base conjugada, como se muestra en la reacción 7:



Las limitaciones de esta teoría radican en que solamente es aplicable en reacciones donde hay una transferencia de protones, por lo tanto, los ácidos deben tener al menos un hidrogeno ionizable. A diferencia de Arrhenius, esta teoría se puede usar en reacciones en fase gaseosa y en solventes no acuosos. En 1923, Gilbert Lewis propuso una teoría más general, que incluye diferentes sustancias; por lo tanto, para Lewis “un ácido es toda sustancia capaz de aceptar un par de electrones o densidad de carga electrónica, ya que

tiene un orbital atómico o molecular vacío; y una base es toda sustancia capaz de donar un par de electrones con una sustancia ácida” (MINEDUCACIÓN, 2017).

Debido a las anteriores teorías surge la necesidad de cuantificar la acidez o basicidad de una solución, por lo tanto, el 1909 el químico danés Søren Peter Lauritz Sørensen tuvo la necesidad de establecer la influencia de la acidez en el comportamiento de las enzimas usadas para la fermentación de cerveza. Debido a esto, Sørensen introdujo la escala de “pH” (abreviación del potencial de Hidrógeno) para medir la acidez o alcalinidad de una solución, y propuso el uso de una escala logarítmica que facilitara el cálculo de las concentraciones de iones hidrógeno en soluciones, la ecuación era la siguiente (Ocampo, 2018):

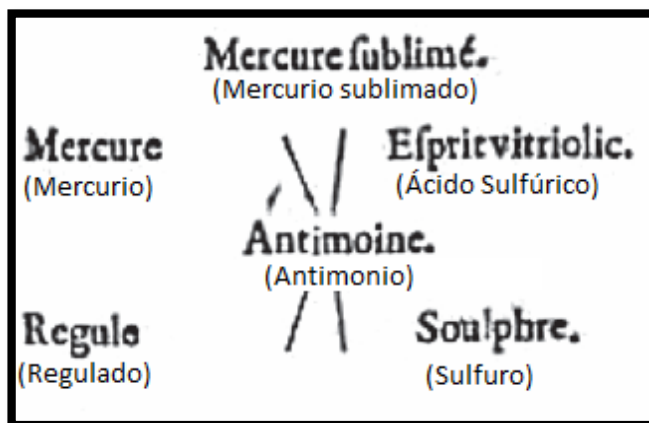
$$pH = -\log[H_3O^+]$$

Esta escala permitió la simplificación de los cálculos y expresar cuantitativamente el grado de acidez o basicidad de una solución. El concepto de pH ha sido ampliamente usado en diferentes campos de la ciencia y tecnología, es por esto, que hoy en día cuantificar el pH en el agua lluvia es de vital importancia para determinar la acidez de esta, y contemplar la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de la lluvia ácida.

### 2.3.2 Cambio químico

El concepto de cambio químico, también conocido como reacción química, ha evolucionado con el desarrollo de la sociedad. Es por esto, que desde la antigüedad el hombre ha observado que la naturaleza de las cosas cambia y puede representar un beneficio para su supervivencia. Los primeros indicios sobre la existencia de cambios químicos los presenció el hombre primitivo cuando pudo producir fuego. Tiempo después, fueron los egipcios y griegos, los primeros alquimistas, quienes en busca del elixir de la vida eterna realizaban experimentos para convertir metales comunes en oro. En esta época, el cambio químico era percibido como algo místico, que se componía de materia y espíritu, de manera que toda la materia estaba compuesta por cuatro elementos. Ernest Stahl propuso la idea de que algunos elementos eran ricos en “flogisto”, por lo cual tenían la facilidad para realizar combustiones. La época alquimista da como origen la creación de la iatroquímica usada ampliamente en los inicios de la medicina (Ruíz, 2013).

En 1615, Jean Béguin redacta la primera ecuación química, como lo muestra la figura 2-5. A través de esta representación se muestran las sustancias involucradas en el proceso químico en el que se mezclan antimonio y mercurio sublimado para formar un polvo blanco, también llamado polvo emético; así como las interacciones y cambios que ocurren durante la destilación. Por medio de este esquema Béguin demostró que el mercurio y antimonio sufren un reordenamiento espacial, confrontando los cambios químicos propuestos por los alquimistas (Ruíz, 2013).



**Figura 2-5:** Esquema de la primera ecuación química de la historia. Imagen adaptada de la tesis aprendizaje activo de cambio químico en educación media por medio de una caja didáctica (Ruíz, 2013, p14).

A medida que la química avanzaba en los siglos XVIII empezó a tomar relevancia una nueva corriente que comprendía la química de las sustancias, e intentaba dar explicaciones menos místicas sobre los cambios de los materiales. A través de esta teoría se explicaban los procedimientos, tales como la destilación, disolución, precipitación, para obtener medicamentos útiles, productos de limpieza o pintura. En esta misma época, Antoine Lavoisier, considerado el padre de la química moderna, quien en 1789 presentó la Ley de Conservación de la Masa. Esta ley establece que en una reacción química, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos, lo que sugiere que la materia no se crea ni se destruye, sino que se reorganiza durante una reacción química. Este descubrimiento proporciona bases cuantitativas a las reacciones químicas que se observaban, por lo tanto, permite comprender y dar sentido al concepto de cambio químico (Izquierdo, 2004).

En el siglo XIX, John Dalton formuló la teoría atómica, que ayudó a explicar los cambios químicos en términos de reordenamiento de átomos y moléculas. La idea de que los átomos son indivisibles y que se combinan en proporciones definidas para formar compuestos permitió una comprensión más profunda de las reacciones químicas y las relaciones cuantitativas entre los reactivos y los productos (Whitten et al., 2015).

De acuerdo a lo escrito en el libro de Química General de Whitten, el concepto de cambio también conocido como reacción química, ocurre cuando hay presentes una o más sustancias que se consuman, y se forman una o más sustancias y se absorbe o libera energía. A medida que las sustancias químicas experimentan cambios las propiedades químicas son diferentes (Whitten et al., 2015).

Finalmente, es importante destacar que el concepto de cambio químico no ha tenido un desarrollo histórico lineal, ya que involucra otros conceptos complejos, como la teoría atómica, composición y propiedades de la materia, estequiometría, entre otros, que se han ido desarrollando al mismo tiempo. Es por esto, que al usar el fenómeno de la lluvia ácida como estrategia para aprender el concepto de cambio químico, les permitirá a los estudiantes aplicar la química en un contexto de su cotidianidad.

### **2.3.3 Estequiometría**

La estequiometría es la rama de la química que se encarga del estudio de las relaciones cuantitativas de la materia. Usando los cálculos estequiométricos se puede estimar la cantidad de sustancia que se produce a partir de las magnitudes de reactivo. Estas reacciones dependen de la naturaleza de los reactivos y de factores externos que pueden afectar la velocidad de reacción. Se destaca que a escala microscópica una reacción química es una reorganización de los enlaces de los átomos, por el desplazamiento de electrones, conservando la misma cantidad de átomos (Whitten et al., 2015).

El origen de la estequiometría se encuentra en los trabajos realizados por el matemático Jeremias Benjamin Richter, quien en 1792 introdujo el concepto de estequiometría en su libro Fundamentos de la Estequiometría, "Anfangsgründe der Stöchyometrie" en Alemán. El significado etimológico de la palabra estequiometría tiene su origen en el griego



*stoicheion*, que significa elemento y *metron*, que significa medida. Richter era un matemático que quería matematizar la química, y se dio cuenta de que los reactivos y productos en una reacción química se combinaban en proporciones fijas y definidas, lo que sentó las bases para el estudio cuantitativo de las reacciones químicas (Obando, 2013).

El padre de la química moderna, Lavoisier aportó al desarrollo de la estequiometría con su ley de conservación de la materia. En 1803, Dalton formula la ley de las proporciones múltiples pero en 1808, Gay-Lussac demuestra que los elementos se combinan en proporciones definidas y constantes para formar compuestos específicos. En 1811, el químico italiano Amadeo Avogadro afirmó que volúmenes iguales de gases a la misma temperatura y presión contenían el mismo número de moléculas. Esta ley proporcionó una base sólida para el desarrollo de la teoría atómica y la estequiometría moderna (Obando, 2013).

La estequiometría ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la química y en la aplicación de esta ciencia en diversas áreas de la industria, medicina, ecología. Un ejemplo de esto, es el uso de la estequiometría en el fenómeno de la lluvia ácida, ya que permite realizar cálculos cuantitativos de la acidez formada en el agua lluvia. Además, es importante resaltar que la estequiometría ocupa un lugar importante en el aprendizaje de la química y su aplicación permite el desarrollo de competencias científicas en los estudiantes, con la finalidad de fomentar el pensamiento crítico y responsable en contexto.

## 2.4 Competencia científica

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) tiene como proyecto el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA por sus siglas en inglés), con la finalidad de evaluar la formación de los alumnos al final de la enseñanza obligatoria, aproximadamente cuando tienen 15 años, a través de pruebas estandarizadas. Con los resultados obtenidos se pretende que los países miembros de la OCDE estipulen políticas públicas que mejoren los niveles educativos. Es importante destacar que PISA no evalúa aprendizajes de contenidos específicos, que estén fijados por el currículo nacional; sino que evalúa las competencias adquiridas por los estudiantes para resolver problemas

reales de la vida cotidiana. Es decir, evalúa la capacidad que tiene el alumno de aplicar los aprendizajes en contexto (OCDE, 2006).

La definición de competencia científica ha ido cambiando con el transcurso del tiempo y de las pruebas aplicadas. En el 2000 y 2003, se evaluaban procesos y en las versiones posteriores (2006 a 2015) pasaron a denominarse competencias, tal como se muestra en la tabla 2-1:

**Tabla 2-1:** Evolución de la evaluación de la competencia científica.

Procesos		Competencias	
PISA 2000	PISA 2003	PISA 2006,2009, 2012	PISA 2015
Reconocer preguntas científicamente investigables	Comprensión científica de la investigación científica	Identificar cuestiones científicas	Evaluar y diseñar la investigación científica
Identificar la evidencia necesaria en una investigación científica			
Diseñar o evaluar conclusiones	Interpretación de la evidencia científica y conclusiones	Utilizar pruebas científicas	Interpretar datos y pruebas científicas
Comunicar conclusiones válidas			
Demostrar la comprensión de los conceptos científicos	Describiendo, explicando y prediciendo fenómenos científicos	Explicar fenómenos científicos	Explicar fenómenos científicamente

Nota. Tabla tomada de PISA: competencia científica. I. Marco y análisis de los ítems. (Caño & Burgoa, 2017, p10).

De acuerdo a lo definido por PISA una competencia científica se define como: “conjunto de capacidades que sería esperable que una alumna o alumno científicamente competente desarrolle a lo largo de su vida, sean personas científicas o no, para que se conviertan en ciudadanas y ciudadanos informados y críticos del conocimiento científico...”, es decir, una competencia científica es la capacidad de los estudiantes para aplicar conocimientos científicos y habilidades en situaciones reales y cotidianas. Es importante destacar, que la competencia no solo implica poseer conocimientos teóricos sobre ciencias naturales, sino también tener la capacidad de utilizar esos conocimientos de manera efectiva para analizar

problemas, tomar decisiones fundamentadas y participar de manera informada en asuntos científicos y ambientales que afectan la sociedad (Caño & Burgoa, 2017).

El enfoque de la competencia científica se centra en el desarrollo de habilidades prácticas, como la capacidad de formular preguntas de investigación, diseñar experimentos, recolectar y analizar datos, interpretar resultados y comunicar conclusiones de manera clara y coherente. También se enfatiza la capacidad de los estudiantes para comprender y evaluar información científica presente en medios de comunicación y en la vida diaria, y cómo aplicar el pensamiento científico para tomar decisiones informadas (OCDE, 2006).

El fenómeno de la lluvia ácida permite evaluar las competencias científicas desarrolladas en los estudiantes, ya que se presenta como un desafío científico y ambiental que enfrenta la sociedad actual. Además, el estudio de este fenómeno contribuye a la formación de ciudadanos informados y comprometidos con la ciencia, que puedan aportar de manera significativa a la resolución de este problema.

### **2.4.1 Explicación de fenómenos**

De acuerdo a lo establecido por PISA, existen tres sub-competencias que se requieren para que un estudiante sea competente científicamente, estas son:

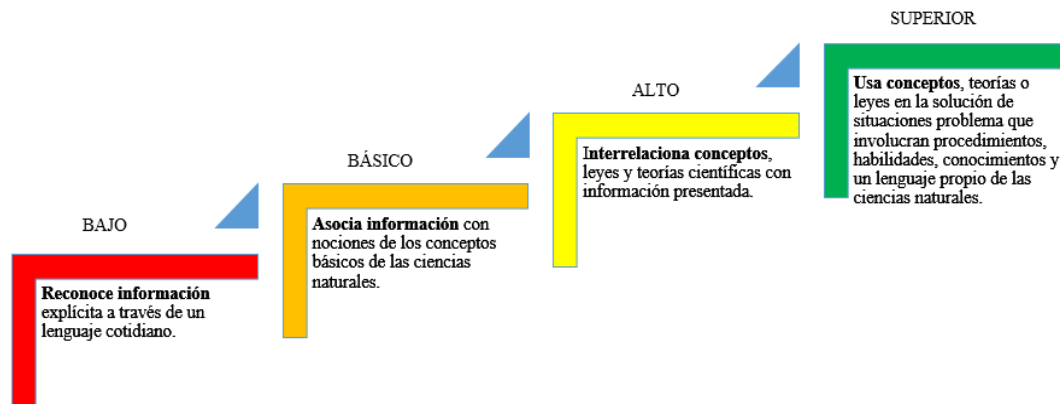
- Explicar fenómenos científicamente
- Evaluar y diseñar la investigación científica
- Interpretar datos y pruebas científicas.

Para este trabajo se tuvo en cuenta la sub-competencia explicación de fenómenos científicamente, ya que es una habilidad esencial dentro del marco de la competencia científica y se refiere a la capacidad de los estudiantes para identificar, describir y analizar fenómenos naturales y científicos de manera coherente, utilizando el razonamiento científico y el conocimiento adquirido para dar explicaciones fundamentadas (OCDE, 2006).

La explicación de fenómenos científicamente requiere que los estudiantes recuerden los conceptos necesarios aplicados a la situación dada. Esto implica que comprendan

realmente los conceptos científicos y los utilicen para interpretar y dar sentido a los eventos naturales que ocurren en su entorno. Los estudiantes deben ser capaces de reconocer patrones, relaciones causa-efecto en fenómenos científicos, y utilizar el pensamiento crítico para realizar inferencias y deducciones basadas en evidencias científicas. Esta competencia va más allá de la simple memorización de hechos científicos, ya que se centra en la capacidad de los estudiantes para conectar y contextualizar el conocimiento científico en diferentes situaciones y aplicaciones. Implica también la habilidad de comunicar de manera clara y precisa las explicaciones de fenómenos científicos tanto de forma oral como escrita, utilizando un lenguaje científico adecuado y argumentos fundamentados (Caño & Burgoa, 2017).

De acuerdo a lo expresado por Caño y Burgoa, 2017, página 13, "...reconocer, evaluar y ofrecer explicaciones de un fenómeno natural y tecnológico va enlazado con las siguientes habilidades: recordar y aplicar el conocimiento científico apropiado; identificar, utilizar y generar modelos explicativos y representaciones; realizar y justificar las predicciones adecuadas; ofrecer hipótesis explicativas; explicar las implicaciones potencialidades del conocimiento científico para la sociedad". A partir de esto se pueden construir indicadores que describan el nivel de desempeño de la competencia explicación de fenómenos científicamente, como se muestra en la figura 2-6. El nivel bajo, representa que los estudiantes no desarrollan la competencia, es decir, están en la capacidad solamente de reconocer la información. En el nivel básico, el estudiante empieza a asociar los conceptos con la información presentada, pero aún no está en la capacidad de explicar el fenómeno. El nivel alto y superior requiere que los estudiantes usen los conceptos aprendidos de la química y los relacionen con el fenómeno de la lluvia ácida, de tal forma que puedan explicar la formación de este evento, sus consecuencias en los ecosistemas terrestres y acuáticos, relacionar el concepto de pH con la acidez de la lluvia ácida y proponer estrategias para cuantificar este fenómeno en su contexto.



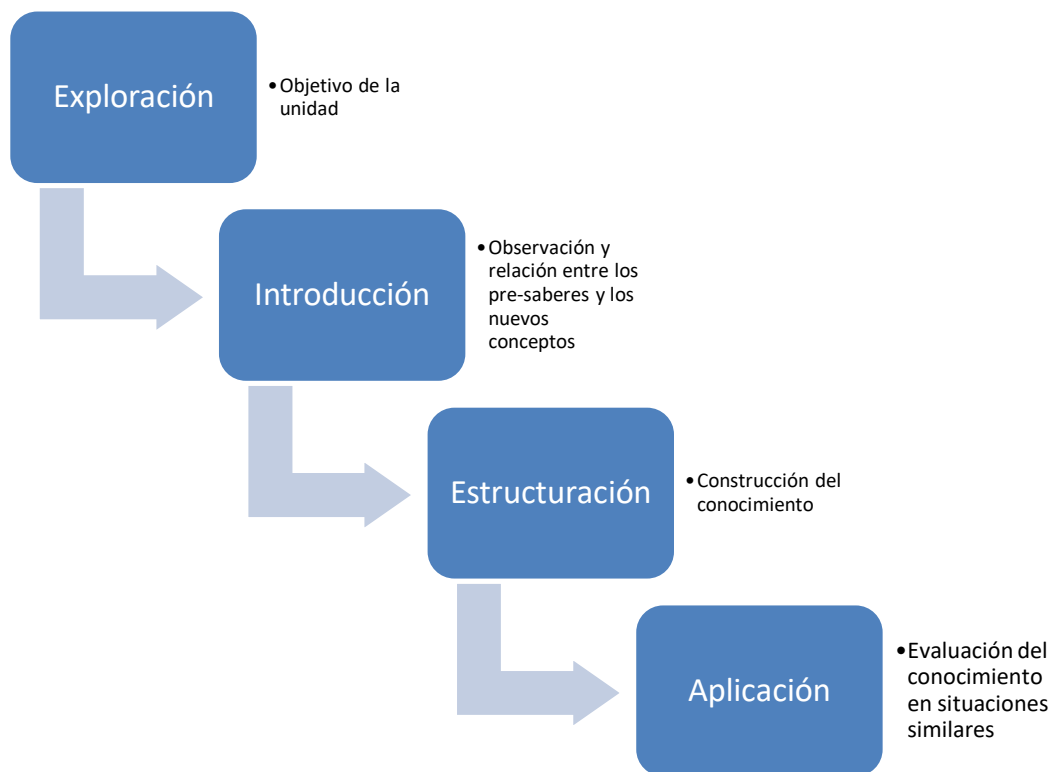
**Figura 2-6:** Indicadores por niveles de desempeño de la competencia científica.

Finalmente, el fenómeno de la lluvia ácida se convierte en una estrategia para desarrollar la competencia científica explicación de fenómenos. De tal forma que proporcione a los estudiantes herramientas para comprender y participar de manera activa y responsable en la conservación del medio ambiente.

## 2.5 Unidad didáctica

El objetivo de cualquier proceso de enseñanza es que los estudiantes obtengan aprendizajes significativos. Es por esto, que realizar unidades didácticas para el aprendizaje de la química requiere que las ideas previas, las experiencias personales y la interacción con el contexto de los estudiantes, estén presentes en el diseño e implementación de estas; tal como lo menciona Neus Sanmartí una reconocida investigadora y pedagoga española, especializada en el campo de la educación y la enseñanza de las ciencias (Jorba & Sanmartí, 1996).

La metodología propuesta y desarrollada por Jorba y Sanmartí, se estructura en torno a un tema o problema central que es relevante e interesante para los estudiantes. La unidad didáctica se organiza en diferentes fases o etapas, que incluyen la presentación del tema, la exploración de conceptos previos, la realización de actividades prácticas, la discusión y el análisis de resultados, y la aplicación del conocimiento en situaciones prácticas o problemas reales, como lo muestra la figura 2-7 (Jorba & Sanmartí, 1996):



**Figura 2-7:** Estructura de la unidad didáctica.

La etapa de exploración busca despertar el interés y la motivación de los estudiantes por el tema de estudio. Es por esto, que en esta etapa se plantean actividades sencillas que le permitan al alumnado identificar el objetivo de estudio. De acuerdo a lo mencionado por Edward y Mercer (1988) es importante que los estudiantes por sí mismos identifiquen los objetivos de la enseñanza para que el aprendizaje sea significativo (Edwards & Mercer, 1988). Se recomienda que estas actividades se relacionen con el contexto de los estudiantes, que sean de fácil comprensión y concretas (Jorba & Sanmartí, 1996). Además, es importante reconocer las ideas previas que tengan los estudiantes sobre el objeto de estudio. Según Jorba y Sanmartí (1996), las ideas previas son los conocimientos, creencias o interpretaciones que los estudiantes poseen antes de recibir una instrucción formal sobre un tema en particular. Estas ideas previas pueden influir significativamente en el aprendizaje, ya que los estudiantes tienden a interpretar nueva información en función de sus concepciones preexistentes.

En la etapa de introducción se pretenden incorporar nuevos puntos de vista e información respecto a las preconcepciones de los estudiantes, se pretende una reconstrucción de los

saberes previos. Es importante destacar, que es necesario partir de las ideas previas de los estudiantes para abordar adecuadamente las concepciones erróneas y promover una construcción significativa del conocimiento. Las actividades que se proponen para esta etapa incluyen el trabajo colaborativo donde se dialogue entre pares y se reflexione sobre las situaciones cotidianas planteadas en la fase anterior (Jorba & Sanmartí, 1996).

La etapa de estructuración del conocimiento es guiada siempre por el docente, pero esta etapa le permite al estudiante explicar con sus palabras lo entendido hasta el momento. El objetivo de esta fase, según lo expresado por Jorba y Sanmartí (1996), “es promover que cada estudiante comunique su propio modelo, valorando sus aproximaciones y sus aciertos y provocando la autocrítica”. Por lo tanto, se espera que en esta parte de la unidad didáctica los estudiantes estén en la capacidad de organizar y sistematizar los conceptos y conocimientos adquiridos (Jorba & Sanmartí, 1996).

En la última etapa, los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos en situaciones prácticas y reales. Es interesante diseñar actividades que les permitan a los estudiantes comparar sus ideas previas y el cambio conceptual promovido, de tal forma que sean ellos mismos críticos y reflexivos de su proceso de aprendizaje. Además, con esta fase se pretende que los estudiantes puedan transferir los conceptos y habilidades aprendidos a contextos diferentes, fomentando la capacidad de resolver problemas y tomar decisiones informadas (Jorba & Sanmartí, 1996). De tal forma, que la unidad didáctica presentada en este trabajo se diseñó teniendo en cuenta de las ideas previas presentes en los estudiantes, con base en estos resultados se plantearon actividades encaminadas a obtener un cambio conceptual.

Las unidades didácticas se han aplicado con éxito en diversos contextos educativos y en la enseñanza de diferentes disciplinas, incluyendo las ciencias naturales. Este enfoque pedagógico ha sido ampliamente reconocido por su efectividad en el desarrollo de competencias científicas y en el fomento del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes. Es por esto, que se plantea una unidad didáctica como estrategia para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos, usando la lluvia ácida.

- Enfoques usados en el diseño de la unidad didáctica

La teoría del aprendizaje significativo, desarrollada por Ausubel, destaca la importancia de conectar los nuevos conocimientos con los conocimientos previos del estudiante para que estos tengan sentido y sean bien asimilados. Este enfoque es aplicado por Sanmartí en el desarrollo de la unidad didáctica, ya que se busca que los estudiantes sean activos en el proceso de aprendizaje, construyendo su propio conocimiento a partir de experiencias y situaciones reales (Sanmartí, 2008). Además, se promueve el trabajo colaborativo, la indagación y la reflexión como parte esencial del proceso de aprendizaje; y se da importancia a la evaluación formativa, que permite retroalimentar a los estudiantes durante todo el proceso para que puedan mejorar su comprensión y construcción de conocimientos (Izquierdo et al., 1999).

Cabe resaltar que de la mano del aprendizaje significativo, se encuentra el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Este enfoque se basa en la idea de que los estudiantes aprenden mejor cuando se les presenta un problema o desafío real que deben resolver a través de la investigación y la colaboración. Es por esto, que en la unidad didáctica se integra el ABP como enfoque pedagógico para promover el aprendizaje activo y significativo en los estudiantes (García, 2019)

Finalmente, la unidad didáctica diseñada en este trabajo se basa en el fenómeno de la lluvia ácida, un evento natural de ocurrencia en la vida real de los estudiantes. Teniendo en cuenta los enfoques de Ausubel y ABP, de tal forma que propicie espacios de trabajo colaborativo, desarrolle competencias científicas que expliquen este fenómeno, permita la obtención de otras habilidades como la resolución de problemas, la toma de decisiones, la creatividad y el liderazgo en los estudiantes.



## **3. Metodología**

### **3.1 Enfoque de trabajo**

Esta propuesta de investigación fue aplicada en el sector educativo mediante el desarrollo de una estrategia didáctica para el aprendizaje de la química y el desarrollo de competencias científicas. El enfoque investigativo fue de tipo mixto, ya que se realizó un proceso conjunto de recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, con la finalidad de determinar la veracidad de la hipótesis formulada mediante un análisis CUAL/CUAN.

El alcance de la investigación es descriptivo-interpretativo, de acuerdo a lo mencionado por Hernández et al. (2018) los estudios descriptivos tienen como finalidad la recolección de información de las variables sin buscar una relación entre estas; es por esto que esta propuesta pretende describir los aprendizajes de química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos, adquiridos por los estudiantes.

### **3.2 Contexto del trabajo**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la institución educativa Alfonso López Pumarejo, ubicada en el municipio de Tuluá. El colegio es de carácter oficial y en su misión esta formar estudiantes con un sentido humanista dialogante, que desarrolle competencias científicas. La población que hace parte de esta investigación son los estudiantes de grado undécimo, con una muestra de 22 participantes (N=22). Se encuentran en un rango de edad entre 16 y 19 años. El nivel socioeconómico de los estudiantes oscila entre los estratos uno, dos y tres.

### 3.3 Fases del trabajo

A continuación se describen las fases en las cuales se desarrolló la investigación:

#### 3.3.1 Fase 1: Diagnóstico

Para la valoración de los saberes previos de los estudiantes se diseñó un instrumento que midiera el nivel de la competencia científica y los conocimientos en dos ejes temáticos, pH y cambio químico (Anexo A). De acuerdo con la OCDE y las pruebas PISA, “una competencia científica es la habilidad, la pericia y la aptitud de los estudiantes para analizar y resolver problemas, para manejar información y para enfrentar situaciones que se les presentarán en la vida adulta, con base en los conocimientos científicos que posean” (OCDE, 2006). Para este estudio se tuvo en cuenta la sub-competencia explicación de fenómenos, ya que a través de esta, se mide la interpretación científica que tienen los estudiantes referente a la lluvia ácida. A su vez, se tuvieron en cuenta dos ejes temáticos, el pH y cambio químico-estequiometría. Es importante, destacar que las preguntas usadas en el instrumento fueron adaptadas de las pruebas PISA y de los cuadernillos evaluar para avanzar diseñados por e ICFES. En total, son diez preguntas que evalúan el nivel de la competencia explicar científicamente el fenómeno de la lluvia ácida; cinco evalúan el concepto pH y cinco el concepto de cambio químico-estequiometría (tabla 3-1). Cabe destacar, que las diez preguntas están relacionadas con el fenómeno de la lluvia ácida y miden la competencia científica explicación de fenómenos. El instrumento fue validado por dos expertos y se realizó una prueba piloto.

**Tabla 3-1:** Categorías medidas en el instrumento de valoración de saberes previos.

Eje temático	Categoría	Número de Pregunta	Eje temático	Categoría	Número de Pregunta
pH	Asociación con otros fenómenos	3	Cambio químico-estequiometría	Fuentes de emisión de la lluvia ácida	1
	Efectos de la lluvia ácida sobre las plantas	5		Reacciones químicas que describen el fenómeno de la lluvia ácida	6

	Medición de pH	8		Conservación de la materia	4
	Escala de pH	9		Cambio químico	7
	Efectos sobre cuerpos de agua	10		Efectos sobre las construcciones	2

A continuación se exponen cada una de las preguntas y la finalidad con la que fueron propuestas para su posterior análisis:

- **Pregunta 1:** Esta pregunta pretende reconocer si los estudiantes comprenden que los óxidos que se encuentran en la atmósfera provienen de emisiones antrópicas, como los gases emitidos por los automóviles e industrial y emisiones naturales, como los gases emitidos por volcanes e incendios forestales. Además, permitirá analizar que estos gases provienen de un cambio químico, a partir de una reacción de combustión de combustibles fósiles. Es importante destacar que esta pregunta corresponde al eje temático cambio químico-estequiometría, y fue tomada textualmente de las pruebas PISA 2015, expuesta en el informe PISA: COMPETENCIA CIENTÍFICA. I. Marco y análisis de los ítems, por página 252 (Caño & Burgoa, 2017):

“La lluvia normal es ligeramente ácida porque ha absorbido algo del dióxido de carbono del aire. La lluvia ácida es más ácida que la lluvia normal porque además ha absorbido gases como óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. ¿De dónde vienen los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno que hay en el aire?”

- **Pregunta 2:** Con esta pregunta se pretende reconocer si los estudiantes predicen y generan hipótesis que explican el cambio químico presente en el experimento, y a su vez, justifican las relaciones cuantitativas existentes de una reacción química. Esta pregunta fue tomada en cuenta en el eje temático cambio químico-estequiometría, y fue tomada de las pruebas PISA 2015, expuesta en el informe PISA: COMPETENCIA CIENTÍFICA. I. Marco y análisis de los ítems, por página 255 (Caño & Burgoa, 2017):

“Una tiza tiene una masa de 2,0 gramos antes de ser sumergida en vinagre durante toda una noche. Al día siguiente, la tiza se extrae y se seca. ¿Cuál será la masa de la tiza? Explica tu respuesta.”

- **Pregunta 3:** Esta pregunta pretende determinar si los estudiantes reconocen el carácter ácido de la lluvia cuando se forma ácido carbónico. Así mismo, se identificará si los estudiantes asocian el fenómeno de la respiración con el fenómeno de producción de lluvia ácida. Esta pregunta se encuentra dentro del eje temático pH y es tomada y adaptado de examen escrito de ciencias del 2009, de la SUNY (The State University of New York). Pregunta 71 página 25 (SUNY, 2009):

“El dióxido de carbono en el aire se disuelve en la lluvia a medida que ésta cae en la tierra. Esto da lugar a la formación de ácido carbónico, un ácido débil. Explica por qué la acción del estudiante de soplar en el tubo de ensayo B es similar al proceso de formación leve de la lluvia ácida. ¿Qué pH se espera para este tubo de ensayo?”

- **Pregunta 4:** Con esta pregunta se pretende reconocer si los estudiantes justifican las relaciones cuantitativas existentes en una reacción química, teniendo en cuenta la ley de la conservación de la masa. Esta pregunta es una adaptación de las preguntas realizadas en las pruebas evaluar para avanzar y fue tenida en cuenta en el eje temático cambio químico-estequiometría:

“Los estudiantes que participaron del experimento están interesados en describir la reacción química que se llevó a cabo entre la tiza y el vinagre. Para esto, los estudiantes recordaron que “La masa de los reactivos es igual a la masa de los productos independientemente de los cambios que se produzcan en la reacción” y representaron la ecuación de la siguiente forma:



Explica si la ecuación propuesta por los estudiantes cumple con la ley de la conservación de la materia.”

- **Pregunta 5:** Esta pregunta pretende determinar si los estudiantes comprenden los efectos de la lluvia ácida en las plantas, cultivos y suelo; a su vez si relacionan y explican la acidez con el concepto de pH. Por otro lado, Garcés y Hernández (2004) determinó que hay dos factores que contribuyen a la baja productividad de los suelos ácidos, entre estas se encuentra el daño directo por los iones hidrógeno y los bloqueos fisiológicos de nutrientes en las plantas. Esta pregunta es una adaptación de las pruebas evaluar para avanzar y será analizada en el eje temático de pH.

“Andrés sembró 4 plantas y regó cada una con un líquido diferente, tal como lo muestra la siguiente tabla 3-2:

**Tabla 3-2:** pH de agua con la que fueron regadas diversas plantas.

Planta	Regada con	pH
1	Agua de la llave	7,0
2	Agua con azúcar	7,5
3	Agua con vinagre	3,5
4	Agua con orina	8,0

¿Qué crees que pasará con cada una de las plantas? ¿Cómo se vería afectado el crecimiento de cada una de las plantas?”

- **Pregunta 6:** Con esta pregunta se pretende determinar si los estudiantes plantean las ecuaciones químicas que explican el fenómeno de la lluvia ácida, identificando reactivos y productos teniendo en cuenta la información del gráfico (Anexo A). Esta pregunta se tendrá en cuenta en el eje temático cambio químico-estequiometría:

“De acuerdo con el gráfico, genera las posibles ecuaciones químicas que expliquen el fenómeno de la lluvia ácida”

- **Pregunta 7:** Con esta pregunta se pretende determinar si los estudiantes identifican que el fenómeno de la lluvia ácida se explica gracias a un cambio

químico. A su vez, de acuerdo al estándar básico de competencia (Ministerio de Educación Nacional, 2004) se evalúa el Estándar Básico de Competencia: Explico cambios químicos en la cocina, la industria y el ambiente. Esta pregunta es una adaptación de las pruebas evaluar para avanzar y se analizará dentro el eje temático cambio químico-estequiometría:

“Dos estudiantes están debatiendo sobre la lluvia ácida. El estudiante A tiene la hipótesis de que la lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico, ya que los gases se están transformando en otras sustancias. El estudiante B lo refuta, explicando que el agua sólo está cambiando de estado gaseoso (vapor en las nubes) a líquido (precipitación en forma de lluvia). ¿Cuál de los dos crees que tiene la razón? Justifica tu respuesta.”

- **Pregunta 8:** Con esta pregunta se pretende determinar las técnicas de medición que los estudiantes conocen para cuantificar el pH, de tal forma que expliquen que el pH de una muestra se puede cuantificar a través de métodos cuantitativos y cualitativos. Esta pregunta se tuvo en cuenta en el eje temático de pH:

“Un profesor les pide a sus estudiantes determinar el pH de cuatro muestras de agua lluvia, ¿cómo deberían realizar las medidas de pH los estudiantes? Explica tu respuesta.”

- **Pregunta 9:** Esta pregunta pretende determinar si los estudiantes identifican el carácter ácido de una sustancia a través de la medición de pH. Además, se encuentra en relación con lo evaluado por el estándar básico de competencia (Ministerio de Educación Nacional, 2004): identifico productos que pueden tener diferentes niveles de pH y explico algunos de sus usos en actividades cotidianas. Esta pregunta se tuvo en cuenta en el eje temático de pH:

“Un grupo de estudiantes decide medir el pH de cinco muestras de agua tomadas de la lluvia en su ciudad. Los resultados se muestran en la tabla 3-3:

**Tabla 3-3:** pH de diferentes muestras de agua lluvia.

Muestra	pH
1	5,0
2	3,2
3	4,0
4	3,9
5	3,0

¿Cuál de las muestras tiene una mayor acidez? Explica tu respuesta.”

- **Pregunta 10:** Esta pregunta pretende reconocer si los estudiantes comprenden los efectos de la lluvia ácida en lagos, ríos y las especies que allí habitan. Granados et al. (2010) describe los efectos de la acidificación de los cuerpos de agua, esta provoca que las especies que allí habitan disminuyan su población, debido a la falta de reproducción y mortandad. Además, se produce una disminución de la diversidad de especies afectando la cadena alimentaria. Esta pregunta se tuvo en cuenta en el eje temático de pH:

“En un reciente estudio realizado en el norte del Valle del Cauca se encontró un problema de contaminación atmosférica, que está provocando una disminución del pH en el agua lluvia de la ciudad de Tuluá. Después, de visitar varios lagos de pesca deportiva de la ciudad, se observó que los peces parecían estar sin fuerzas y no hacían el menor intento por alimentarse. Esta situación permaneció constante durante al menos una semana. Se observaron al principio pocos peces muertos y los que se cogieron tenían el estómago vacío, lo que llevó a suponer que no se habían alimentado. El propietario de un lago sugirió que el problema podía deberse a la lluvia ácida. ¿Qué explicación le podrías dar al propietario sobre su hipótesis? ¿Cómo podrías ayudar a los propietarios para determinar si su hipótesis es cierta o no?”

Finalmente, es importante resaltar que en el análisis del diagnóstico los estudiantes han sido codificados a través de la letra E y un número aleatorio; de tal forma que, E-1 significa estudiante 1, E-2 estudiante 2, y así sucesivamente. Las respuestas de los estudiantes se

analizaron de forma cualitativa y cuantitativa, la cuantitativa consto de una categorización en rúbricas con una escala de 1 a 5 en función del grado de comprensión del concepto y desarrollo de la competencia; así mismo, de forma cualitativa se analizaron las respuestas de acuerdo a la frecuencia de mención. De tal forma que se conformó una base de datos que servirá como base para el análisis estadístico en SPSS.

### **3.3.2 Fase 2: Diseño**

De acuerdo a los resultados obtenidos en la fase diagnóstica y la prueba T aplicada, se establece que no existen diferencias significativas entre los aprendizajes en los estudiantes de los conceptos cambio químico-estequiometría y pH, además que el fenómeno de lluvia ácida no era claro para los estudiantes y por lo tanto carecían de la competencia científica explicación de fenómenos. Es por esto, que la unidad didáctica diseñada se basa en el fenómeno de la lluvia ácida como eje articulador para el aprendizaje de los conceptos y el desarrollo de la competencia explicación de fenómenos. Es importante destacar que la unidad diseñada se encuentra en concordancia con los lineamientos curriculares establecidos por el Ministerio de Educación.

Teniendo en cuenta lo anterior, la unidad didáctica el fenómeno de la lluvia ácida (Anexo B) se diseñó de acuerdo a lo establecido por Sanmartí (1996), es decir cada secuencia de actividades tendrá cinco etapas; la primera denominada exploración, tendrá en cuenta las ideas previas que puedan tener los estudiantes y se planteará el objetivo de aprendizaje, la segunda es la introducción donde se relacionaran los pre saberes con los nuevos conceptos, la tercera llamada estructuración donde se realiza la construcción de los nuevos aprendizajes y finalmente la evaluación donde se aplicará el conocimiento adquirido a situaciones del contexto de los estudiantes. En la Tabla 3-4, se describen la secuencia de actividades que componen la unidad didáctica.



**Tabla 3-4:** Secuencia de actividades de la unidad didáctica el fenómeno de la lluvia ácida.

<b>Ideas previas</b>	<b>Secuencia de actividades</b>	<b>Título de la actividad</b>	<b>Contenido</b>
Dificultad entre la relación de pH y acidez Dificultades para explicar el concepto de pH	Actividad 1	¿Ácido o básico?	pH, monitoreo de pH con pH-metro programado en Arduino
Dificultad para describir un cambio químico Falta de relación del fenómeno de lluvia ácida y cambio químico	Actividad 2	Lluvia ácida	Cambio químico
Dificultad para relacionar el fenómeno de lluvia ácida y sus efectos	Actividad 3	Efectos de la lluvia ácida	Estequiometría

### 3.3.3 Fase 3: Intervención

En esta fase se implementó la unidad didáctica diseñada (Anexo B), con el objetivo de propiciar el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos. En la tabla 3-5 se muestran los tiempos de aplicación de las actividades en el transcurso de 3 meses:

**Tabla 3-5:** Tiempo de aplicación de la secuencia de actividades.

<b>Aplicación de la secuencia de actividades</b>	
Mes 1	Actividad 1
Mes 2	Actividad 1 y 2
Mes 3	Actividad 1 y 3

Durante el desarrollo de la unidad didáctica se obtuvo dos experiencias significativas para los estudiantes y la docente. Una de ellas fue la participación en la experiencia del municipio de Tuluá y quedar ganadores en la categoría de innovación en proyectos de investigación de química (figura 3-1). En este evento científico, los estudiantes participaron

presentando el pHmetro programado en Arduino como instrumento de medida cuantitativa de pH del agua lluvia de la ciudad de Tuluá. Los comentarios recibidos por parte de los jurados de evento fueron positivos, se destacó la capacidad de los estudiantes para explicar el concepto de pH, la integración de la química con otras áreas como la ingeniería y tecnología y la aplicación de la química en el contexto, teniendo en cuenta el fenómeno de lluvia ácida. Es importante resaltar que los estudiantes se mostraron motivados por



participar en el proyecto de investigación.

**Figura 3-1:** Evidencias fotográficas Expo-ciencia Municipal Tuluá 2021.

En ese mismo año, se participó en el torneo stemnautas organizado por la Universidad Tecnológica de Pereira. Inicialmente, se participó como propuesta de investigación en la fase Institucional, la evaluación de la propuesta resalta la integración de la química con la ingeniería y tecnología (figura 3-2).



**Figura 3-2:** Certificado participación evento de divulgación científica fase institucional.

Después de la participación en la fase institucional, la propuesta de investigación fue seleccionada para participar en la fase departamental. Los comentarios por parte de los evaluadores del proyecto de investigación fueron positivos, resaltaron la capacidad de los estudiantes para expresar las ideas y explicar el proyecto propuesto.



**Figura 3-3:** Certificado participación en evento de divulgación científica fase departamental.

Por otro lado, la primera secuencia de actividades (Anexo B) que se implementó en la unidad didáctica, incluye algunas prácticas de laboratorio relacionadas con la medición de pH en diferentes sustancias de uso común, y en diferentes muestras de agua lluvia recolectadas por los estudiantes. Se pudo observar, como los estudiantes inicialmente tenían temor de usar el pHmetro, ya que para algunos era la primera vez que veían y

manejaban un equipo de este tipo. Pero después de realizar las primeras medidas se desenvolvían con soltura y usaban el instrumento con facilidad (figura 3-4).

A medida que se implementaba la unidad didáctica diseñada, se observó un avance en el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos y apropiación del concepto de pH. Los estudiantes muestran interés por la aplicación en su vida cotidiana del concepto de pH. Además, de analizar el pH del agua lluvia de su ciudad con la finalidad de determinar la acidez de esta.



**Figura 3-4:** Evidencias fotográficas de estudiantes realizando mediciones de pH.

Cabe resaltar que para la secuencia de actividades que tiene como eje temático cálculos estequiométricos, se usaron las ecuaciones de formación de lluvia ácida para explicar la ley de conservación de la materia. Esta actividad se llevó a cabo mediante el uso de plastilina para simular los átomos que componen los reactivos y su reorganización para formar los productos, tal como lo propone la unidad didáctica en el anexo B (figura 3-5).





**Figura 3-5:** Evidencia fotográfica estudiantes realizando cálculos estequiométricos.

### 3.3.4 Fase 4: Evaluación de la propuesta

En la última fase de esta investigación se determinaron los aprendizajes adquiridos en química, teniendo en cuenta los ejes temáticos planteados en la tabla 3-1. Es importante resaltar que el postest aplicado corresponde al mismo diseñado en la fase 1. De igual forma, las respuestas de los estudiantes se analizaron de forma cualitativa y cuantitativa, en la cuantitativa se realizó una categorización en rúbricas con una escala de 1 a 5 en función del grado de comprensión del concepto y desarrollo de la competencia; así mismo, de forma cualitativa se analizaron las respuestas de acuerdo a la frecuencia de mención. De tal forma que se conformó una base de datos que servirá como base para el análisis estadístico en SPSS.

Los resultados del pretest y el postest serán analizados de forma cuantitativa, mediante la aplicación de una prueba T que determine la veracidad de la hipótesis planteada, la cual establece que la implementación de una unidad didáctica que use el fenómeno de la lluvia ácida desarrolla la competencia científica explicación de fenómenos y contribuye a lograr aprendizajes significativos en conceptos de la química como pH, cambio químico y cálculos estequiométricos.

## 4. Análisis de resultados

### 4.1 Análisis de resultados pretest

El análisis de los pre saberes de los estudiantes han sido codificados a través de la letra E y un número aleatorio; de tal forma que, E-1 significa estudiante 1, E-2 estudiante 2, y así sucesivamente. Las respuestas de los estudiantes se analizaron de forma cualitativa y cuantitativa, la cuantitativa consto de una categorización en rúbricas con una escala de 1 a 5 en función del grado de comprensión del concepto y desarrollo de la competencia; así mismo, de forma cualitativa se analizaron las respuestas de acuerdo a la frecuencia de mención. Este análisis se encuentra dividido en tres momentos, inicialmente se tendrán en cuenta las respuestas de cada pregunta de acuerdo con la rúbrica de evaluación propuesta y se complementa con el análisis cualitativo de las respuestas escritas por los estudiantes; posteriormente se analizarán los ejes temáticos base para explicar el fenómeno de la lluvia ácida y finalmente se analizarán el nivel de competencia que tienen los estudiantes de acuerdo a la matriz de datos obtenida del pretest.

#### 4.1.1 Análisis por pregunta del pretest

- **Pregunta 1:** Para el análisis cualitativo de esta pregunta se propuso la rúbrica descrita en la tabla 4-1. Es importante aclarar que esta pregunta se encuentra dentro del eje temático cambio químico y estequiometria, y hace parte de la valoración del conocimiento de las fuentes de emisión de gases contaminantes que producen la lluvia ácida. Además, teniendo en cuenta a los autores Smith et al. (2019) y García et al. (2021), muchos estudiantes tienen la concepción de que la lluvia es ácida por sí misma, ya que no tienen claridad de que ocurren diversas reacciones químicas entre los gases contaminantes y el agua presente en la atmósfera para la formación de esta. Al mismo tiempo, desconocen que los gases contaminantes provienen de un cambio

químico al ser producto de una reacción de combustión o por emisiones de fuentes naturales, como los volcanes.

**Tabla 4-1:** Rúbrica de evaluación pregunta 1.

<b>Rubrica</b>					
<b>Nivel</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Descripción</b>	Describe fuentes que no originan el fenómeno de la lluvia ácida, tales como los plásticos, componentes naturales del aire. No responden a la pregunta.	Describe fuentes que hacen referencia a contaminación pero no son causa importante de lluvia ácida, tales como la contaminación, la atmósfera en la que vivimos.	Describe fuentes de contaminación que originan el fenómeno de lluvia ácida y a su vez, fuentes incorrectas, tales como, la contaminación de las centrales nucleares.	Describe parcialmente las fuentes de contaminación que originan el fenómeno de la lluvia ácida, tales como, emisiones de industrias, o gases de los volcanes, o combustión de combustibles fósiles o gases de escape de los automóviles.	Describe las fuentes de contaminación que originan el fenómeno de la lluvia ácida, tales como, emisiones de industrias, gases de los volcanes, combustión de combustibles fósiles y gases de escape de los automóviles.

Los resultados obtenidos al analizar esta pregunta se muestran en la tabla 4-2, se encuentra que tan solo dos estudiantes describen las fuentes de contaminación que originan el fenómeno de la lluvia ácida, tales como, emisiones de industrias, gases de los volcanes, combustión de combustibles fósiles y gases de escape de los automóviles, escribiendo las siguientes expresiones:

E-2: “Estos gases nocivos provienen de los procesos industriales en los que se genera humo...también se producen debido a la combustión de los combustibles fósiles... además, de forma natural..”

E-15: "...de la contaminación atmosférica, natural como los incendios forestales o erupciones de volcanes o por causa humana como las quemas industriales y los gases que emiten los medios de transporte al quemar combustibles fósiles"

**Tabla 4-2:** Resultados de acuerdo a la rúbrica pregunta 1.

Nivel	Porcentaje de estudiantes en cada nivel
1	36
2	27
3	5
4	23
5	9

Por otro lado, en concordancia con lo que afirman Smith y García, se tiene que aproximadamente más de la mitad de los estudiantes no tienen claro las fuentes que originan la lluvia ácida o la atribuyen a la contaminación en general:

E-10: "No sé"

E-1: "...ambiente que ya este muy contaminado... los vertederos"

E-5: "de la tierra, de los árboles"

E-22, E-19, E-18, E-8: mencionan la "contaminación" como fuente de origen de los óxidos de azufre y nitrógeno.

- **Pregunta 2:** la rúbrica de evaluación de esta pregunta se muestra en la tabla 4-3. Cabe resaltar que el objetivo de esta pregunta era reconocer si los estudiantes explicaban que la masa de la tiza sería inferior a 2 gramos debido al cambio químico que ocurre entre la tiza y el vinagre, a su vez que asociaran esta reacción con los efectos de la lluvia ácida sobre los monumentos, estatuas y edificios.



**Tabla 4-3:** Rúbrica de evaluación pregunta 2.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Interpreta que la masa de la tiza permanecerá igual. No responde la pregunta	Interpreta que la masa de la tiza será menor a 2 gramos.	Interpreta que la masa de la tiza será menor a 2 gramos, sin tener en cuenta que ocurre un cambio químico.	Interpreta que la masa de la tiza será menor a 2 gramos, explicando que ocurre un cambio químico entre el vinagre y la tiza.	Interpreta que la masa de la tiza será menor a 2 gramos, explicando que ocurre un cambio químico entre el vinagre y la tiza, similar a lo sucedido con el fenómeno de la lluvia ácida.

De acuerdo a los resultados se obtuvo que el 64% de los estudiantes no responde la pregunta o asume que la masa de la tiza permanece igual, ya que no identifican que ocurre un cambio químico y no pueden explicar el fenómeno. Estos resultados se encuentran asociados a las dificultades que se presentan para comprender el concepto de cambio químico, tal como lo mencionan García et al. (2018); Johnson et al. (2020); Taber y García (2021):

- No identifican que en un cambio químico hay una reorganización de los átomos y una transformación en la estructura molecular de las sustancias involucradas.
- Falta de experiencias prácticas de laboratorio que les permita integrar los lenguajes de la química.
- Concepciones previas erróneas como que un cambio químico siempre implica un cambio de drástico entre las sustancias involucradas.

Algunas de las respuestas escritas por los estudiantes que corroboran lo anterior son:

E-2: "...habrá disminuido...por una reacción física"

E-4: "la tiza no perdió masa"

E-5: "...es la misma, independientemente de los cambios que se produzcan en la reacción"

E-8, E-10, E-11, E-19, E-20: “no sé”

Por otro lado, los estudiantes que mencionan que la masa disminuirá no explican que se debe a una reacción química entre la tiza y el vinagre, y tampoco asocian lo que ocurre con los efectos de la lluvia ácida sobre superficies (edificios, estatuas, suelo):

E-13: “...sería menos porque...se deshiso...”

E-12: “...se puede desaser”

- **Pregunta 3:** la finalidad de esta pregunta es determinar si los estudiantes asocian la acidez con los valores de pH. Además, de asociar y explicar los fenómenos de la respiración, liberación de dióxido de carbono y la reacción con el agua para formar ácido carbónico y la formación de ácido carbónico en la lluvia. Para esto, se estableció la rúbrica de evaluación mostrada a continuación:

**Tabla 4-4:** Rúbrica de evaluación pregunta 3.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Explica que el pH del tubo de ensayo será mayor a 7. No responde la pregunta.	Explica que el pH del tubo de ensayo será inferior a 7.	Explica que el pH del tubo de ensayo será inferior a 7, debido al carácter ácido del ácido carbónico.	Explica que el pH del tubo de ensayo será inferior a 7, debido al carácter ácido del ácido carbónico. A su vez, describe que la respiración es un cambio químico que produce dióxido de carbono, y que este compuesto al mezclarse con agua genera ácido carbónico.	Explica que el pH del tubo de ensayo será inferior a 7, debido al carácter ácido del ácido carbónico. A su vez, describe que la respiración es un cambio químico que produce dióxido de carbono, y que este compuesto al mezclarse con agua genera ácido carbónico, proceso similar al generado en la lluvia ácida.

El 55% de los estudiantes no explican o no responden correctamente la pregunta, enunciando lo siguiente:

E-22: "...que se oxide también por el aire que sale de nosotros, no es igual"

E-21: "...tiene más pH"

E-20: "...cambios en el pH y una mayor cantidad de acidez" pero no menciona un rango o valores de pH que permitan asociar la acidez con este.

E-13: "creo le quiso dar a la sustancia gas para mirar el proceso y...tiene un pH de 8..." no tiene claro el estudiante que el "gas" es dióxido de carbono y se expulsa en el proceso de respiración. Además asocia la acidez con valores de pH básicos.

E-12: "yo creo que es de 7"

Estos resultados no son ajenos a lo mencionado por Alvarado et al. (2013), quien enuncia que los estudiantes presentan dificultades para comprender la relación inversa entre pH y grado de acidez. Además, de acuerdo a las respuestas de los estudiantes se puede inferir que no encuentran explicaciones basadas en otras ramas de la ciencia, como la biología, para explicar un fenómeno; es decir, no contextualizan lo expuesto con fenómenos de su cotidianidad (Caamaño, 2006).

- **Pregunta 4:** esta pregunta fue planteada con la finalidad de reconocer si los estudiantes aplican el concepto de conservación de la materia al fenómeno de la lluvia ácida. Para esto se diseñó la rúbrica expuesta en la tabla 4-5:

**Tabla 4-5:** Rúbrica de evaluación pregunta 4.

Rubrica					
Nive I	1	2	3	4	5
Descripción	Describe que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia. No responde.	Describe que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia.	Describe que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia, teniendo en cuenta la relación entre los átomos de reactivos y productos.	Describe que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia, teniendo en cuenta la relación entre los átomos de reactivos y productos, asignando aleatoriamente coeficientes estequiométricos.	Describe que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia, teniendo en cuenta la relación entre los átomos de reactivos y productos. A su vez asigna coeficientes estequiométricos a partir de cálculos cuantitativos de balanceo de ecuaciones.

De acuerdo a la rúbrica, el 86% de los estudiantes afirman no tienen claridad a que se refiere la ley de la conservación de la materia, y por lo tanto no pueden explicar si la ecuación se encuentra balanceada, como se observa a continuación:

E-9: “no porque la masa de los reactivos es igual a la masa de los productos”

E-13: “creo que no cumple porque en una ecuación no debe de tener oxígenos doble”

E-16: “...si cumple con la ley de la conservación de la materia”

E-18: “...no cumple...pero no sabría explicar porque”

E-21: “...esta mala porque COOH quedan igual como están en el otro lado no se le quita el hidrogeno”

Estas afirmaciones afirman las dificultades que presentan los estudiantes para realizar cálculos estequiométricos y a su vez, la incompreensión del concepto de cambio químico. Estos resultados no son ajenos a los reportados en la literatura, la dificultad para establecer relaciones cuantitativas entre cantidad de sustancia se deben a la naturaleza abstracta de los conceptos de química y los lenguajes propios de esta (Tabares Ospina, 2018).

- **Pregunta 5:** con esta pregunta se pretende reconocer la relación entre pH y acidez, a su vez que los estudiantes reconozcan que uno de los efectos de la lluvia ácida sobre los suelos, es acidificarlos y disminuir su productividad debido a los bloqueos fisiológicos de nutrientes en las plantas. La rúbrica de evaluación para esta pregunta se muestra en la tabla 4-6:

**Tabla 4-6:** Rúbrica de evaluación pregunta 5.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Describe que todas las plantas crecerán, independientemente del líquido que se use para regarla. No responde.	Describe que la planta 1, 2 y/o 4 se ven afectadas por el pH de los líquidos que se usaron para regarlas.	Describe que la planta 3 probablemente no crezca, sin dar explicaciones.	Describe que la planta 3 probablemente no crezca, debido al pH ácido del líquido con el cual es regado.	Describe que la planta 3 probablemente no crezca, o que sus hojas sufran decoloraciones o se muera, debido al pH ácido del líquido con el cual es regado. Las otras plantas probablemente no tengan problema con su crecimiento debido a que las sustancias con las cuales fueron regadas tienen un pH cercano a 7.

Las respuestas que se obtuvieron de esta pregunta son diversas (tabla 4-7), se podría decir que se encuentran divididas de forma equitativa por cada nivel; es decir, la variabilidad de respuestas supone que en su mayoría los estudiantes conocen que la lluvia ácida afecta el crecimiento de las plantas pero en no asocian valores de pH con acidez, y por lo tanto no explican cómo se vería afectado el crecimiento de cada una de las plantas.

**Tabla 4-7:** Resultados de acuerdo a la rúbrica pregunta 5

Nivel	Porcentaje de estudiantes en cada nivel
1	14
2	23
3	23
4	23
5	18

Marquínez (2018) constata que las dificultades de asociar el concepto de pH con la acidez y el crecimiento de las plantas, puede ser atribuido a la falta de comprensión del concepto de pH, es decir, los estudiantes no reconocen que el pH es una medida de la concentración de iones hidronio en una solución y que está relacionado con el nivel de acidez. A esto se le suma, que no pueden crear conexiones entre el efecto del pH y la disponibilidad de nutrientes en el suelo y como estos influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Tales resultados se pueden constatar con las siguientes expresiones:

E-22: “las plantas 1, 2 y 4 seguirán con su crecimiento normal...mientras que la planta con agua y vinagre podría tener una mala reacción sin embargo no creo que afecte su crecimiento”

E-21. “...creo que va crecer rápido o se muere la raíz” no hace referencia a los valores de pH, ni explica que pasará con cada planta.

E-20: “la lluvia ácida tiende a marchitar cultivos por el pH tan bajo, así que entre mas bajo este el pH del agua debido al componente que se le añada puede afectar el crecimiento de esta”

E-19: “la de agua de la llave, creo que no se vería afectada la de agua con azúcar tampoco se vería afectada la de agua con vinagre si ya que al tener vinagre puede hacer que la planta muera...”

E-18: “creo que si el pH no es el adecuado afectaría en su proceso de crecimiento”

E-17: “...la planta 3 se vería afectada por su poco acidez”

E-16: “la planta 1 crecera normalmente, la planta 2 crecera normalmente, la planta 3 se vería afectada por el vinagre... la dañaría por ser tan acido”

E-15: “...la planta 3 se puede acidificar demasiado...dañando su crecimiento”

E-14: “...agua con vinagre si la afecta y el agua con orina la mata”

- **Pregunta 6:** Con esta pregunta se pretende determinar si los estudiantes plantean ecuaciones químicas que describan el fenómeno de la lluvia ácida, teniendo en cuenta la información del grafico e identificando reactivos y productos. La rúbrica de evaluación se muestra en la tabla 4-8:

**Tabla 4-8:** Rúbrica de evaluación pregunta 6.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Describe ecuaciones que no explican el fenómeno de la lluvia ácida. No responde.	Describe los productos formados sin plantear la ecuación química.	Describe una de las ecuaciones que explica el fenómeno de la lluvia ácida.	Describe las ecuaciones de formación de ácido sulfúrico, ácido nítrico y acido nitroso a partir de los óxidos de azufre y nitrógeno, sin tener en cuenta el agua como reactivo.	Describe las ecuaciones de formación de ácido sulfúrico, ácido nítrico y acido nitroso a partir de los óxidos de azufre y nitrógeno; teniendo en cuenta reactivos y productos.

El 73% de los estudiantes responde de forma incorrecta esta pregunta, es decir, no describen las ecuaciones que explican el fenómeno de la lluvia ácida o no responden, tal como se observa en las siguientes expresiones:

E-1, E-3, E-8, E-11, E-13, E-16, E-18, E-20, E-22: “no sé”

E-4: “ $\text{NO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{NSO}_2$ ”

E-9: “...se mezclan las sustancias y se genera lluvia”

E-17: “ $\text{NO}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 \text{H}_2\text{SO}_4$ ”

E-19: “ $\text{NOHNO}_3 \rightarrow \text{SO}_2\text{H}_2\text{SO}_4$ ”

Se observa que aunque algunos estudiantes toman símbolos de sustancias presentes en el gráfico, pero no diferencian los compuestos que la conforman, ni diferencian cuales serían los reactivos y cuales los productos, ni aplican el principio de conservación de la materia. Esto se puede deber a las dificultades que se presentan en el aprendizaje del concepto cambio químico y sus relaciones estequiométricas, enunciadas por los autores Carlos & Pérez (2017); Eliécer et al. (2009); Gabel (1993); Marcano (2010); Obando (2013); Tabares Ospina (2018):

- Confusión de distintas cantidades químicas que se ponen en juego en la resolución de problemas.
  - No comprenden las formulas químicas en términos de partículas y el significado de los subíndices o de los coeficientes estequiométricos.
  - No conservan la masa y los átomos en una reacción química.
- **Pregunta 7:** esta pregunta fue diseñada para cuantificar si los estudiantes comprenden el concepto de cambio químico y además lo relacionan con fenómenos como la formación de la lluvia ácida. La rúbrica de evaluación se muestra en la tabla 4-9:



**Tabla 4-9:** Rúbrica de evaluación pregunta 7.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
<b>Descripción</b>	Describe que el fenómeno de la lluvia ácida ocurre gracias a un cambio físico.	Describe que el fenómeno de la lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico y físico.	Describe que el fenómeno de lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico sin relacionar la formación de nuevas sustancias.	Describe que el fenómeno de lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico que hay en la atmósfera, porque se forman nuevos compuestos.	Describe que el fenómeno de lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico que hay en la atmósfera, ya que se transforman los gases contaminantes en nuevas sustancias, como el ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Tan solo dos estudiantes se encuentran en el nivel 3, es decir explican que para que se forme la lluvia ácida debe haber un cambio químico con formación de nuevas sustancias, tal como lo muestran las siguientes expresiones:

E-21: “el estudiante A está diciendo la verdad porque las está transformando en sustancias”

E-19: “creo que el estudiante A ya que si los gases se transforman en sustancias pues esto sería un cambio químico”

Los estudiantes E-18, E-17 y E-12 sólo mencionan que ocurrió un cambio químico pero no justifican su respuesta, esto se puede deber a que una de las barreras encontradas en la apropiación de este concepto es su naturaleza abstracta y no observable, ya que ocurre a nivel molecular se dificulta explicar que la formación de nuevas sustancias implica la reorganización de átomos y enlaces químicos (Sarmiento Navarrete, 2015).

E-18: “el estudiante A ya que para mi la lluvia acida ocurre debido a un cambio químico”

E-17: “el estudiante A ya que la lluvia acida ocurre por un cambio químico”

E-12: “yo pienso que el A...es por cambio químico”

Por otro lado el 59% de la muestra no diferencia entre un cambio químico y físico, o confunden un cambio físico, como lo es el fenómeno de la lluvia con un cambio químico que origina la lluvia ácida, tal como se observa en las expresiones:

E-22, E-16: “ambos estudiantes tienen la razón”

E-20: “el estudiante B, puesto que el gas contaminante se transforma en la lluvia...”

E.6: “el estudiante B ya que explica que el agua solo cambia de estado gaseoso a líquido”

E-5: “la B contaminación de las empresas y los transporte contamina el aire y después pasa esta liquido”

- **Pregunta 8:** esta pregunta está enfocada a la identificación de técnicas de medición de pH, con la finalidad de que los estudiantes asocien experiencias prácticas con el concepto de pH y propiciar aprendizajes significativos (Tabares Ospina, 2018). La rúbrica que se diseñó para su evaluación se muestra en la tabla 4-10:

**Tabla 4-10:** Rúbrica de evaluación pregunta 8.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Describe que no conoce como cuantificar o medir el pH de una muestra.	Describe una de las alternativas para medir el pH, ya sea cuantitativa o cualitativa.	Describe que el pH se puede medir de forma cuantitativa o cualitativa, sin especificar las técnicas.	Describe que el pH se puede medir de forma cuantitativa, a través de un pH-metro o de forma cualitativa, a través de indicadores de pH.	Describe que el pH se puede medir de forma cuantitativa, a través de un pH-metro o de forma cualitativa, a través de indicadores de pH. Además, tiene en cuenta otras variables como la temperatura, calibración del pH-metro y toma de la muestra.

Los resultados obtenidos en esta pregunta muestran que la mayoría de estudiantes (72%) conocen que hay técnicas para medir el pH. Los estudiantes E-1, E-4, E-11, E-18, E-21 mencionan el pHmetro como instrumento para medir el pH pero no hacen referencia a la recolección de la muestra de agua lluvia:

E-1: "...el pHmetro..." E-4: "con un pHmetro calibrado" E-11: "por medio de un sensor o un pHmetro" E-18: "con el pHmetro" E-21: "tenemos que tener peachimetro"

E-8: "con una remolacha y papel..."

E-22: "pHmetro... otra forma es utilizando un papel especial que dependiendo del pH cambia de color...se puede usar repollo morado"

Cabe desatacar que dos estudiantes E-2 y E-15 describen las técnicas cuantitativas y cualitativas para medir el pH.

E-2: "está la manera cualitativa y la cuantitativa (repollo morado, papel medidor de pH o el pHmetro, respectivamente)"

E-15: "de forma cuantitativa con un sensor para determinar datos exactos,...ya que de forma cualitativa puede no verse diferencia al ser la misma sustancia"

Por otro lado, algunos estudiantes no tienen claro los instrumentos con los cuales se puede cuantificar el pH, como se observa en las siguientes expresiones:

E-3: "5,0 acido 4 esta en la mitad, 3,0 al final..."

E-5: "sacar en un recipiente el agua y la lluvia para poder sacar el pH"

E-7: "primero tener un medidor de pH...si es mayor de 7 es básico y si es menor a 7 es básico"

E-10: "...depende del color que nos de es el pH"

- **Pregunta 9:** esta pregunta se evaluó teniendo en cuenta la rúbrica de la tabla 4-11:

**Tabla 4-11:** Rúbrica de evaluación pregunta 9.

Rubrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Describe que la muestra 1 tiene mayor nivel de acidez gracias a que el valor de pH es el más elevado.	Describe que todas las muestras son ácidas, sin reconocer cuál tiene mayor acidez.	Describe que la muestra 5 tiene mayor acidez.	Describe que la muestra 5 tiene mayor acidez, debido a que el valor de pH se encuentra más cercano a cero.	Describe que la muestra 5 tiene mayor acidez, debido a que la concentración de los iones hidrógeno en esta muestra son más elevados y por lo tanto el valor de pH es el más pequeño.

El 50% de los estudiantes describen que la muestra 1 posee mayor acidez gracias a que el valor del pH es el más elevado, tal como se muestran en las expresiones de los estudiantes:

E-22: “la muestra 1 porque tiene un pH mas elevado”

E-21: “la primera tiene mas pH porque esta muy alto el ácido el agua”

E-17: “la 1 porque el pH después de marca mas de 3,9 es acido”

E-14: “la medida mas acida del pH es la 1 que tiene 5,0”

E-10: “el 5 porque entre mas acidez haya el pH aumenta”

E-9: “5,0 porque es el mas alto”

E-6: “muestra 1, pH 5,0 ya que se muestra en la tabla que tiene una mayor acidez”

E-5: “1 pH 5,0 porque demuestra mucha acidez eleva el pH”

Estos resultados no son ajenos a lo mencionado por Alvarado et al. (2013), quien enuncia que los estudiantes presentan dificultades para comprender la relación inversa entre pH y

grado de acidez; y por lo tanto, no relacionan el pH como medida de concentración de iones hidronio en solución. Al no tener claro este concepto, no comprenden cuando el agua lluvia de una ciudad tiene carácter ácido y cómo medirlo.

- **Pregunta 10:** Esta pregunta pretende reconocer si los estudiantes comprenden los efectos de la lluvia ácida en lagos, ríos y las especies que allí habiten. Basso y Lorenzo (2018) describe que la acidificación de los cuerpos de agua provoca que las especies que allí habitan disminuyan su población, debido a la falta de reproducción y mortandad. Además, se produce una disminución de la diversidad de especies afectando la cadena alimentaria.

**Tabla 4-12:** Rúbrica de evaluación pregunta 10.

Rúbrica					
Nivel	1	2	3	4	5
Descripción	Describe que no encuentra una explicación a la muerte de los peces.	Describe que la hipótesis planteada por el propietario del lago es cierta, sin explicar la muerte de los peces. Además, no plantea alternativas para corroborar la hipótesis planteada.	Describe que la hipótesis planteada por el propietario del lago es cierta, sin explicar la muerte de los peces. Plantea que se puede medir el pH del agua del río para determinar su acidez.	Describe los efectos de la lluvia ácida sobre el lago, mencionando que el agua se pudo acidificar, y causar la muerte de los peces. Además, plantea que se puede medir el pH del agua del lago.	Describe los efectos de la lluvia ácida sobre el lago, mencionando que el agua se pudo acidificar, afectando la cadena alimenticia de los peces, y su posterior muerte. Además, plantea que se puede medir el pH del agua del lago y del agua lluvia, para determinar el nivel de acidez presente.

El 68% de los estudiantes no tienen la habilidad de explicar si la hipótesis planteada por el propietario del lago es cierta. Algunos proponen que es cierta la hipótesis sin justificación científica. De esta forma se demuestra que los estudiantes desconocen los efectos de la

lluvia ácida sobre un cuerpo de agua, a su vez, no usan aprendizajes de otras áreas para dar explicación al fenómeno. Las expresiones encontradas que afirman lo descrito se muestran a continuación:

E-19: “creo que la hipótesis esta bien ya que las lluvias acidas pueden haber afectado el lago y haberlo contaminado”

E-16: “no tengo idea” E-10: “no sé”

E-9: “no es cierto porque las lluvias acidas no tienen que ver con los alimentos de los peces”

Por otro lado, el 23% de los estudiantes plantea como cierta la hipótesis del propietario del lago y a su vez proponen medir el pH como estrategia para comprobar su veracidad. A continuación se exponen algunos de los enunciados escritos por los estudiantes:

E-22: “...puede que los peces hayan tenido una intoxicación. Se supone que entre menor sea el pH mejor es el agua”

E-21: “tiene que mirar si el agua no esta acida y mirar cuanto tiene de pH”

E-14: “yo ayudaría a los propietarios de Tuluá tomando muestra de pH y luego llevarlas a un laboratorio”

E-3: “medir el pH del lago”

E-1: “que su hipótesis es verdadera, se podrían tomar las muestras de agua y medir su pH”

#### **4.1.2 Análisis del pretest de acuerdo a los ejes temáticos**

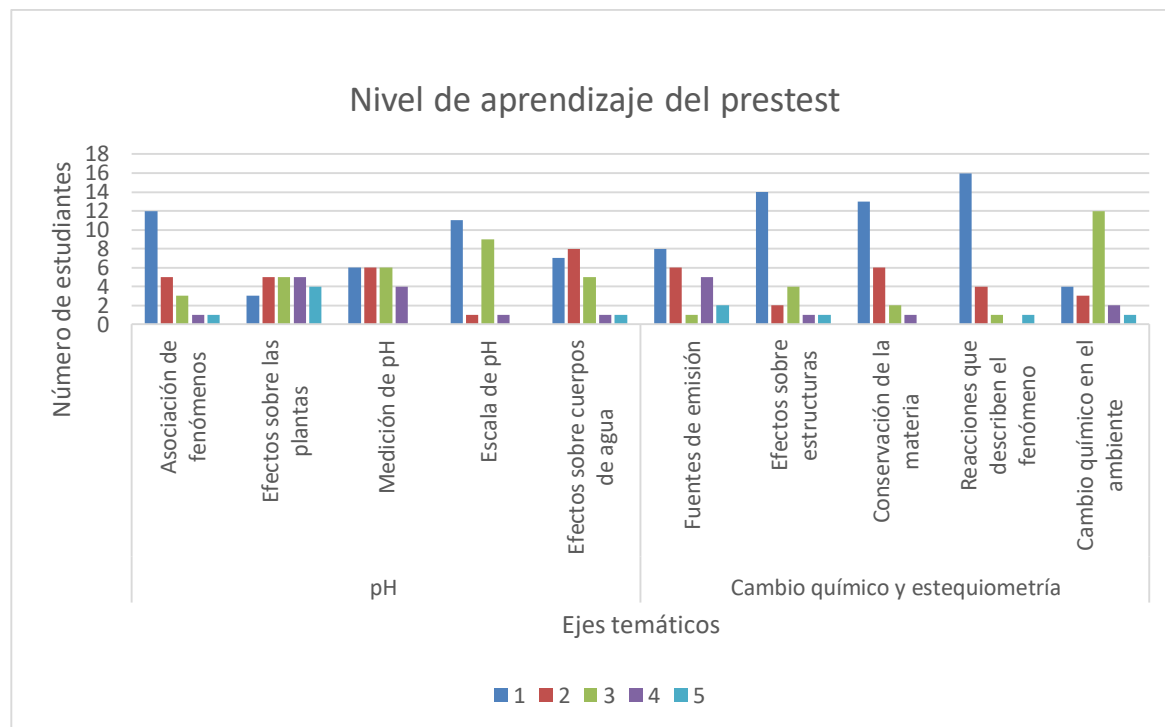
El pretest diseñado se dividió en dos ejes temáticos, pH y cambio químico-estequiometría, con la finalidad de analizar con mayor precisión los conceptos necesarios para explicar el fenómeno de la lluvia ácida. Los datos obtenidos al analizar el instrumento de valoración de ideas previas, se muestran en la matriz de datos de la tabla 4-13. Cada pregunta fue valorada mediante una rúbrica, la cual permitió categorizar cada respuesta, teniendo en cuenta el uso de palabras, uso de conceptos y la explicación del fenómeno de lluvia ácida.

**Tabla 4-13:** Matriz de datos obtenida del análisis de las ideas previas de los estudiantes.

Matriz de datos										
Clasificación de las preguntas										
Eje temático	pH					Cambio químico-estequiometria				
Pregunta	3	5	8	9	10	1	2	4	6	7
ESTUDI ANTE	Asociación de fenómenos	Efectos sobre las plantas	Medición de pH	Escala de pH	Efectos sobre cuerpos de agua	Fuentes de emisión	Efectos sobre estructuras	Conservación de la materia	Reacciones que describen el fenómeno	Cambio químico en el ambiente
1	1	2	2	3	3	2	3	2	1	1
2	5	5	4	4	4	5	3	4	2	2
3	2	2	1	1	2	1	2	1	1	3
4	4	5	2	3	2	4	1	2	1	3
5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
7	2	3	3	3	1	4	1	3	3	4
8	2	3	2	1	2	2	1	1	1	3
9	1	2	1	1	1	4	2	1	1	3
10	1	2	2	1	1	1	1	1	2	3
11	1	4	3	3	3	4	1	2	1	5
12	1	3	3	1	2	2	3	1	2	3
13	1	3	2	2	1	1	3	3	1	3
14	1	3	1	1	2	1	1	1	1	3
15	1	5	4	3	5	5	4	1	5	4
16	3	5	4	3	1	3	5	1	1	2
17	2	4	1	1	2	1	1	1	1	3
18	1	1	3	3	2	2	1	2	1	3
19	3	4	3	3	3	2	1	1	1	3
20	3	4	3	3	3	4	1	1	1	1
21	1	1	2	1	3	1	1	2	1	3
22	1	4	4	1	2	2	1	2	1	2

La figura 4-1 muestra el nivel de aprendizaje inicial que tenían los estudiantes en cada una de las categorías, se observa que más del 50% de los estudiantes no tiene claro los conceptos de pH, cambio químico y estequiometria. Además, se puede analizar que la categoría reacciones químicas que describen el fenómeno de lluvia ácida, efectos de la

lluvia ácida sobre estructuras, conservación de la materia y asociación del fenómeno de la lluvia ácida con la respiración son los que en el menor nivel de aprendizaje se encuentra. Por otro lado, se puede analizar que menos del 5% de los estudiantes tiene claro los conceptos que explican y describen el fenómeno de la lluvia ácida.



**Figura 4-1:** Nivel de aprendizaje previo de los conceptos de pH, cambio químico y estequiometría.

Estadísticamente mediante un análisis inferencial de la confiabilidad de los datos, se encontró que el alfa de Cronbach es de 0,831, valor mayor a 0,7, lo cual indica que los datos son fiables y guardan una consistencia entre sí (tabla 4-14).

**Tabla 4-14:** Estadísticos de fiabilidad.

Alfa de Cronbach	Número de elementos
0,831	10

Para el diseño de la estrategia didáctica se hace necesario evaluar si existen diferencias significativas entre los ejes temáticos pH y cambio químico-estequiometría, por tal motivo se planteó una prueba t-student, con las siguientes hipótesis:



$H_0: \mu = \mu_0 \therefore$  No existe diferencia entre los ejes temáticos

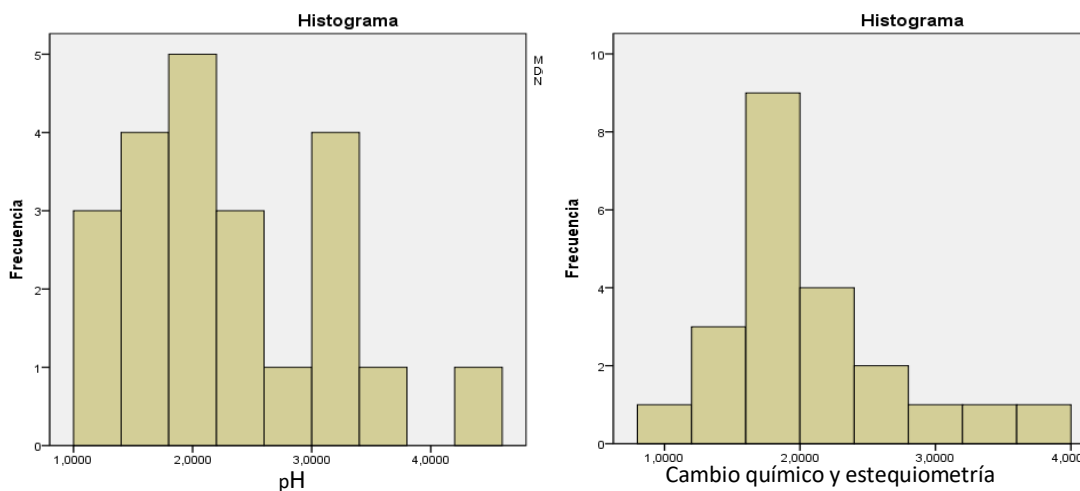
$H_A: \mu \neq \mu_0 \therefore$  Existen diferencias entre los ejes temáticos

Con un nivel de significancia del 5% no existen diferencias en las ideas previas de los estudiantes entre los conceptos cambio químico, estequiometría, lluvia ácida. Por lo tanto, la unidad didáctica diseñada hará énfasis en todos los dos ejes temáticos por igual. Esto se debe a el p valor es mayor al 5% ( $0,214 > 0,05$ ), se acepta la  $H_0$ . Los resultados se muestran en la tabla 4-15.

**Tabla 4-15:** Test T de diferencias medias para los ejes temáticos del pretest.

	Eje temático pH	Eje temático cambio químico-estequiometria
<b>Media</b>	2,2818	1,982
<b>s</b>	0,8764	0,687
<b>N</b>	22	22
<b>ES</b>	0,2374	
<b>Glib</b>	39,7344	
<b>t</b>	1,2628	
<b>P</b>	0,214	

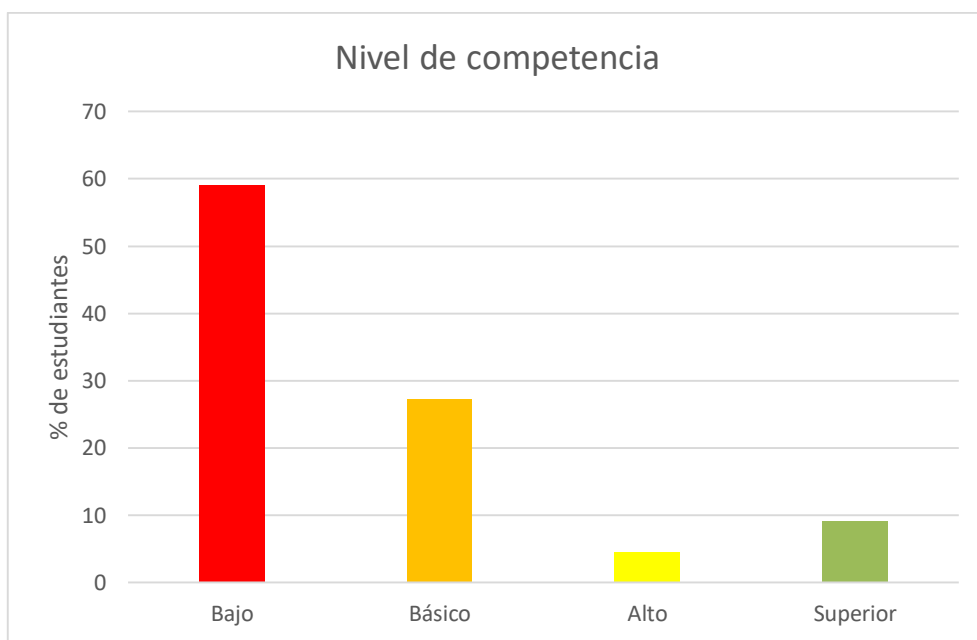
Tal como se observa en la figura 4-2, se hace necesario enfatizar en ambos ejes temáticos en la unidad didáctica, ya que los estudiantes aún no han logrado aprendizajes significativos que impliquen una aplicación de estos conceptos científicos en su contexto.



**Figura 4-2:** Diagrama de frecuencias a) Eje temático pH y b) Eje temático cambio químico-estequiometria.

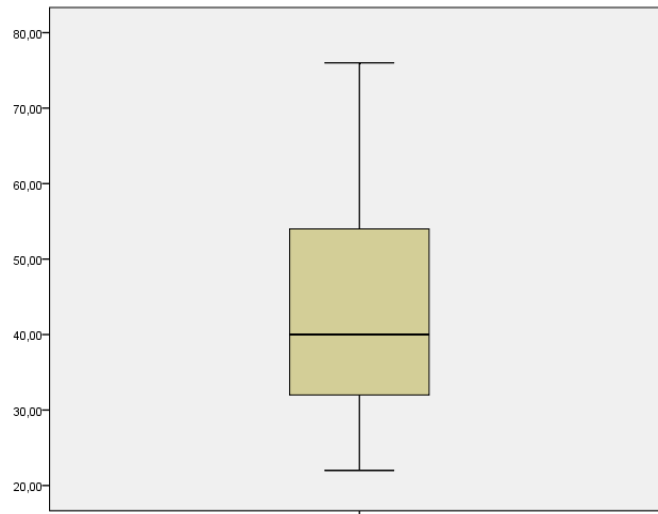
### 4.1.3 Análisis del pretest de acuerdo al nivel de desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos

Teniendo en cuenta la información anterior, se determinó el nivel de desarrollo de la competencia científica: explicación de fenómenos. Se encontró que más de la mitad de los participantes del estudio (59%) no tienen la habilidad para analizar y resolver problemas relacionados con la lluvia ácida, tal como se muestra en la figura 4-3.



**Figura 4-3:** Nivel de competencia de los estudiantes según el pretest.

Por otro lado, se obtuvo que los estudiantes E-2 y E-15, que representan el 9% de la muestra ha desarrollado la competencia científica y se encuentra por fuera de la media aritmética del grupo de estudio (figura 4-4). Además, de acuerdo al diagrama de cajas se observa que la distribución no es simétrica con cola hacia la izquierda, es decir que la mayoría de la población se encuentra en el nivel bajo de la competencia.



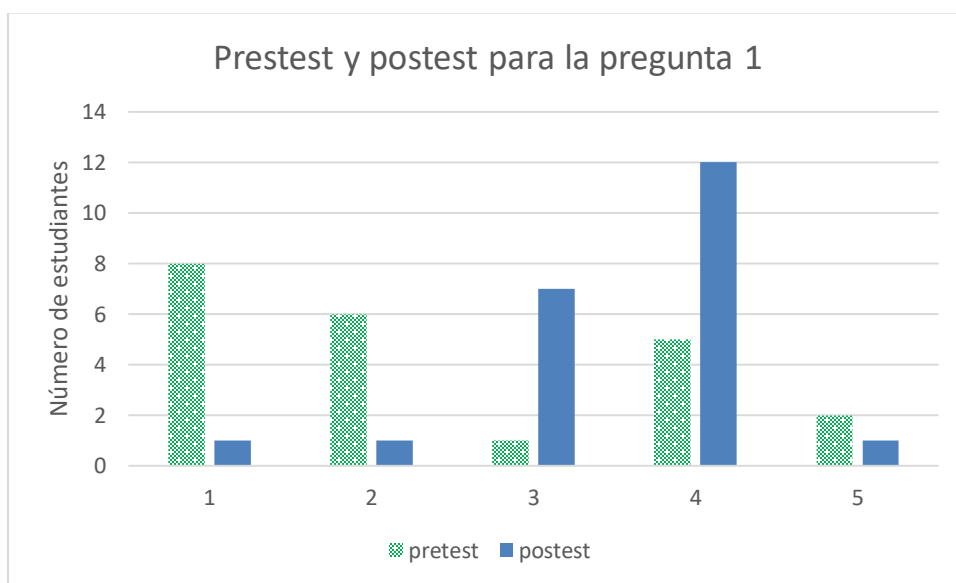
**Figura 4-4:** Diagrama de cajas del nivel de competencia de pretest.

## 4.2 Análisis de resultados postest

Al igual que en el pretest, el análisis de los saberes adquiridos y la competencia desarrollada en los estudiantes han sido codificados a través de la letra E y un número aleatorio; de tal forma que, E-1 significa estudiante 1, E-2 estudiante 2, y así sucesivamente. Las respuestas de los estudiantes se analizaron de forma cualitativa y cuantitativa, la cuantitativa consto de una categorización en rúbricas con una escala de 1 a 5 en función del grado de comprensión del concepto y desarrollo de la competencia; así mismo, de forma cualitativa se analizaron las respuestas de acuerdo a la frecuencia de mención. Este análisis se encuentra dividido en tres momentos, inicialmente se tendrán en cuenta las respuestas de cada pregunta de acuerdo con la rúbrica de evaluación propuesta y se complementa con el análisis cualitativo de las respuestas escritas por los estudiantes; posteriormente se analizarán los ejes temáticos base para explicar el fenómeno de la lluvia ácida y finalmente se analizarán el nivel de competencia que tienen los estudiantes de acuerdo a la matriz de datos obtenida del postest.

### 4.2.1 Análisis por pregunta del postest

- **Pregunta 1:** se puede analizar que el 90% de los estudiantes explican las fuentes de contaminación que originan el fenómeno de la lluvia ácida, es decir, pasaron de creer que la lluvia es ácida por sí misma o por la contaminación, a explicar diversos orígenes de los gases contaminantes (figura 4-5). Es interesante destacar que la estudiante E-3 y E-9 mencionan una fuente de contaminación de su entorno, que se observa en el Valle del Cauca, la quema de los cultivos de caña.



**Figura 4-5:** Resultados pretest y postest para la pregunta 1.

Algunas de las menciones que evidencian lo anterior son:

E-1: “proviene normalmente de los gases emitidos por las grandes industrias, por la quema de los combustibles en los autos, por las erociones de los volcanes; que es de manera natural”

E-3: “de las industrias, de la quema de caña, del humo que botan los automóviles”

E-7: “de las fábricas, de los gases que generan los automóviles cuando se genera la quema de la gasolina para que el motor funciones”

E-8: “proviene de las fábricas y del uso de combustible de los autos”

E-9: “del humo de las chimeneas, de los carros, buses, de la quema de caña”

E-10: “por la quema de combustibles fósiles vienen los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno”

E-11: “estos óxidos vienen de las industrias y de la quema de combustibles fósiles como la gasolina”

E-14: “el óxido de azufre y los óxidos de nitrógeno se producen del humo que generan las empresas o también lo pueden generar los carros”

E-18: “de la contaminación producida por los gases y combustibles”

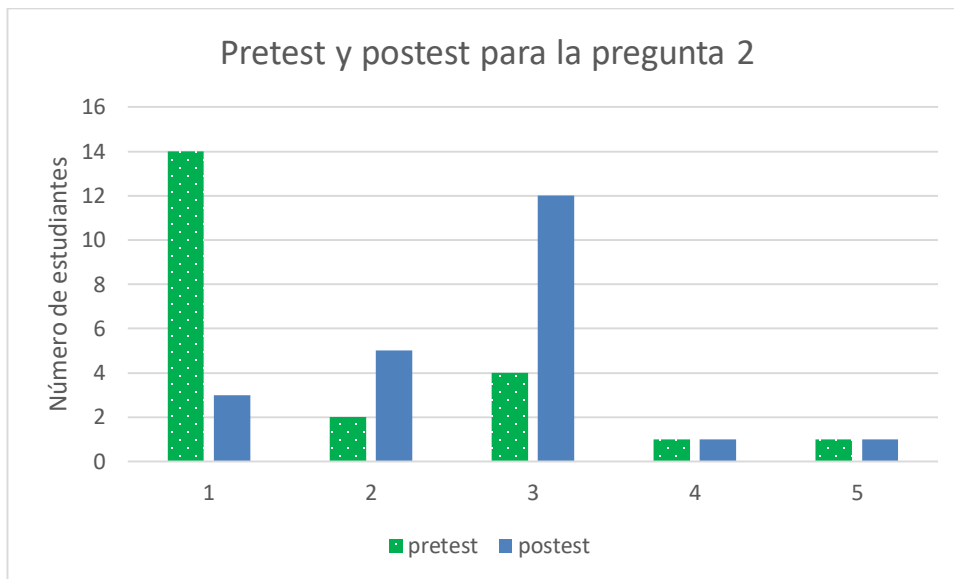
E-19: “por los gases contaminantes que se provocan al hacer uso del combustible”

E-22: “de la contaminación industrial, dichos (gases) óxidos provienen de la quema de algunos gases y compuestos químicos provenientes de fábricas o al prender automóviles”

Por otro lado, aunque el estudiante E-5 contextualizó mejor las fuentes que originan la lluvia ácida, aun la atribuye a la contaminación en general, no asocia una reacción química como origen de la lluvia ácida.

E-5: “de las empresas, de los combustibles de los automóviles y generación eléctrica”

- **Pregunta 2:** se observa que los estudiantes pasaron de creer que no le ocurría nada a la tiza al ser sumergida en el vinagre, a interpretar que la tiza disminuirá su masa, como lo muestra la figura 4-6. En su mayoría aun no asocian que la disminución de la masa se debe gracias a un cambio químico y que este es uno de los efectos de la lluvia ácida sobre superficies.



**Figura 4-6:** Resultados pretest y posttest para la pregunta 2.

Algunas menciones que hacen referencia a esta pregunta son:

E-4: “la masa de la tiza debe ser menor ya que el vinagre tuvo que haberla empezado a corroer”

E-8: “será menor ya que está perdiendo masa por la acidez”

E-10: “se verá afectada porque el vinagre es ácido creo que será menos masa”

E-11: “será menor ya que la tiza se está como derritiendo por decirlo así”

E-13: “creo que la tiza se deshace en el vinagre quedaría líquida ya que el pH del vinagre es ácido”

E-19: “no será la misma ya que está al estar una noche sumergida en vinagre pues se desintegra y debido a esto pierde masa”

E-20: “se espera que la masa de la tiza disminuya puesto que el vinagre es un ácido que a pesar de no ser tan fuerte sigue siendo ácido, así que en teoría debe haber desintegrado aunque sea un poco la tiza”

E-21: “por lo que tengo entendido como el vinagre es acido cuando se sacó tuvo 0,8 gramos”

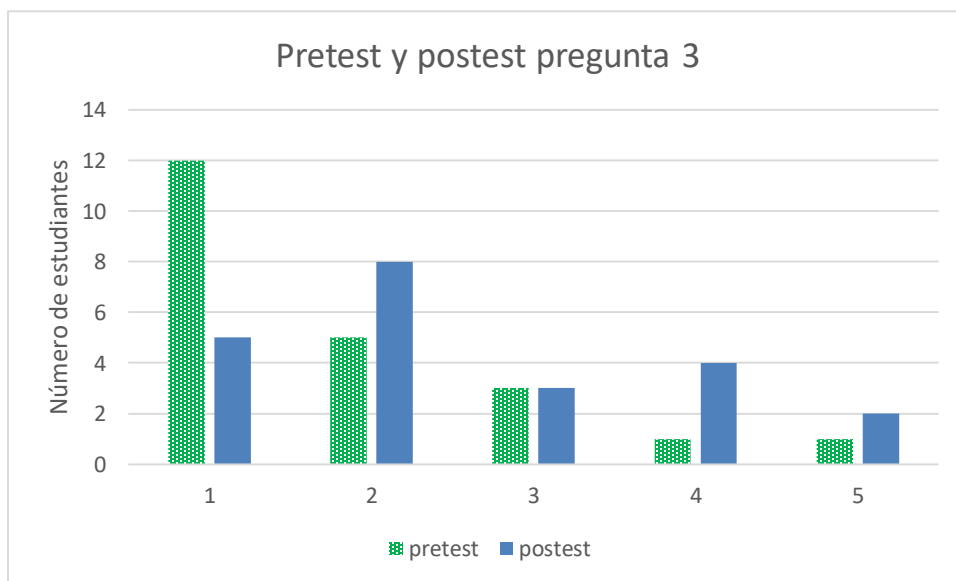
Por otro lado, los estudiantes E-1 y E-2, hacen mención que la tiza disminuye su masa gracias a la ocurrencia de una reacción química entre el vinagre y el carbonato de calcio. Y el estudiante E-16 asocia lo que le ocurre a la tiza con los efectos de la lluvia ácida.

E-1: “la masa de la tiza parcialmente haya disminuido por la reacción química que sucedió toda la noche (el carbonato de calcio y el vinagre que es acido)”

E-2: “la masa sería menor a la que tenía inicialmente, debido a que el ácido acético (vinagre) está reaccionando con el material del que está hecha la tiza (carbonato de calcio) y básicamente la está corroyendo y hace que se desgaste la tiza”

E-16: “dado que el vinagre es una acido la tiza se disolvería, no completamente, pero si parcialmente por el efecto corrosivo del vinagre acido, esto explica bien el efecto que tiene la lluvia acida en los techos y como los deteriora”

- **Pregunta 3:** en los presaberes el 55% de los estudiantes no explicaban o no respondían correctamente la pregunta. En el postest se evidencia que logran identificar que el pH del tubo de ensayo será menor que 7, como se observa en la figura 4-7.



**Figura 4-7:** Resultados pretest y postest para la pregunta 3.

El 36% de los estudiantes explican que el pH de tubo de ensayo será inferior a 7, sin realizar explicaciones del fenómeno que ocurre, como se observa en lo enunciado por los estudiantes E-1, E-2 y E-13:

E-1: “el pH que debe dar tiene que ser menor a 7”

E-3: “el pH se encuentra por debajo de 7 o sea que es ácido”

E-12: “yo pienso que el pH de esta sería 6.5, 5.0, 5.5, 5.8 porque si es similar el proceso de la lluvia ácida debería de dar eso, según yo puede ser por las burbujas que al mezclarse con el dióxido del aire pues pasa esto”

El 13% le añade a sus la explicación el término acidez y el 27% relaciona la transformación del dióxido de carbono (generado en la respiración) en ácido carbónico, con el fenómeno de la lluvia ácida, como se observa en las menciones:

E-2: “al estudiante soplar o exhalar aire, básicamente estaría expulsando  $\text{CO}_2$  por lo que las condiciones son similares a las de la formación de ácido carbónico en condiciones “naturales” y si en este proceso se forma lluvia levemente ácida, en el experimento se esperaría un pH cercano a 5”

E-4: “al soplar está generando dióxido de carbono y al mezclarse con el agua, esta prácticamente se vuelve lluvia ácida por lo cual el pH sería aproximadamente 6”

E-7: “porque al soplar por el pitillo le introducimos dióxido de carbono al agua lo que la vuelve un ácido carbónico, un pH de 6 o 5”

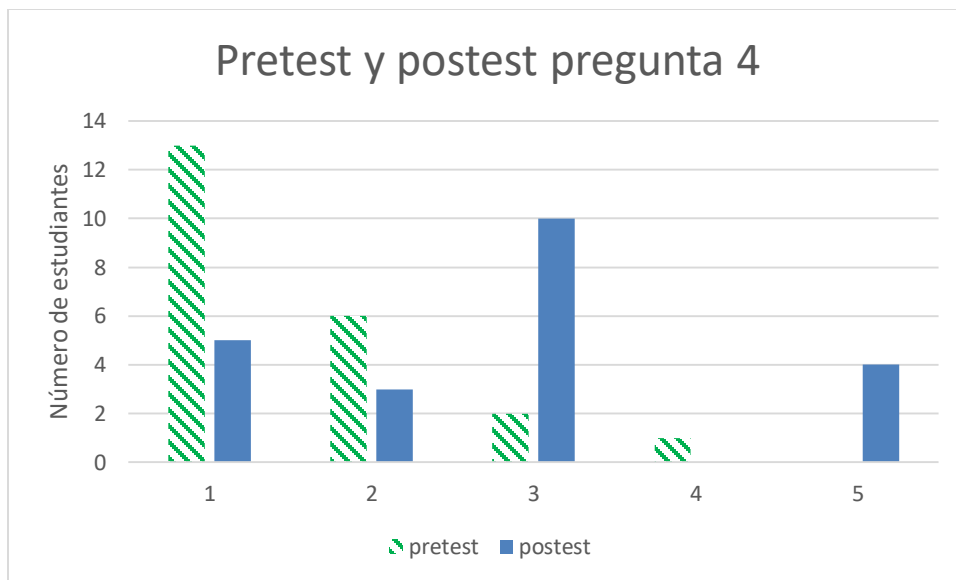
E-16: “la acción que realiza el estudiante esta simulando el efecto de formación de ácido carbónico en la lluvia, esto por el dióxido de carbono que le agrega soplando en la muestra. Se esperaría que el nivel de pH de este tubo fuera ligeramente ácido, algo como 6.9-6.98 en la escala de pH”

E-22: “se espera un pH ácido porque el chico soplo exhalamos el aire que sale es dióxido de carbono por lo que hace un proceso y un efecto similar al de la lluvia ácida”

- **Pregunta 4:** en el pretest el 86% de los estudiantes no tienen claridad a que se refiere la ley de la conservación de la materia, y por lo tanto no pueden explicar si la ecuación



se encuentra balanceada. En el postest este porcentaje disminuyó al 36%, como se observa en la figura 4-8:



**Figura 4-8:** Resultados pretest y postest para la pregunta 4.

Se evidenció que los estudiantes E-2, E-7, E-15 y E-16 explican que la ecuación no cumple con la ley de la conservación de la materia, teniendo en cuenta la cantidad de átomos de productos y reactivos, y a su vez asigna los coeficientes estequiométricos necesarios para que la ecuación se encuentre balanceada. Tal como se muestra en las respuestas:

E-2: “no esta balanceada, aquí su balanceo correcto  $2CH_3COOH + CaCO_3 \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + H_2O + CO_2$ ”

E-7: “no cumple ya que en el producto hay mas C, H y O que en el reactivo, la formula correcta sería  $2 CH_3COOH + CaCO_3 \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + H_2O + CO_2$ ”

Por otro lado, el 45% de la población explica que la ecuación no cumple con la conservación de la materia porque la cantidad de producto y reactivos no es igual, pero no asignan coeficientes estequiométricos, tal como se observa a continuación:

E-9: “la ecuación esta mal porque hay mas masa en los productos que en los reactivos”

E-11: “no porque hay mas masa en los productos que en los reactivos”

E-12: “no cumple con la conservación de la materia porque el producto tiene mucho mas que el reactivo y se supone debe estar balanceado”

E13: “yo creo que la propuesta de los estudiantes no cumple porque no esta balanceada”

E-16: “no cumple la ley de la conservación de la materia ya que esta fórmula no esta balanceada”

E-19: “yo creo que no, ya que no esta balanceada”

E-20: “no, ya que la ecuación no esta balanceada, por lo tanto es errónea”

E-22: “la ecuación no cumple con las leyes de conservación porque no está bien balanceada. No hay reactivo igual a producto”

- **Pregunta 5:** el pretest indicaba que en su mayoría los estudiantes conocían que la lluvia ácida afecta el crecimiento de las plantas, pero no asociaban valores de pH con acidez, y por lo tanto no explican cómo se vería afectado el crecimiento de cada una de las plantas. El en postest se evidencia que el 36% de los estudiantes explica que la planta 3 probablemente no crezca, debido al pH ácido del líquido con el cual fue regado, ver figura 4-9:

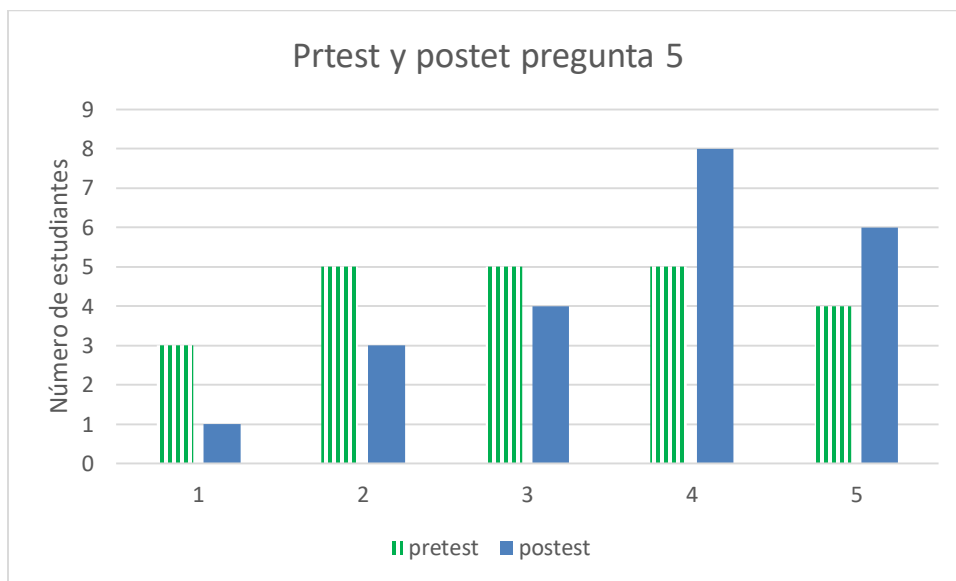


Figura 4-9: Resultados pretest y postest para la pregunta 5.

Además, se observa que los estudiantes en el postest están en la capacidad de explicar y relacionar el crecimiento de cada una de las plantas con el pH de los líquidos que se usaron

para regarlas, identificando pH ácido, pH neutro y en algunos casos pH básico, tal como se muestra a continuación:

E-2: "1. Agua llave: crecimiento totalmente normal. 2. Agua con azúcar: crecimiento normal. 3. Agua con vinagre: seguramente la planta morirá a los pocos días debido al pH tan bajo (y por tanto, ácido) del vinagre. 4. Agua con orina: crecimiento normal a moderadas cantidades de orina le ayudaría a crecer"

E-3: "la primera no le pasara nada ya que esta en el pH neutro, en la segunda puede que tampoco le pase algo, puede que la planta 3 muera ya que esta en el pH ácido, la 4 puede ser que se seque con el tiempo"

E-4: "1 crecería normalmente, sin alteraciones. 2 crecería un poco más rápido por los nutrientes del azúcar. 3 crecerá más lento o probablemente se marchitará. 4 su crecimiento será el más rápido por los nutrientes que contiene la orina"

E-6: "la planta regada con agua con vinagre no se desarrolle muy bien debido a que por ser muy ácida quemaría sus hojas, raíces, etc a diferencia de las otras 3"

E-7: "la planta número 3 sería la más afectada ya que fue regada con un ácido y esto la corroe, a las demás creo que nos les afectara su crecimiento"

E-8: "...agua con vinagre puede matar la mata porque tiene mucha acidez"

E-10: "la planta 3 se va a ver más afectada por su pH que es muy ácido y su crecimiento será más lento"

E-16: "la planta número 1 no se vería afectada ya que fue rociada con agua normal, su crecimiento seguirá igual (sin afectación). La planta número 2 no se vería afectada de mal manera, es más, creo que el azúcar que se le adiciona al agua puede ayudar. La planta número 3 se vería afectada por el agua con vinagre, debido a que esta misma presenta un pH ácido dañaría a la planta, su crecimiento se vería afectado por el ácido, y se marchitarían sus hojas"

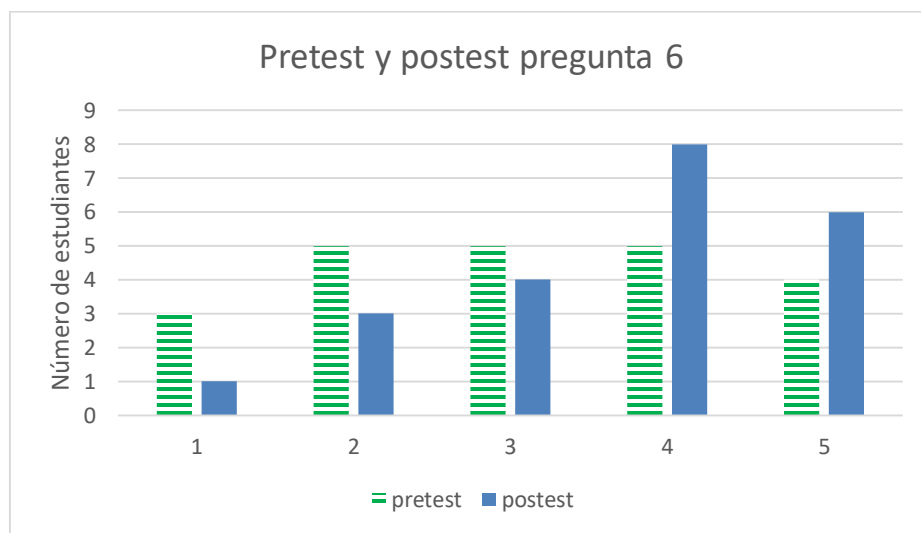
E-19: "yo creo que en la 1 no se vería afectada ya que tiene un pH neutro, en la 2 tampoco por lo mismo, en la 3 si creo que se vería afectado ya que tiene un pH ácido y esto puede dañar la planta "

E-20: “con las plantas 1 y 2 se vería buen crecimiento de las plantas, ya que su pH se mantiene en un estándar neutro, y lo más probable es que la planta 3 se marchite y muera, puesto que el agua con vinagre es un ácido”

E-22: “el crecimiento de la planta 3 podría verse afectado por el vinagre ya que tiene un pH ácido”

Cabe resaltar, que aún persisten las dificultades de asociar el concepto de pH como medida de la concentración de iones hidronio en solución, como lo afirma Marquínez (2018).

- **Pregunta 6:** de esta pregunta se destaca que el 73% de los estudiantes pasaron de responder “no sé” a expresar las ecuaciones que describen la formación del ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido nitroso a partir de los óxidos de azufre y nitrógeno. Tal como se muestra en la figura 4-10:



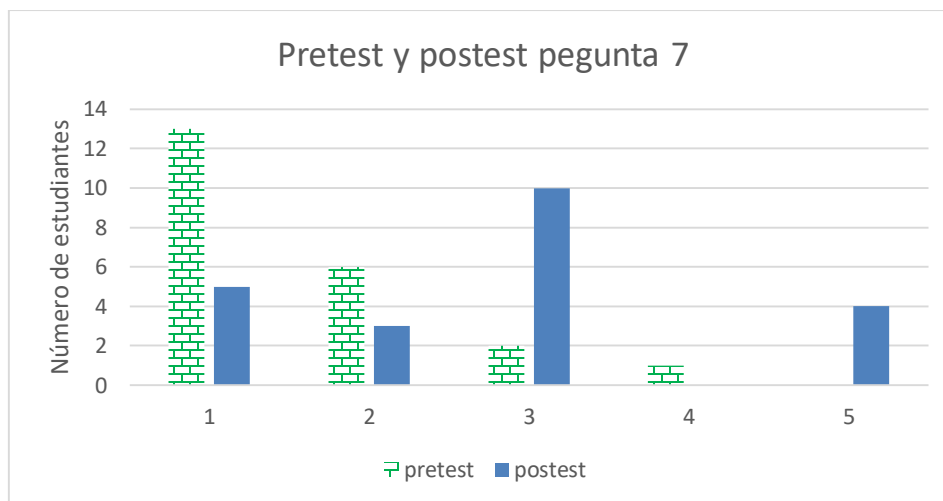
**Figura 4-10:** Resultados pretest y postest para la pregunta 6.

Las menciones que así lo demuestran se enuncian a continuación:

E-20, E-19, E-18, E-17, E-15, E-14, E-11, E-10, E-9, E-8, E-7, E-4, E-3, E-2 y E-1:  
“ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$        $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$ ”

- **Pregunta 7:** inicialmente se contaba con que un 59% de los estudiantes no diferenciaba entre un cambio químico y físico, o confundían un cambio físico, como lo

es el fenómeno de la lluvia con un cambio químico que origina la lluvia ácida. Después de aplicada la unidad didáctica, se encuentra que el 45% de los estudiantes reconocen que debe ocurrir un cambio químico para que se forme la lluvia ácida (figura 4-11).



**Figura 4-11:** Resultados pretest y postest para la pregunta 7.

Las expresiones que usan los estudiantes para explicar su respuesta son:

E-5: “el que tiene la razón es A ya que son una transformación química”

E-6: “el estudiante A ya que solamente el cambio de estado del agua no es suficiente para provocar la lluvia acida, para esto se necesita lo que explica el estudiante A”

E-8: “el estudiante A tiene razón ya que todos los gases que se producen forma una reacción y un producto y este proviene la lluvia ácida”

E-11: “el estudiante A ya que la lluvia acida se forma por la reacción química que se genera cuando estos gases entran en contacto con la lluvia que se encuentra en las nubes”

E-14: “es la A ya que ocurre gracias a un cambio químico ya que los gases se están transformando en otras sustancias”

E-16: “el estudiante A tiene la razón, ya que los gases contaminantes y el agua reaccionan en otros compuestos generando lluvia acida, el estudiante B solo está explicando cómo se da la lluvia normal”

E-19: “yo creo que el estudiante A, ya que la lluvia acida ocurre por gases contaminantes y esto lo que hace es transformarse en sustancias, por lo cual es un posible cambio químico”

Por otro lado, cuatro estudiantes desarrollaron la capacidad de explicar porque ocurre un cambio químico involucrando la formación de nuevas sustancias, como se observa a continuación:

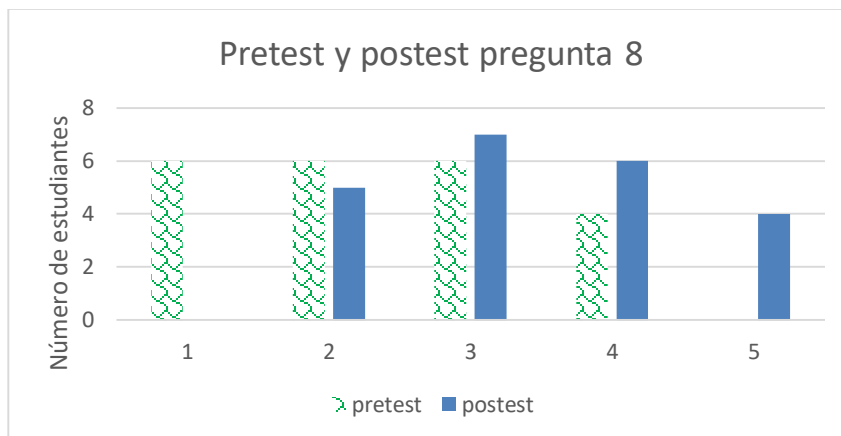
E-1: “el estudiante A, porque se hace un cambio químico al mezclarse el agua con el óxido de azufre y de nitrógeno, lo que genera la lluvia acida”

E-2: “el estudiante A está en lo cierto, pues básicamente la lluvia ácida es una reacción química en la que se “juntan” los gases/emisiones nocivos con las partículas del vapor de agua ( $H_2O$ ), formando así  $HNO_3$ ”

E-7: “el estudiante A ya que al juntarse el agua con los gases generados por autos, fabricas, se transforman en otra sustancia que se llama ácido sulfúrico, ácido nítrico y acido nitroso”

E-20: “el estudiante A, ya que lo único que para mí cambia es su ecuación química, puesto que se le agrega el ácido y esto lo convierte en un cambio químico”

- **Pregunta 8:** al analizar esta se pregunta, se observa que la totalidad de los estudiantes reconocen que hay diversas formas de cuantificar el pH en una sustancia. Es por esto, que se podría afirmar que la práctica de medir pH con un sensor programado en Arduino fue significativa para los estudiantes y permitió la apropiación de las técnicas de medición de pH (figura 4-12).



**Figura 4-12:** Resultados pretest y posttest para la pregunta 8.

Algunas de las menciones que demuestran un aprendizaje significativo son:

E-3, E-5, E-8, E-9, E-10 y E-11: enuncian que con “pHmetro, repollo morado, papel indicador”

E-2: “las puede medir con un pHmetro, que te da los valores cuantitativos exactos, y también de manera cualitativa con el papel medidor de pH y el repollo morado, que cambia de color dependiendo del pH”

E-7: “si cuenta con un pHmetro debe sumergir el pHmetro en la muestra y le arroja el pH de la muestra, si no cuenta con pHmetro puede usar agua de repollo morado, echarle un poco de agua de repollo morado a la muestra y este tendrá un color el será su pH o también puede utilizar papel indicador con la muestra también cambia de color”

E-13: “deben plantear un lugar para tomar la muestra, después pueden determinar el pH con el pHmetro o repollo morado si no tienen pHmetro”

E-15: “cuantitativamente con un sensor de pH o pHmetro para tener valores numéricos exactos y poder comparar si es lluvia acida o no, ya que de forma cualitativa no sería exacto”

E-17: “coger cada muestra y medirla con el pHmetro”

E-20: “existe el método cuantitativo (el que utiliza números o cifras) y el cualitativo (el que se determina por cambios a vista humana). Para mí, lo mejor que pueden usar es el cuantitativo, ya que el pHmetro maneja cifras más exactas”

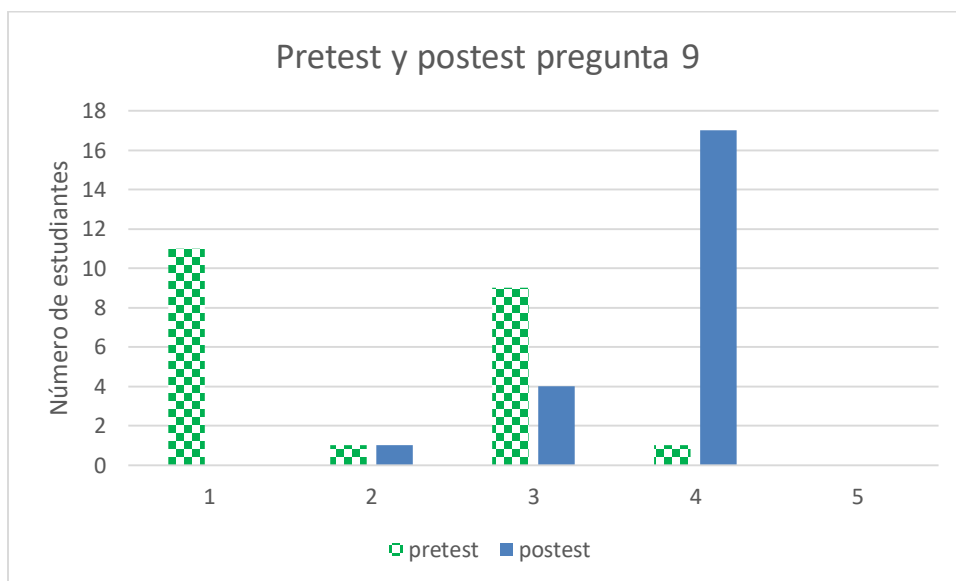
E-22: “ponerlos en recipientes iguales y poner la misma cantidad de agua, después con la ayuda de un pHmetro medir el pH, si no hay con la ayuda del repollo morado puede medirlo, si su pH es menor a 7 es ácido”

Es importante destacar, el hecho de que algunos estudiantes muestran conocimientos en el procedimiento adecuado para la toma de las muestras como:

E-16: “se debe llevar a cabo todo el proceso de muestreo, primero se determina la fuente (lugar de recolección de muestras), luego se embotella la muestra, después de esto se rotula la muestra con la información necesaria (fecha, hora y lugar), se refrigera la muestra y después de todo esto se mide el pH. Se prepara el pHmetro, se lava bien con agua y se introduce en la muestra por 10 segundos”

E-19 y E-20: “lo primero que deben hacer es seleccionar el punto de muestreo, luego tomar la muestra y con el pHmetro analizar los resultados”

- **Pregunta 9:** se analiza que ningún estudiante manifiesta que la muestra 1 posee mayor acidez, es decir, que los estudiantes lograron asociar la relación inversa entre el pH y la acidez de una sustancia (figura 4-13).



**Figura 4-13:** Resultados pretest y postest para la pregunta 9.



De igual forma, ningún estudiante explica que una mayor acidez está relacionada con la concentración de los iones hidrogeno. El 77% de los estudiantes reconoce que la muestra 5 tiene mayor acidez, debido a que el valor de pH se encuentra más cercano a cero, tal como lo mencionan en sus respuestas:

E-1: "la que tiene mayor acidez es la muestra 5 ya que es el numero más bajo, y a escala de pH nos dice que es el más acido"

E-2: "de 1 a 6 las sustancias son consideradas acidas, y entre menor sea le número del pH (en este rango), mayor acido va ser, así que la sustancia o muestra mas acida es 5, con 3,0 de pH"

E-7: "la muestra número 5 porque los pH menores a 7 son ácidos y entre mas bajo sea el valor de pH mas alta será su acidez"

E-9: "muestra 5 porque entre más bajo es mas acido"

E-10: "la muestra 5 que es 3,0 ya que de 0 a 7 es ácido"

E-14: "la muestra mas acida es de 3,0"

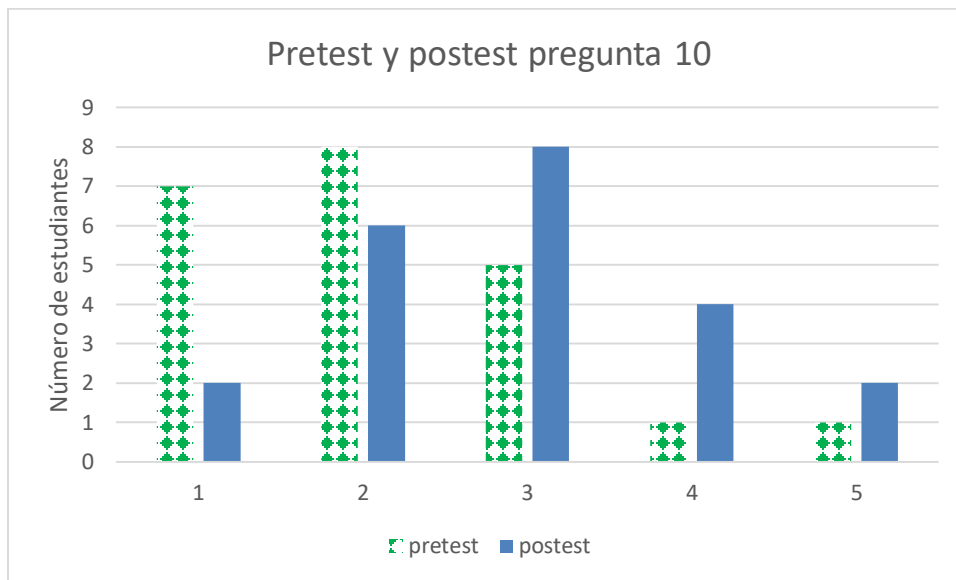
E-17: "la muestra 5 porque tiene el pH en 3,0 y un pH acido es menos que 7"

E-18: "5 pues el pH de esta muestra es muy bajo, y entre mas bajo mayor acidez"

E-22: "todas las muestras son acidas pero la muestra 5 mas ya que tiene un pH de 3,0"

E-5, E-6 y E-20: "la 5 ya que esta mas cerca de 0" "la muestra 5 ya que su pH es extremadamente bajo, y cuando el pH está cerca de 0 indica mayor acidez"

- **Pregunta 10:** inicialmente el 32% de los estudiantes no encontraban una explicación a la muerte de los peces en el lago, después de la implementación de la estrategia didáctica este porcentaje disminuyó al 9% (figura 4-14). Así mismo, se pasó del 9% al 27% de estudiantes que explican los efectos de la lluvia ácida sobre el lago mencionando que el agua se pudo acidificar y proponen medir el pH del agua del lago para corroborar su hipótesis.



**Figura 4-14:** Resultados pretest y postest para la pregunta 10.

Algunas de los enunciados escritos por los estudiantes se exponen a continuación:

E-1: “su hipótesis sea verdadera, pero primero se debería de tomar muestras de agua lluvia, cerca de la zona para medir su pH y así confirmar que los peces están débiles, debido a la lluvia ácida”

E-2: “si al lago le cae lluvia ácida, esto alterará el pH del hábitat natural de los peces y el de los demás seres vivos, lo cual perjudica el desarrollo normal de estos animales, debilitándolos”

E-4: “su hipótesis es correcta, porque la lluvia acida afecta los lagos haciendo que los peces no quieran comer. Deberían tomar una muestra del lago y según los resultados determinar si los peces mueren a causa de la lluvia acida”

E-7: “que al caer la lluvia acida a estos lagos el pH del agua de los lagos se volvería ácido y los peces al no estar acostumbrados a vivir en un agua con este pH y por eso fueron muriendo”

E-11: “su hipótesis puede ser cierta ya que como la lluvia cae directamente sobre el lago estaría afectando su pH, se podría determinar tomando muestras de agua del lago y determinando su pH”

E-15: “su hipótesis se puede basar en que al caer la lluvia acida en los lagos, acidifica el agua de estos, creando cambios en los nutrientes y evitando que los peces puedan respirar de forma normal, también se pudo haber acabado las plantas del lago y por ende los peces no tendrían alimento. La hipótesis se puede comprobar midiendo el pH del agua del lago para ver si esta normal o ácida, esto se puede hacer con un sensor de pH en el lago. Si el agua es acida hay que cambiarla y tomar medidas sobre la contaminación atmosférica para evitar la lluvia acida”

#### **4.2.2 Análisis del pretest de acuerdo a los ejes temáticos**

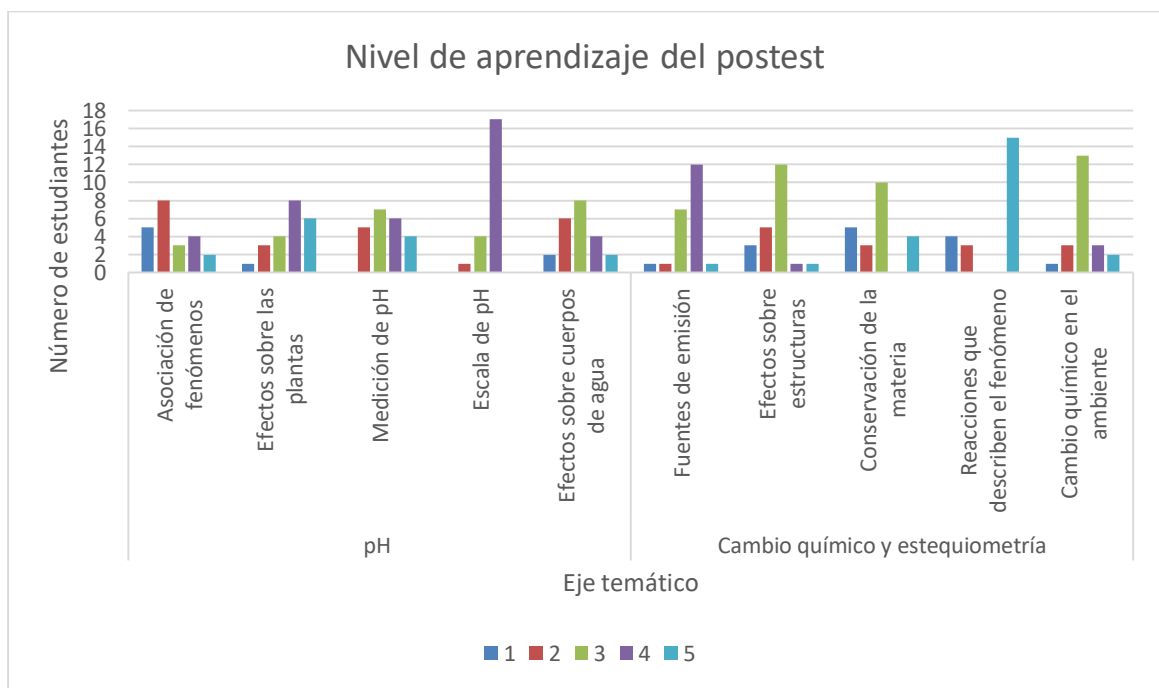
Al igual que el pretest, el postest se dividió en dos ejes temáticos, pH y cambio químico-estequiometría, con la finalidad de analizar la adquisición de aprendizajes de estos los conceptos y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos. Los datos obtenidos al analizar el instrumento postest, se muestran en la matriz de datos de la tabla 4-16. Cada pregunta fue valorada mediante la misma rúbrica de pretest, lo cual permitió categorizar cada respuesta, teniendo en cuenta el uso de palabras, uso de conceptos y la explicación del fenómeno de lluvia ácida. Cabe resaltar que el postest aplicado fue el mismo que se diseñó para valorar las ideas previas de los estudiantes.

**Tabla 4-16:** Matriz de datos obtenida del análisis del postest.

Matriz de datos										
Clasificación de las preguntas										
Pregunt a	pH					Cambio químico y estequiometría				
	3	5	8	9	10	1	2	4	6	7
ES TU DI ANTE	Asociación de fenómenos	Efectos sobre las plantas	Medición de pH	Escala de pH	Efectos sobre cuerpos de agua	Fuentes de emisión	Efectos sobre estructuras	Consecuencias de la materia	Reacciones que describen el fenómeno	Cambio químico en el ambiente
1	2	2	4	4	4	5	4	1	5	3
2	5	5	4	4	4	4	3	5	5	5
3	2	5	3	3	3	4	2	3	5	3
4	5	3	4	4	5	3	3	3	5	3
5	2	3	3	4	1	3	3	1	2	2
6	2	5	2	4	3	2	3	2	2	3
7	4	5	5	4	2	4	3	5	5	5
8	2	5	3	3	3	4	3	2	5	4
9	2	2	3	4	2	4	2	3	5	3
10	1	4	3	4	2	4	3	1	5	3
11	1	4	3	3	3	4	3	3	5	4
12	4	3	5	4	4	3	1	3	1	3
13	1	4	4	4	1	4	3	3	1	1
14	1	4	2	3	2	4	1	1	5	3
15	4	4	4	4	5	4	3	5	5	4
16	4	5	5	4	2	4	5	5	1	2
17	2	3	2	4	3	3	2	2	5	3
18	2	2	2	4	3	3	2	3	5	3
19	3	4	3	4	3	3	3	3	5	3
20	3	4	4	4	4	4	3	3	5	3
21	1	1	2	2	3	1	2	1	2	3
22	3	4	5	4	2	3	1	3	1	2

La figura 4-15 muestra el nivel de aprendizaje después de aplicar la unidad didáctica con los estudiantes en cada una de las categorías, se observa que hay una mejoría en los aprendizajes de los estudiantes, es decir, se lograron apropiarse los conceptos de pH, cambio químico y estequiometría. Este resultado concuerda con lo mencionado en la literatura, el uso de fenómenos contextualizados en la realidad social y ambiental de los estudiantes,

favorece el aprendizaje significativo; es decir el uso del fenómeno de la lluvia ácida permitió a los estudiantes comprender y explicar lo que sucedía en las situaciones planteadas por el postest (Basso & Lorenzo, 2018; Caamaño, 2006; Gabel, 1993; Gómez et al., 2020; Mancipe, 2012; Niemeyer, 2006; Penagos et al., 2007; Telleria, 2012). Por otro lado, se puede observar que las categorías efectos de la lluvia ácida sobre estructuras y conservación de la materia, que en el pretest tenían un menor nivel de aprendizaje lograron pasar a niveles superiores. Por el contrario, la categoría asociación del fenómeno de la lluvia ácida con la respiración logro pasar del nivel 1 al 2, es decir, aunque se lograron mejorías en el aprendizaje de los estudiantes aún presentan dificultades para asociar estos fenómenos.



**Figura 4-15:** Nivel de aprendizaje postest de los conceptos de pH, cambio químico y estequiometría.

Después de que se implementó la unidad didáctica se hace necesario evaluar si existen diferencias significativas entre los aprendizajes obtenidos en los conceptos de pH y cambio químico-estequiometría, por tal motivo se planteó una prueba t-student, con las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu = \mu_0 \therefore \text{No existe diferencia entre los ejes temáticos en el postest}$$

$H_A: \mu \neq \mu_0 \therefore$  Existen diferencias entre los ejes temáticos en el postest

Con un nivel de significancia del 5% no existen diferencias en los aprendizajes adquiridos por los estudiantes entre los conceptos cambio químico, estequiometría, lluvia ácida. Esto se debe a el p valor es mayor al 5% ( $0,7094 > 0,05$ ), se acepta la  $H_0$ . Los resultados se muestran en la tabla 4-17.

**Tabla 4-17:** Test T de diferencias medias para los ejes temáticos postest.

	Eje temático pH	Eje temático cambio químico-estequiometria
<b>Media</b>	3,2545	3,1727
<b>s</b>	0,696	0,749
<b>N</b>	22	22
<b>ES</b>	0,218	
<b>Glib</b>	41,7758	
<b>t</b>	0,3752	
<b>P</b>	0,7094	

Aunque, el análisis cualitativo de las expresiones de los estudiantes en el postest, muestran que el nivel de explicación y apropiación de los conceptos mejoró, se hace necesario determinar mediante un método cuantitativo si los aprendizajes de los estudiantes evolucionaron o son equivalentes a los presaberes del pretest. Para esto se plantean las siguientes hipótesis de diferencia de medias y se aplica la Prueba T:

- **Eje temático pH**

$H_0: \mu = \mu_0$

$\therefore$  No Existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes alcanzados respecto al concepto de pH

$H_A: \mu \neq \mu_0$

$\therefore$  Existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes alcanzados respecto al concepto de pH

Con un nivel de significancia del 5% existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes adquiridos por los estudiantes en el eje temático de pH. Esto se debe a el p valor es menor al 5% ( $0,0002 < 0,05$ ), se acepta la  $H_A$ . Los resultados se muestran en la tabla 4-18. En este sentido, el d-cohen es de 1,22 (mayor a 0,8) indicando que ocurre un cambio significativo entre los presaberes y los aprendizajes adquiridos referente al pH (Caycho et al., 2016).

**Tabla 4-18:** Test T de diferencias medias para los presaberes y aprendizajes adquiridos respecto al concepto pH.

	Promedio pretest concepto pH	Promedio postest concepto pH
<b>Media</b>	2,2818	3,2545
<b>s</b>	0,8764	0,696
<b>N</b>	22	22
<b>ES</b>	0,2386	
<b>Glib</b>	39,9508	
<b>t</b>	-4,0766	
<b>P</b>	0,0002	

- **Eje temático cambio químico-estequiometría**

$H_0: \mu = \mu_0 \therefore$  No Existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes alcanzados

$H_A: \mu \neq \mu_0 \therefore$  Existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes alcanzados

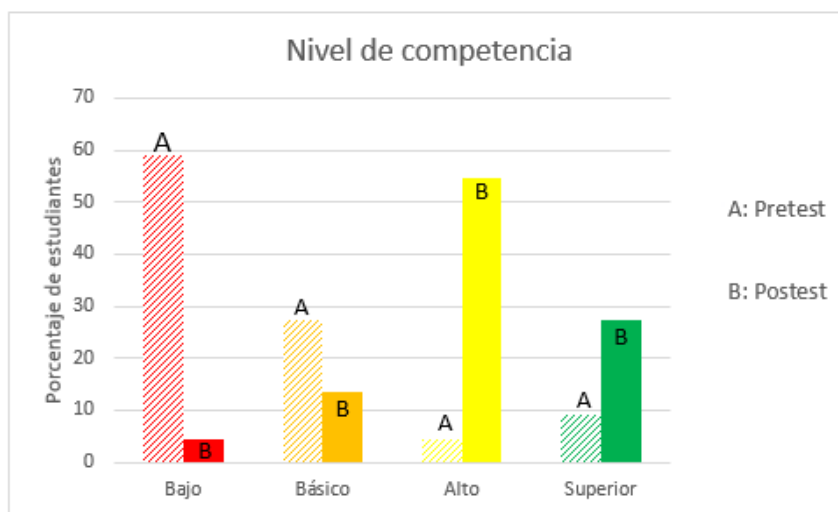
Con un nivel de significancia del 5% existen diferencias entre los presaberes y los aprendizajes adquiridos por los estudiantes en el eje temático de cambio químico y estequiometría. Esto se debe a el p valor es menor al 5% ( $0 < 0,05$ ), se acepta la  $H_A$ . Los resultados se muestran en la tabla 4-19. En este sentido, el d-cohen es de 1,65 indicando que ocurre un cambio significativo entre los presaberes y los aprendizajes adquiridos referente al pH (Caycho et al., 2016).

**Tabla 4-19:** Test T de diferencias medias para los presaberes y aprendizajes adquiridos respecto al eje temático cambio químico-estequiometria.

	Promedio pretest concepto cambio químico-estequiometria	Promedio postest químico-estequiometria
<b>Media</b>	1,982	3,1727
<b>s</b>	0,687	0,749
<b>N</b>	22	22
<b>ES</b>	0,2167	
<b>Glib</b>	41,6903	
<b>t</b>	-5,495	
<b>P</b>	0	

### 4.2.3 Análisis del postest de acuerdo al nivel de desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos

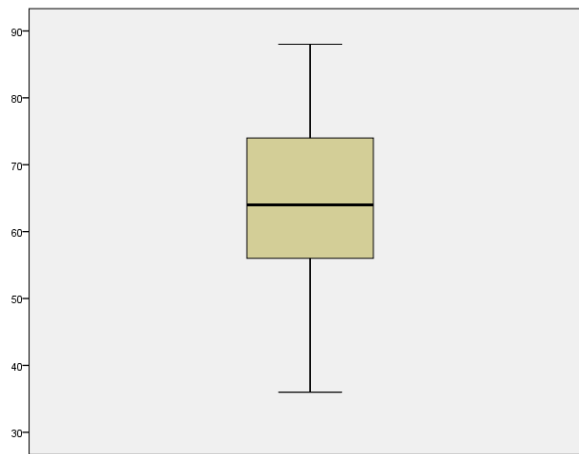
El nivel de la competencia científica explicación de fenómenos mejoró, mostrando que el 59% de los estudiantes que solo reconocían información explícita a través de un lenguaje cotidiano (nivel bajo), pasó a ocupar el nivel alto (55%) revelando un desarrollo de la capacidad para relacionar conceptos, leyes y teorías científicas que den explicación al fenómeno de la lluvia ácida, tal como se muestra en la figura 4-16. Además, es importante destacar que al inicio de la presente investigación sólo dos estudiantes de la muestra mostraban un nivel de competencia superior, con la implementación de la estrategia de aprendizaje fueron seis (27%) los estudiantes que están en la capacidad de usar conceptos, teorías o leyes en la solución de situaciones problema que involucran procedimientos, habilidades, conocimientos y un lenguaje propio de las ciencias naturales.



**Figura 4-16:** Comparación del nivel de la competencia científica explicación de fenómenos pretest y postest.

Así mismo, se puede analizar que el nivel de competencia se distribuye de forma más homogénea que en el pretest, es decir, la mayoría de estudiantes (80%) se encuentran entre un el nivel alto y superior demostrando que han desarrollado la competencia (figura 4-17).





**Figura 4-17:** Diagrama de cajas competencia científica posttest.

Al igual que en los ejes temáticos, se hace necesario determinar mediante un método cuantitativo si existen diferencias significativas entre la competencia científica explicación de fenómenos en los estudiantes en el pretest y posttest. Para esto se plantean las siguientes hipótesis de diferencia de medias y se aplica la Prueba T:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

*∴ No existen diferencias entre la competencia científica explicación de fenómenos en el pretest y posttest*

$$H_A: \mu \neq \mu_0$$

*∴ Existen diferencias entre la competencia científica explicación de fenómenos en el pretest y posttest*

Con un nivel de significancia del 5% existen diferencias entre el nivel de la competencia científica explicación que tenían los estudiantes y la desarrollada con la implementación de la unidad didáctica. Esto se debe a que el p valor es menor al 5% ( $0 < 0,05$ ), y se acepta la  $H_A$ , los resultados se muestran en la tabla 4-20. Es importante destacar que el d-cohen es de 1,60 (mayor a 0,8) indicando que ocurre un cambio significativo (Caycho et al., 2016). Se puede decir que los estudiantes desarrollaron la competencia mediante el uso del fenómeno de la lluvia ácida, ya que se puso en contexto el aprendizaje de la química.

**Tabla 4-20:** Test T de diferencias medias para el nivel de competencia en el pretest y postest.

	<b>Promedio pretest competencia científica</b>	<b>Promedio postest competencia científica</b>
<b>Media</b>	42,6363	64,2727
<b>s</b>	14,268	12,6083
<b>N</b>	22	22
<b>ES</b>	4,0595	
<b>Glib</b>	41,3737	
<b>t</b>	-5,3299	
<b>P</b>	0	

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

El desarrollo de competencias científicas es de vital importancia en la enseñanza de la química, ya que se requieren jóvenes críticos que tengan la capacidad de usar los conceptos teóricos en situaciones reales de su contexto. Es por esto, que es de suma importancia realizar investigaciones aplicadas en el ámbito de la educación que tengan en cuenta fenómenos de ocurrencia en el contexto de los estudiantes.

La implementación de estrategias didácticas que usen el fenómeno de la lluvia ácida permite el desarrollo de competencias científicas y el fortalecimiento de otras habilidades necesarias para la vida, como lo es el trabajo en equipo, trabajo colaborativo y tolerancia a la frustración. Además, esta estrategia al estar integrada con otras áreas, como la ingeniería y tecnología (STEM), permite abordar un fenómeno desde diversas perspectivas, obteniendo como resultado aprendizajes significativos en los estudiantes, que seguramente no olvidaran a corto plazo.

Por otro lado, se comprobó que al integrar conceptos teóricos propuestos en el currículo de química, como el pH, cambio químico y estequiometría con situaciones reales, en las que se tenga en cuenta el contexto social y ambiental de los estudiantes, genera motivación en los estudiantes por aprender. Es decir, los estudiantes encuentran una aplicación a los conceptos abstractos manejados en química, y al mismo tiempo desarrollan competencias científicas que les permite resolver problemas reales.

Finalmente, se puede concluir que la lluvia ácida como estrategia didáctica permite el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.

## 5.2 Recomendaciones

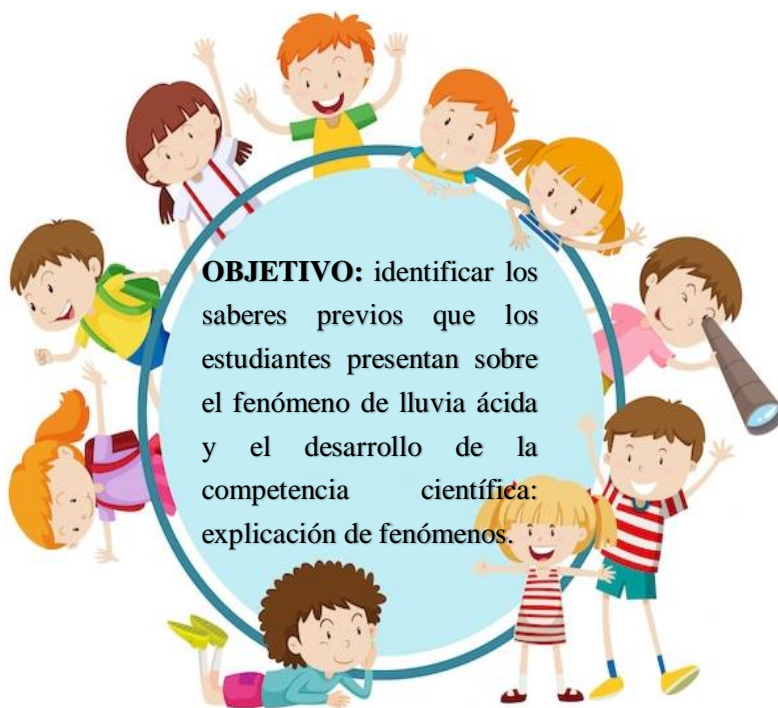
El uso del fenómeno de la lluvia ácida se puede articular con las ciencias sociales para abordar el fenómeno presentado desde diversas perspectivas, y favorecer el pensamiento crítico de los estudiantes frente a problemáticas de su entorno.

Se recomienda el apoyo de otras asignaturas, como la de tecnología, para abordar de forma transversal la programación en Arduino, y su aplicación en instrumentos de medida como el pHmetro.

La unidad didáctica y el cuestionario pueden ser usados por otros docentes, teniendo en cuenta el contexto particular de cada institución educativa. Además, se pueden plantear diferentes problemáticas ambientales que afectan a la comunidad, como la emisión de material particulado, el efecto invernadero, el calentamiento global, que ayuden al desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos.

## 6. Anexo A: Cuestionario para la valoración de ideas previas y postest

ÁREA:	Ciencias Naturales	ASIGNATURA:	Química	GRADO:	11
DOCENTE:	Angie Vanessa Arias Suns		FECHA:		
ESTUDIANTE:					
Estrato:	Edad:		Género:		
Asignatura preferida:					
Padece de alguna enfermedad: Sí ___ No ___ ¿cuál?					



¡Querido estudiante!

El siguiente cuestionario es un diagnóstico que nos permitirá conocer las ideas iniciales que posees respecto a lluvia ácida y el desarrollo de la competencia científica: explicación de fenómenos. Por lo tanto, esta prueba no tendrá ninguna incidencia en su calificación.

Encontrarás preguntas abiertas para que puedas responder con tus propias palabras.

Por favor, contesta cada una de las preguntas con total tranquilidad y honestidad.

¡Muchas gracias!

**Responde la pregunta 1 con base en la siguiente información**

La pregunta 1 es tomada de las pruebas PISA 2015, expuesta en el informe PISA: COMPETENCIA CIENTÍFICA. I. Marco y análisis de los ítems, por página 252 (Caño & Burgoa, 2017).

**LLUVIA ÁCIDA**

A continuación se muestra una foto de las estatuas llamadas Cariátides, que fueron erigidas en la Acrópolis de Atenas hace más de 2.500 años. Las estatuas están hechas de un tipo de roca llamada mármol. El mármol está compuesto de carbonato de calcio. En 1980, las estatuas originales fueron trasladadas al interior del museo de la Acrópolis y fueron sustituidas por copias. Las estatuas originales estaban siendo corroídas por la lluvia ácida.



1. La lluvia normal es ligeramente ácida porque ha absorbido algo del dióxido de carbono del aire. La lluvia ácida es más ácida que la lluvia normal porque además ha absorbido gases como óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. ¿De dónde vienen los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno que hay en el aire?

.....  
.....

.....

.....

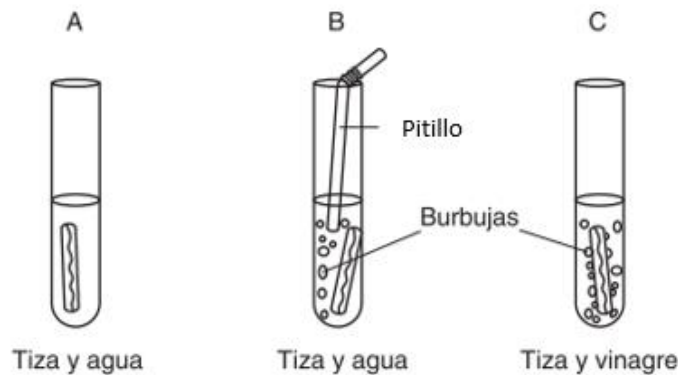
.....

.....

**Responde la pregunta 2 a 4 con base en la siguiente información**

El siguiente texto es tomado y adaptado de examen escrito de ciencias del 2009, de la SUNY (The State University of New York). Pregunta 70 página 24 (SUNY, 2009).

Un grupo de estudiantes realizó un experimento para simular los efectos de la lluvia ácida en una tiza (una forma de carbonato de calcio). Se tallaron tres trozos de tizas con el mismo patrón y se colocaron en los tubos de ensayo A, B y C. Se agregaron cantidades iguales de agua a los tubos de ensayo A y B. El estudiante sopló a través de un pitillo en el tubo de ensayo B durante cinco minutos y se produjeron burbujas. Se agregó una cantidad igual de vinagre (ácido acético) al tubo de ensayo C y se produjeron burbujas. El vinagre y la lluvia ácida tienen prácticamente el mismo nivel de acidez. Finalmente, se puede medir la masa de la tiza seca antes y después del experimento.



50 Terrific Science Experiments, Frank Schaffer Publications, p. 71 (adaptado)

La pregunta 2 es tomada de las pruebas PISA 2015, expuesta en el informe PISA: COMPETENCIA CIENTÍFICA. I. Marco y análisis de los ítems, por página 255 (Caño & Burgoa, 2017).

- Una tiza tiene una masa de 2,0 gramos antes de ser sumergida en vinagre durante toda una noche. Al día siguiente, la tiza se extrae y se seca. ¿Cuál será la masa de la tiza? Explica tu respuesta.

.....

.....

.....

.....  
 .....  
 .....

La pregunta 3 es tomada y adaptado de exámen escrito de ciencias del 2009, de la SUNY (The State University of New York). Pregunta 71 página 25 (SUNY, 2009).

3. El dióxido de carbono en el aire se disuelve en la lluvia a medida que ésta cae en la tierra. Esto da lugar a la formación de ácido carbónico, un ácido débil. Explica por qué la acción del estudiante de soplar en el tubo de ensayo B es similar al proceso de formación leve de la lluvia ácida. ¿Qué pH se espera para este tubo de ensayo?

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

4. Los estudiantes que participaron del experimento están interesados en describir la reacción química que se llevó a cabo entre la tiza y el vinagre. Para esto, los estudiantes recordaron que “La masa de los reactivos es igual a la masa de los productos independientemente de los cambios que se produzcan en la reacción” y representaron la ecuación de la siguiente forma:



Explica si la ecuación propuesta por los estudiantes cumple con la ley de la conservación de la materia.

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....



5. Andrés sembró 4 plantas y regó cada una con un líquido diferente, tal como lo muestra la siguiente tabla.

Planta	Regada con	pH
1	Agua de la llave	7
2	Agua con azúcar	7,5
3	Agua con vinagre	3,5
4	Agua con orina	8

¿Qué crees que pasará con cada una de las plantas? ¿Cómo se vería afectado el crecimiento de cada una de las plantas?

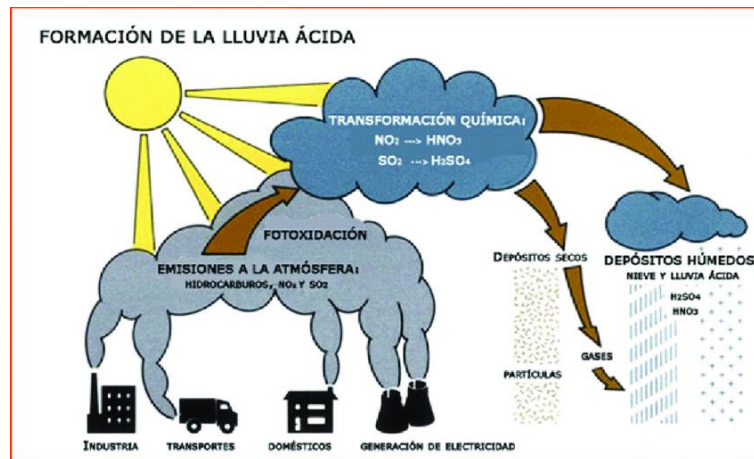
.....

.....

.....

.....

Responde la pregunta 6 y 7 con el siguiente gráfico



6. De acuerdo con el gráfico, genera las posibles ecuaciones químicas que expliquen el fenómeno de la lluvia ácida.

.....

.....

.....

.....

.....

7. Dos estudiantes están debatiendo sobre la lluvia ácida. El estudiante A tiene la hipótesis de que la lluvia ácida ocurre gracias a un cambio químico, ya que los gases se están transformando en otras sustancias. El estudiante B lo refuta, explicando que el agua sólo está cambiando de estado gaseoso (vapor en las nubes) a líquido (precipitación en forma de lluvia). ¿Cuál de los dos crees que tiene la razón? Justifica tu respuesta.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. Un profesor les pide a sus estudiantes determinar el pH de cuatro muestras de agua lluvia, ¿cómo deberían realizar las medidas de pH los estudiantes? Explica tu respuesta.

.....

.....

.....

.....

.....

9. Un grupo de estudiantes decide medir el pH de cinco muestras de agua tomadas de la lluvia en su ciudad. Los resultados se muestran en la tabla:

Muestra	pH
1	5,0
2	3,2
3	4
4	3,9
5	3,0

¿Cuál de las muestras tiene una mayor acidez? Explica tu respuesta.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

10. En un reciente estudio realizado en el norte del Valle del Cauca se encontró un problema de contaminación atmosférica, que está provocando una disminución del pH en el agua lluvia de la ciudad de Tuluá. Después, de visitar varios lagos de pesca deportiva de la ciudad, se observó que los peces parecían estar sin fuerzas y no hacían el menor intento por alimentarse. Esta situación permaneció constante durante al menos una semana. Se observaron al principio pocos peces muertos y los que se cogieron tenían el estómago vacío, lo que llevó a suponer que no se habían alimentado. El propietario de un lago sugirió que el problema podía deberse a la lluvia ácida. ¿Qué explicación le podrías dar al propietario sobre su hipótesis? ¿Cómo podrías ayudar a los propietarios para determinar si su hipótesis es cierta o no?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## 7. Anexo B: Unidad didáctica que usa el fenómeno de la lluvia ácida para el aprendizaje de la química y el desarrollo de la competencia científica explicación de fenómenos

### Actividad 1: ¿Ácido o básico?

Figura 7-1: Escala de pH.

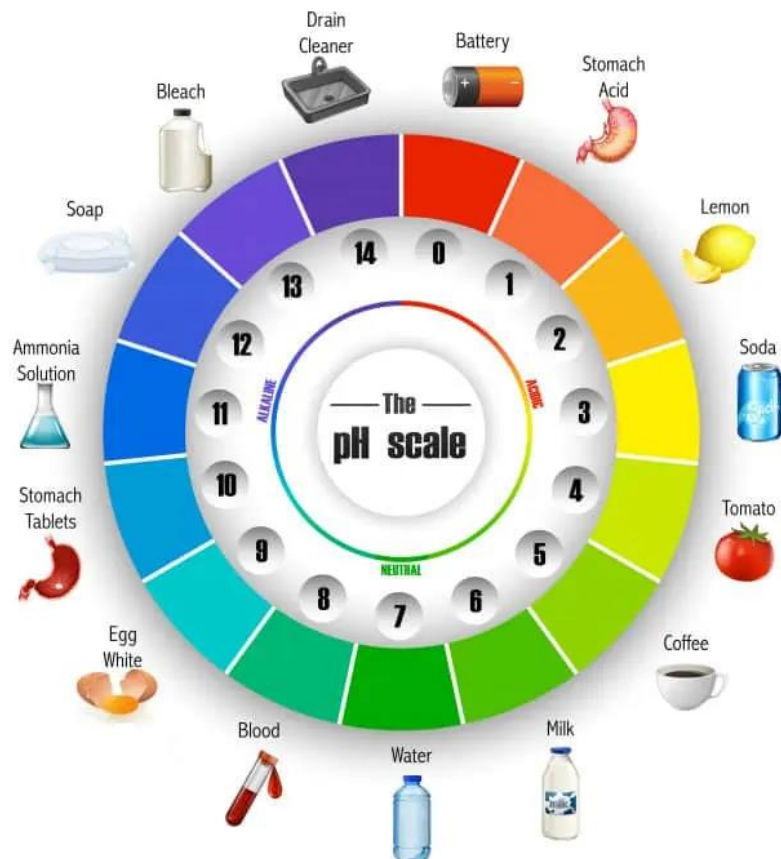


Imagen tomada de <https://pharmasciences.in>

## Ideas previas

- Dificultad entre la relación de pH y acidez
- Dificultades para explicar el concepto de pH

## Exploración

### Objetivo:

Definir el concepto de pH

Identificar la relación entre la escala de pH y la acidez

Aplicar el concepto de pH en el fenómeno de la lluvia ácida

**Para iniciar:** Observa y analiza las siguientes imágenes

**Figura 7-2:** Efectos de la lluvia ácida.



Imágenes tomadas de: <https://ecotrendies.com>, <https://www.iagua.es>, <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es>.



Imágenes tomadas de: <https://thptnganamst.edu.vn>, <https://www.gettyimages.es>.

Responde las siguientes preguntas con base en lo observado:

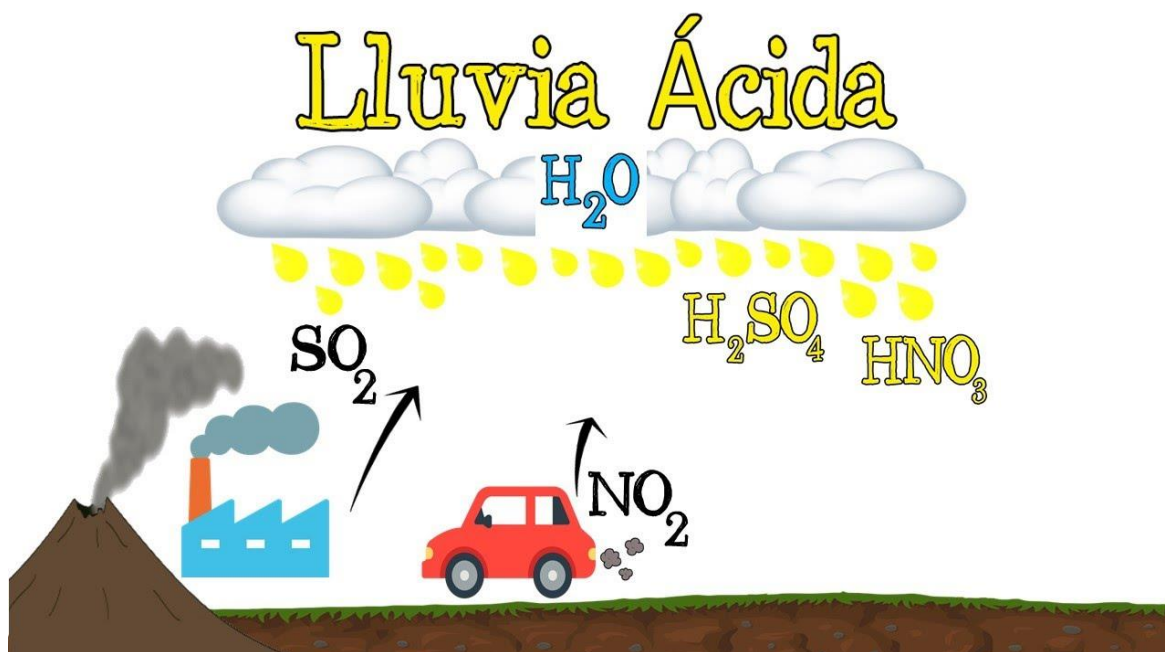
- ¿Qué tienen en común las imágenes?
- ¿Has escuchado hablar de lluvia ácida?
- ¿Qué diferencia existirá entre la lluvia y la lluvia ácida?
- ¿Qué relación existirá entre la lluvia ácida y el pH?

Guía para el docente: en la primera clase se realizará la presentación del tema de la lluvia ácida y el pH mediante imágenes que muestren el impacto de la lluvia ácida en diferentes ecosistemas. Se realizará primero un análisis individual para posteriormente discutir las respuestas en grupos de trabajo.

## Introducción

Inicialmente se presenta el siguiente video a los estudiantes

**Figura 7-3:** Video formación de la lluvia ácida.



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=tXjPTbBMSAw>

Después se realiza grupalmente la lectura titulada Lluvia ácida. Texto adaptado de la Enciclopedia de Energía (s.f). Lluvia ácida. Disponible en <https://energyeducation.ca>

## LA LLUVIA ÁCIDA

La deposición ácida es un fenómeno ambiental en el cual cualquier tipo de precipitación, como lluvia, nieve, aguanieve, granizo o niebla, presenta un nivel de acidez mayor de lo normal debido a la presencia de contaminantes como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre en el aire. Aunque se utiliza comúnmente el término "lluvia ácida" para describir este tipo de precipitación, en realidad se aplica a todas las formas mencionadas.

Este aumento en la acidez de la precipitación puede tener efectos negativos en los ecosistemas y en el medio ambiente en general. La deposición ácida es una de las principales preocupaciones ambientales asociadas con el uso de combustibles, ya que la quema de combustibles fósiles libera óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre a la atmósfera, que luego se combinan con el agua en el aire y forman ácidos que son transportados por la precipitación a la superficie terrestre.

A pesar de los esfuerzos realizados desde la década de 1970 para abordar este problema, la deposición ácida sigue siendo motivo de preocupación debido a sus efectos dañinos en el medio ambiente. Los ácidos presentes en la precipitación pueden acidificar cuerpos de agua como lagos y ríos, dañar la vegetación y alterar los suelos, afectando a los ecosistemas y a las especies que dependen de ellos.

### Acidez

La lluvia normal tiene un pH alrededor de 5.6, lo que la hace ligeramente ácida debido a la combinación del dióxido de carbono con el agua del aire para formar ácido carbónico. Sin embargo, esta acidez es neutralizada de forma natural cuando la precipitación entra en contacto con minerales alcalinos presentes en las rocas de la superficie de la Tierra, como calcio, magnesio y potasio. Estos minerales actúan como agentes neutralizadores, lo que evita que la lluvia normal se vuelva demasiado ácida. En contraste, la lluvia ácida tiene un pH de alrededor de 4.2, lo que indica que es aproximadamente 25 veces más ácida que la lluvia normal debido a la naturaleza logarítmica de la escala de pH.



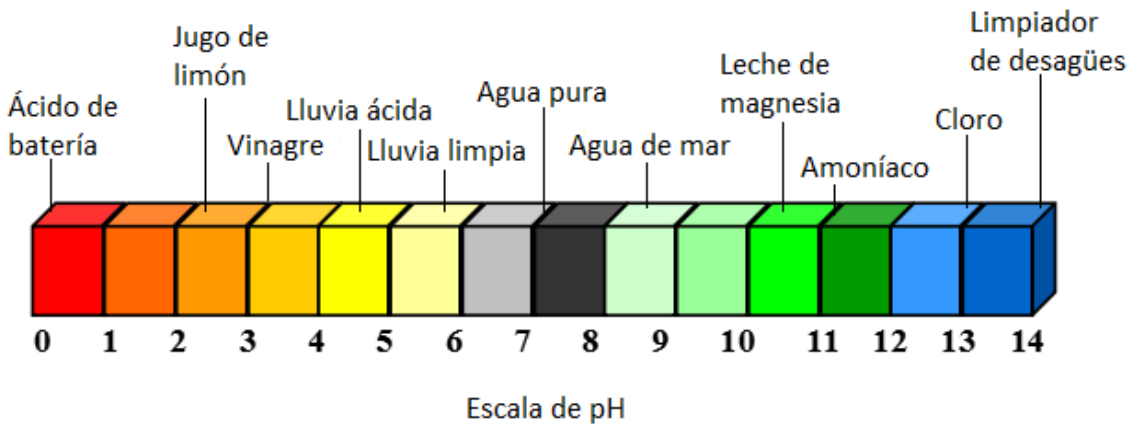


Imagen tomada de <https://energyeducation.ca>.

Con base en la lectura, los estudiantes realizarán un esquema gráfico que sintetice la información propuesta en el video y la lectura. Pueden tener como ejemplo el presentado en la figura 7-4:

**Figura 7-4:** Esquema de formación de la lluvia ácida.



Imagen tomada de <https://www.iberdrola.com>.

## Estructuración

En esta parte de la unidad didáctica se expone el siguiente contenido teórico sobre las teorías ácido-base, la definición del concepto de pH y los métodos de medición de pH. El texto “Las teorías de ácido-base” fue tomado de Colombia Aprende. La red del conocimiento. (s.f., a). ¿Por qué la escala de pH no es lineal? Página 3. Recuperado de [https://contenidosparaaprender.colombiaprende.edu.co/G\\_11/S/SM/SM\\_S\\_G11\\_U02\\_L06.pdf](https://contenidosparaaprender.colombiaprende.edu.co/G_11/S/SM/SM_S_G11_U02_L06.pdf)

Para esto se pide que los estudiantes lean y saquen un resumen de lo siguiente en sus cuadernos:

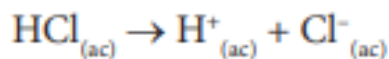
### 1. Las teorías de ácido-base



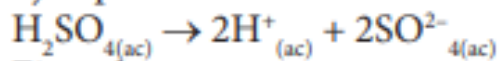
¡Hola, Busky! Es genial que estés emocionado por compartir información sobre las teorías de ácido-base. Vamos a analizar y contextualizar lo que has explicado:

En primer lugar, mencionas la teoría de Arrhenius, propuesta en 1884, que todavía es ampliamente utilizada. Esta teoría define un ácido como una sustancia que, en solución acuosa, libera iones hidrógeno ( $H^+$ ), y una base como una sustancia que, en solución acuosa, libera iones hidroxilos ( $OH^-$ ), como lo muestra la imagen. Sin embargo, se destaca que esta teoría no considera la interacción entre la sustancia y el disolvente.

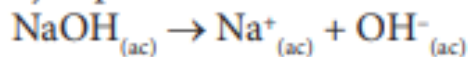
En primer lugar, mencionas la teoría de Arrhenius, propuesta en 1884, que todavía es ampliamente utilizada. Esta teoría define un ácido



Ejemplo:



Ejemplo:



Ejemplo:

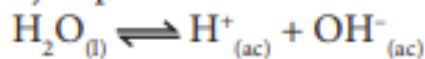


Imagen tomada de <https://www.cienciasfera.com>

Luego, mencionas a Bronsted y Lowry, quienes trabajaron con solventes diferentes al agua y bases diferentes a los hidroxilos. Ellos propusieron definiciones más amplias: Los ácidos son sustancias capaces de donar protones ( $H^+$ ) en solución acuosa, y las bases son sustancias capaces de aceptar protones ( $H^+$ ) en solución acuosa. Además, señalas que algunas sustancias, como el agua, pueden comportarse como ácidos o bases dependiendo del contexto, y se conocen como anfipróticas.

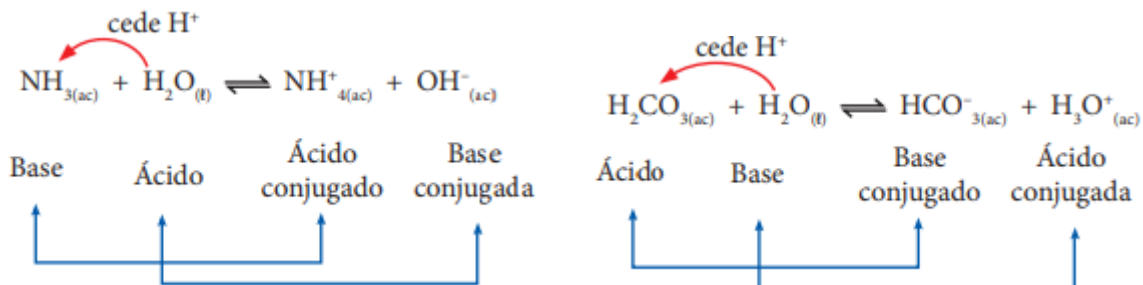


Imagen tomada de <https://www.cienciasfera.com>.

Finalmente, mencionas la propuesta de Gilbert N. Lewis, quien propuso definiciones aún más generales que involucran sustancias diferentes. Según Lewis, un ácido es toda sustancia capaz de aceptar y compartir un par de electrones, mientras que una base es

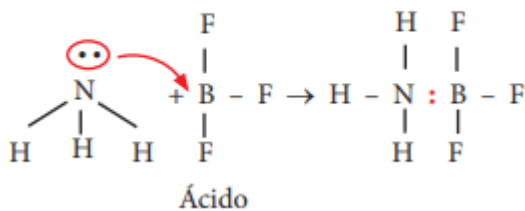
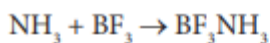


Imagen tomada de <https://www.ejemplos.co>.

toda sustancia capaz de donar y compartir un par de electrones. Mencionas un ejemplo específico donde el amoníaco actúa como base de Lewis y base de Bronsted al captar un protón del agua y donar un par de electrones al hidrogenión.

## 2. ¿Qué es el pH?

Definición tomada de HANNA instruments (s.f). ¿Qué es el pH? Disponible en <https://www.hannacolombia.com/>

El pH es una medida que indica el Potencial de Hidrógeno de una solución, es decir, la concentración de iones  $H^+$  presentes en la disolución. Se utiliza para cuantificar el grado

de acidez o alcalinidad de una sustancia, donde un pH menor a 7 indica acidez, un pH igual a 7 representa neutralidad, y un pH mayor a 7 indica alcalinidad.

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log[\text{H}^+] \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

La fórmula matemática para calcular el pH es el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno en la solución. Esto implica que cuanto mayor sea la concentración de iones  $\text{H}^+$ , menor será el pH y, por lo tanto, más ácida será la disolución. En contraste, si la concentración de iones  $\text{H}^+$  es baja, el pH será mayor, lo que indica una solución más alcalina.

### 3. Escala de pH

El texto “Escala de pH” fue tomado de Colombia Aprende. La red del conocimiento. (s.f.). ¿Por qué la escala de pH no es lineal? Página 7. Recuperado de [https://contenidosparaaprender.colombiaaprende.edu.co/G\\_11/S/SM/SM\\_S\\_G11\\_U02\\_L06.pdf](https://contenidosparaaprender.colombiaaprende.edu.co/G_11/S/SM/SM_S_G11_U02_L06.pdf)

El agua es un ácido-base débil, y su constante de equilibrio se denota como  $K_c$ . Sin embargo, debido a que la cantidad de moles de agua que se ionizan es muy pequeña en comparación con el agua total, se considera que la concentración total de agua es constante. Esto lleva a la definición del producto iónico del agua,  $K_w$ , que es el resultado de multiplicar la constante de equilibrio  $K_c$  por la concentración total de agua. A una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , el valor de  $K_w$  es  $1 \times 10^{-14}$ . En el equilibrio, la concentración de cada uno de los iones (hidrógeno e hidróxido) es igual y tiene un valor de  $1 \times 10^{-7}$ . Cuando las concentraciones de los dos iones son iguales, se dice que la solución es neutra. Si hay más iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) presentes, la solución se considera ácida, y si hay más iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ), la solución se considera básica.

Finalmente, Soren propuso una medida práctica de cuantificar el pH en 1909. El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrógeno en mol/L. Si la concentración de los iones hidrógeno es mayor a  $1 \times 10^{-7}$ , el pH será menor a 7, lo que

indica una solución ácida. Por otro lado, si la concentración de los iones hidrógeno es menor a  $1 \times 10^{-7}$ , el pH será mayor a 7, indicando una solución básica.

Concentración de iones de hidrógeno en comparación con agua destilada (pH)		Ejemplos de soluciones y su pH correspondiente
10.000.000	0	Ácido sulfúrico
1.000.000	1	Ácido clorhídrico
100.000	2	Zumo de limón, vinagre
10.000	3	Zumo de naranja, soda
1.000	4	Zumo de tomate
100	5	Café negro, lluvia ácida
10	6	Orina, saliva
1	7	Agua "pura"
1/10	8	Agua de mar
1/100	9	Bicarbonato de sodio, pasta de dientes
1/1.000	10	Sales de magnesio
1/10.000	11	Amoníaco
1/100.000	12	Agua jabonosa
1/1.000.000	13	Lejía, productos para la limpieza del horno
1/10.000.000	14	Sosa caústica

Imagen tomada de <https://www.colombiaaprende.edu.co>.

En consecuencia, el rango de la escala de pH está entre 0 y 14, donde se pueden ubicar casi todas las sustancias, como lo muestra la figura anterior. En la mitad, se tiene un pH neutro (7), y estaría el agua. Los valores inferiores a 7 son ácidos, como el zumo de limón, el vinagre, el café, el zumo del tomate, la orina, la saliva y la lluvia ácida. Los valores superiores a 7 son bases, como la pasta de dientes, el bicarbonato de sodio, el amoníaco, el jabón y la sosa caustica.

#### 4. ¿Cómo medimos el pH?

Texto tomado de Pietrasanta y Bush (2018). Tópicos en Biofísica Molécula. Disponible en <http://materias.df.uba.ar/>

Existen dos formas de medir el pH, con técnicas cualitativas que se basan en el cambio de color, y de forma cuantitativa a través de equipos potenciométricos. En el caso de no

requerir medidas precisas, se usan las técnicas cualitativas que consisten en la adición de indicadores, sustancias que cambian reversiblemente de color en función del pH del medio en que están disueltas. Los indicadores de pH se pueden encontrar en tiras de papel o en gotas, que se adicionan a la disolución (como se puede observar en la imagen).

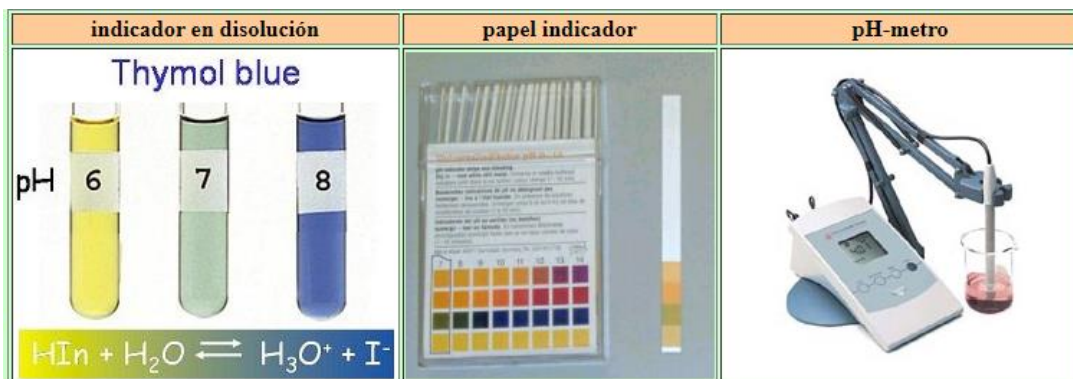
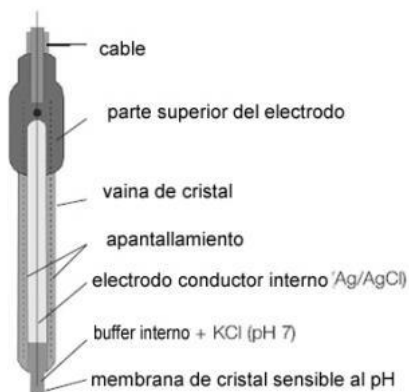


Imagen tomada de <http://www.ehu.eus/>

Por otro lado, el método cuantitativo es usado cuando se requieren medidas exactas. El equipo usado es un pH-metro, que mide el pH por un método potenciométrico entre dos electrodos. A través de este método, el pH es hallado mediante la diferencia de potencial entre dos disoluciones con diferentes concentraciones de iones hidrogeno  $[\text{H}^+]$ . La diferencia de potencial entre estas dos disoluciones da lugar a un flujo de iones hidrógeno, lo que se traduce en una corriente eléctrica cuando las dos disoluciones se ponen en contacto. A través de esta técnica, no se determina directamente la concentración de iones hidrógeno en una muestra, sino que se compara el pH de esa muestra con el de una disolución patrón cuyo pH es conocido. Este patrón se obtiene a partir de una solución cuyo pH ha sido previamente medido y establecido con precisión. Al comparar la corriente eléctrica generada por la muestra desconocida con la generada por el patrón, se puede determinar el pH de la muestra.

El método descrito es ampliamente utilizado en la medición del pH debido a su sencillez y



precisión. Al utilizar una disolución patrón de pH conocido, se obtiene una referencia confiable para comparar con las muestras desconocidas. Esta comparación relativa permite obtener mediciones precisas del pH en diferentes tipos de soluciones, tanto en el laboratorio como en aplicaciones industriales y medioambientales.

*Imagen tomada de <http://www.academiatesto.com.ar/>*

Después de explicado el desarrollo conceptual de pH, acidez y basicidad, se realiza la siguiente práctica de laboratorio:

**Materiales:** 2 jeringas de 5ml, 1 olla pequeña, 1 colador, 10 vasos transparentes (desechables).

**Reactivos:** 1L de agua, ¼ de repollo morado, 100 g de bicarbonato de sodio, 20ml de cada una de las siguientes sustancias vinagre, zumo de limón, gaseosa, jabón de manos, jabón de cocina, leche milanta, shampoo, café, agua lluvia.

#### **Procedimiento para realizar en casa antes de la práctica:**

1. Picar finamente la lechuga morada y ponerla a hervir en una olla junto con un litro de agua.
2. Dejar hervir durante 5 min.
3. Colar, y el líquido restante se deja enfriar.
4. Envasar en un recipiente plástico.

### **DETERMINACIÓN DEL pH MEDIANTE EL MÉTODO COLORIMÉTRICO**

#### ***a. Con papel indicador***

1. Rotule cada uno de los recipientes plásticos para que sea fácil la identificación de la sustancia agregada.

2. Tome 10 ml de cada una de las disoluciones previamente preparadas y agréguelas en los recipientes plásticos previamente rotulados
3. Tome un trozo de papel tornasol (o papel indicador de pH universal) e introdúzcalo en los recipientes plásticos de tal forma que se humedezcan, dependiendo del pH de la disolución, tomará un color u otro. Esta coloración está graduada y es posible compararla con una escala para averiguar el pH de forma aproximada.
4. Compare el color obtenido del papel tornasol con el mostrado en clase y determine el valor del pH de la sustancia.
5. Complete la siguiente tabla:

Sustancias	Color del papel tornasol	pH
Vinagre		
Bicarbonato de sodio		
Zumo de limón		
Gaseosa		
Jabón líquido de cocina		
Leche milanta		
Shampoo		
Jabón de manos		
Café		
Agua lluvia		

#### ***b. Con soluciones indicadoras***

1. Rotule cada uno de los recipientes plásticos para que sea fácil la identificación de la sustancia agregada.
2. Tome 10 ml de cada una de las disoluciones previamente preparadas y agréguelas en los recipientes plásticos previamente rotulados
3. Añada unas pocas gotas de indicador preparado (repollo morado), de acuerdo al pH de la disolución tomará un color u otro. Esta coloración está graduada y es posible compararla con una escala para averiguar el pH de forma aproximada.
4. Compare el color obtenido de la sustancia con el mostrado en la figura y determine el valor del pH de la sustancia.



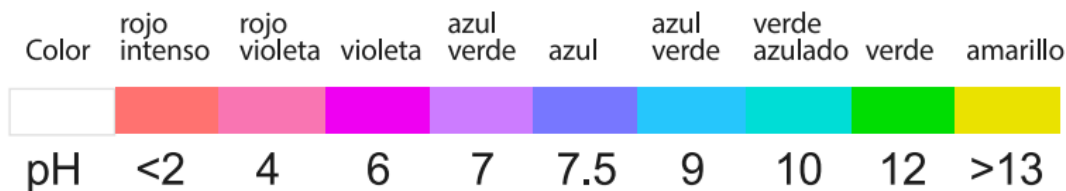


Imagen tomada de <https://retoexperimenta.es>.

5. Complete la siguiente tabla:

Sustancias	Color (antes de agregar el indicador)	Color (después de agregar el indicador)	pH
Vinagre			
Bicarbonato de sodio			
Zumo de limón			
Gaseosa			
Jabón líquido de cocina			
Leche milanta			
Shampoo			
Jabón de manos			
Café			
Agua lluvia			

### Para analizar después de realizada la práctica

Además de la descripción detallada y sistemática de los tres procesos que se hayan seguido en el laboratorio para obtener el pH de las disoluciones, los alumnos deberán responder a las siguientes cuestiones al presentar el informe de la práctica:

- ¿Qué es el pH y para qué sirve su medición?
- ¿Qué es un indicador de pH? ¿Por qué varía de color en función del pH?
- ¿Qué sustancia química contiene el repollo morado que le sirve como indicador? Dibuja su estructura química y consulta sus propiedades.
- Clasifica las sustancias en básicas y ácidas, explica por qué las clasificaron de ese modo.

## Aplicación

Realiza la siguiente actividad en el cuaderno, es una actividad de lógica matemática que servirá como soporte para iniciar en la construcción de diagramas de flujo, es decir aprenderás a escribir secuencias lógicas para resolver un problema.

### Procedimiento:

Andrés tiene un episodio de indigestión, por lo tanto desea obtener un antiácido que calme los síntomas, para esto debe atravesar un laberinto siguiendo las instrucciones:

- (1) Sigue hacia abajo hasta que haya un cruce a uno de los lados
- (2) Cuando encuentres un cruce, atraviésalo
- (3) Vuelve al paso (1).

Responde lo siguiente:

1. **Predicción:** ¿En cuál de los tubos debería comenzar Andrés para llegar a la sustancia que calmará su indigestión?

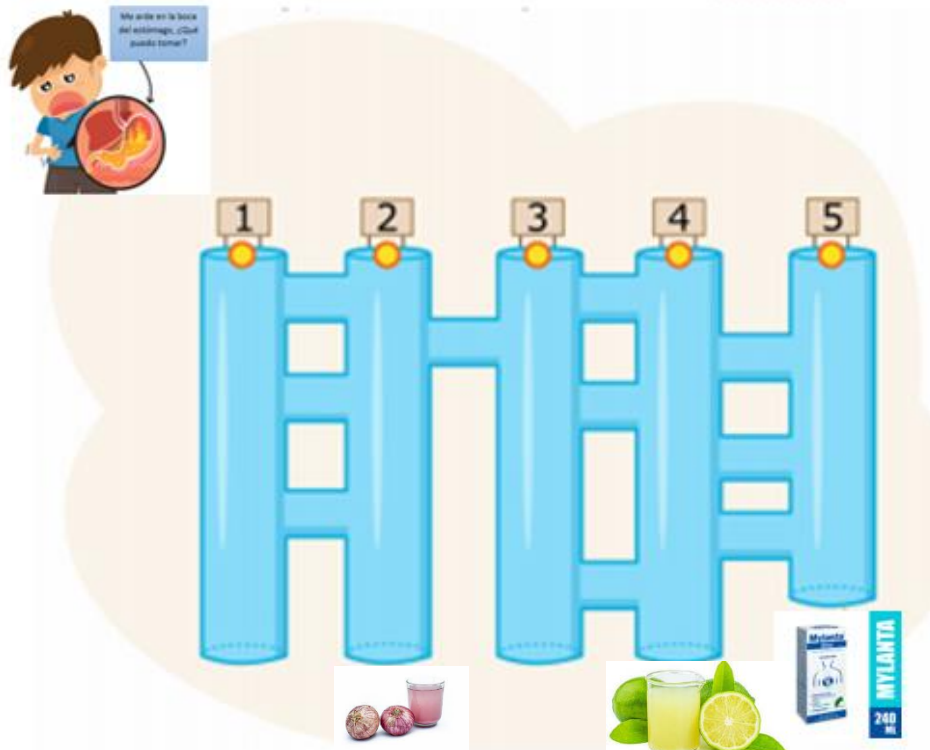


Imagen adaptada de [codingforkids.cognosonline.com](http://codingforkids.cognosonline.com)

2. **Observación:** Crea una diagrama de flujo que te permita plasmar el paso a paso de las instrucciones dadas a Andrés.
3. **Explicación:** ¿Por qué seleccionaste ese camino? ¿Qué tuviste en cuenta para escoger la opción indicada?
4. **Analiza y responde las siguientes preguntas, teniendo en cuenta las prácticas de laboratorio realizadas anteriormente:**
  - a. ¿Qué pH tiene la lluvia en Tuluá?
  - b. ¿Cómo medirías el pH del agua lluvia de Tuluá?
  - c. ¿Qué tendrías en cuenta para medir el pH del agua lluvia?
  - d. ¿Cómo resolverías el problema de la lluvia ácida en nuestras ciudades?

Para dar respuesta a las preguntas anteriores, se plantea la siguiente actividad grupal: Los estudiantes trabajarán en grupos para diseñar y realizar un proyecto de investigación sobre la lluvia ácida y el pH en su localidad o comunidad. Para esto usaran el pH-metro programado en Arduino como técnica de muestreo y cuantificación del pH. Los resultados de las mediciones de pH se muestran en clase y se discuten entre todos los grupos:

### Medición de pH usando el pH-metro programado en Arduino

#### Materiales:

- Un electrodo de pH
- Un micro controlador para el electrodo
- Una tarjeta Arduino
- Un computador
- Cables jumper macho-hembra
- Soluciones patrón de pH 4,0 y pH 7,0
- Soluciones con diferente pH

#### Procedimiento:

Conoce el electrodo de pH y el micro controlador:

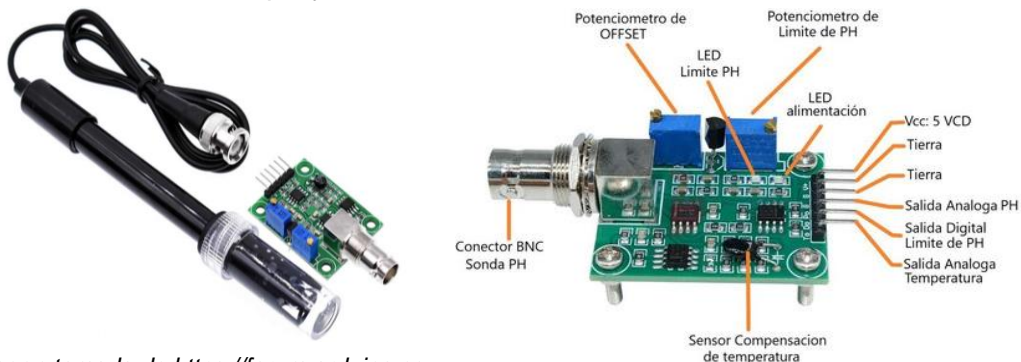


Imagen tomada de <https://forum.arduino.cc>

Conoce la placa Arduino UNO:

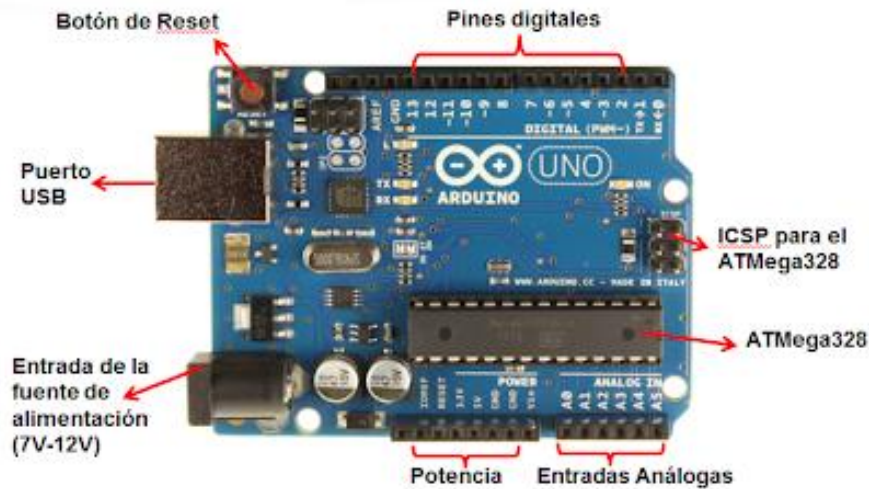


Imagen tomada de <https://www.tecnopura.com>

Conecta el electrodo, con el micro controlador y la placa Arduino UNO de la siguiente manera:

El G que es el polo a tierra va conectado al pin GND de Arduino

El V+ va conectado a 5V de Arduino

El Po que es la salida analógica de la sonda va conectada al pin A0, que es la entrada analógica de Arduino

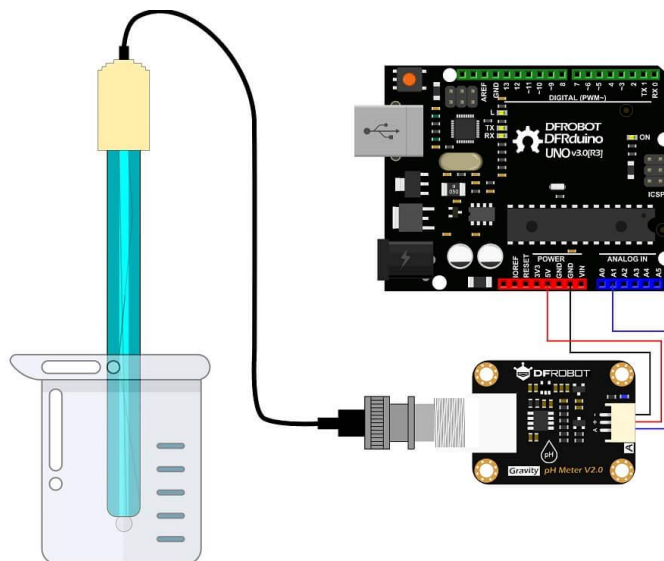


Imagen tomada de <https://forum.arduino.cc/t/como-filtrar-la-senal-analogica-de-la-sonda-de-ph/688549>

Sube el programa Arduino proporcionado por la profesora.

Calibra el electrodo de la siguiente forma:

Lava el electrodo

Sumérgelo en la solución patrón de 7, observa el valor de pH arrojado en la pantalla del computador. Si está desfasado, entonces calibra el potenciómetro OFFSET hasta que se observe un pH~7

Lava de nuevo el electrodo

Sumérgelo en la solución patrón de 4, observa el valor de pH arrojado en la pantalla del computador. Si está desfasado, entonces calibra el potenciómetro OFFSET hasta que se observe un pH~4.

Mide el pH de las muestras de agua lluvia recolectadas y anótalas en la siguiente tabla:

Fecha de toma de la muestra	Lugar de toma de la muestra	Observaciones	pH

Responde lo siguiente:

Predicción: Intenta crear un diagrama de flujo con las instrucciones que debe seguir el programa en Arduino para medir el pH.

Observación: ¿Por qué se requerirá calibrar el equipo antes de realizar una medición de pH?

Explicación: Analiza los resultados y determina si el pH del agua lluvia de Tuluá es ácido.

## Bibliografía

Escala de pH y ejemplos de diferentes sustancias. <https://pharmasciences.in/why-are-ph-values-mostly-in-a-range-of-0-0-to-14-0-ph-scale/>

Efectos de la lluvia ácida en ecosistemas forestales. <https://ecotrendies.com/cuales-son-los-efectos-y-consecuencias-de-lluvia-acida.html>

Efectos de la lluvia ácida en estructuras. <https://www.iagua.es/noticias/espana/fundacion-aquae/17/07/17/lluvia-acida-enemigo-invisible>

Efectos de la lluvia ácida en ecosistemas acuáticos. <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/iescristobaldemonroy/2018/06/03/la-lluvia-acida/>

Efectos de la lluvia ácida en las plantas. <https://thptnganamst.edu.vn/top-96-imagen-lluvia-acida-dibujos/>

Dibujo animado de la lluvia ácida. <https://www.gettyimages.es/ilustraciones/lluvia-%C3%A1cida>

video formación de la lluvia ácida. Disponible en el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=tXjPTbBMSAw>

Escala de pH. [https://energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Lluvia\\_%C3%A1cida](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Lluvia_%C3%A1cida)

Diagrama de formación de la lluvia ácida. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/lluvia-acida>

Robot Busky de Colombia aprende página 3. [https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_11/S/SM/SM\\_S\\_G11\\_U02\\_L06.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_11/S/SM/SM_S_G11_U02_L06.pdf)

Esquema de la teoría de Arrhenius. [https://www.cienciasfera.com/materiales/fisicayquimica/quimica/tema13/11\\_teora\\_de\\_arrhenius.html](https://www.cienciasfera.com/materiales/fisicayquimica/quimica/tema13/11_teora_de_arrhenius.html)

Esquema de la teoría de Bronted y Lowry. [https://www.cienciasfera.com/materiales/fisicayquimica/quimica/tema13/12\\_teora\\_de\\_brnsted\\_lowry.html](https://www.cienciasfera.com/materiales/fisicayquimica/quimica/tema13/12_teora_de_brnsted_lowry.html)

Esquema de la teoría de Lewis. <https://www.ejemplos.co/como-se-forman-los-acidos-bases-y-sales/>

Escala de pH tomado de Colombia aprende.  
[https://colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/2021-](https://colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2021-12/CIEN_9_B3_EST_WEB_COMPLETO.pdf)

[12/CIEN\\_9\\_B3\\_EST\\_WEB\\_COMPLETO.pdf](https://colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2021-12/CIEN_9_B3_EST_WEB_COMPLETO.pdf)

Escala de pH para el indicador de repollo morado. <https://retoexperimenta.es/2020/larc-de-sant-marti-experimentem-amb-el-ph/>

pH metro programado en Arduino. <https://forum.arduino.cc/t/como-filtrar-la-senal-analogica-de-la-sonda-de-ph/688549>

Placa de Arduino. <https://www.tecnopura.com/producto/arduino-uno-r3-mega328p-atmega16u2-incluye-cable-usb/>

## Actividad 2: Lluvia ácida

**Figura 7-5:** Esquema de las reacciones químicas que representan la formación de lluvia ácida.



*Nota. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Lluvia ácida.*

*<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/lluvia-acida>*

### Ideas previas

- Dificultad para describir un cambio químico
- Falta de relación del fenómeno de lluvia ácida y cambio químico

### Exploración

#### Objetivo:

Relacionar el concepto de cambio químico con el fenómeno de la lluvia ácida



Realiza la siguiente lectura y responde las preguntas:

El valle del Cauca posee una problemática ambiental debido a la quema constante de los cultivos de caña, la cual genera partículas sólidas negras (pavansa) que se divisan en el aire. Además, el incremento en el parque automotor supone un aumento en las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

¿Qué tipo de cambio ocurre en la quema de los cultivos de caña? Explica.

¿Qué tipo de cambio ocurre cuando se emiten gases a la atmósfera por los vehículos? Explica.

**Figura 7-6:** Quema de cultivos de caña.



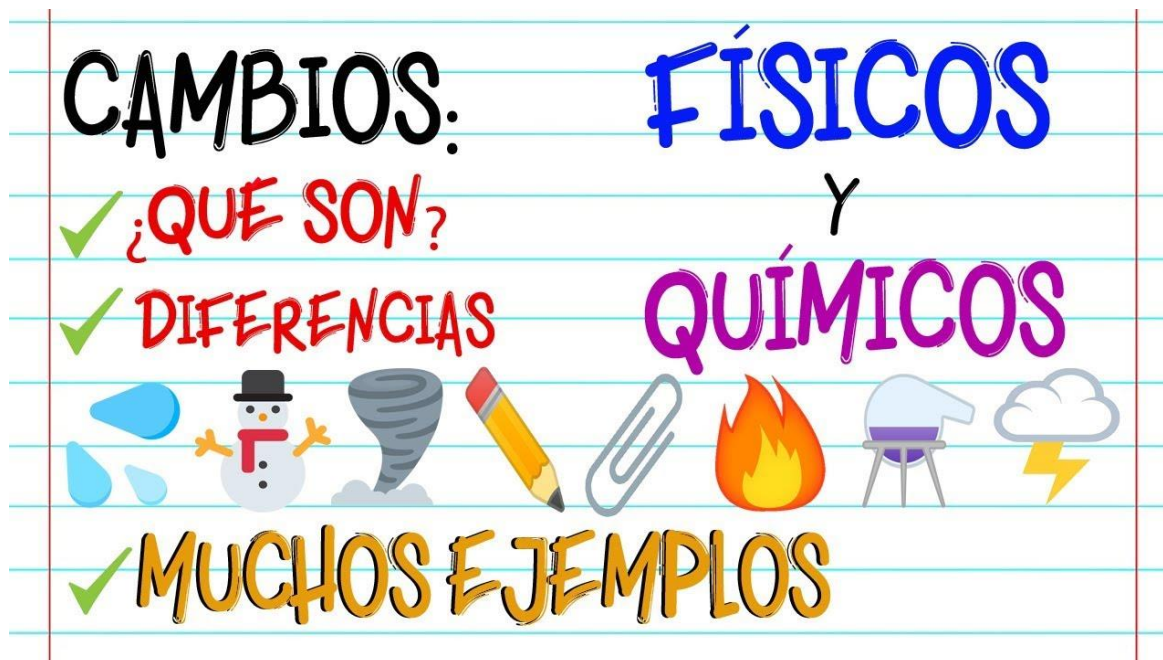
**Nota.** Quema de un cultivo de caña. Imagen tomada del periódico *elpais.com*.

Guía para el docente: en la primera clase se realizará la presentación de las fuentes de origen de la lluvia ácida. Se realizará primero un análisis individual para posteriormente discutir las respuestas en grupos de trabajo.

## Introducción

Inicialmente se presenta el siguiente video a los estudiantes

**Figura 7-7:** Ejemplos de cambios físicos y químicos.



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=yUNI64QGzII>

Después se realiza grupalmente la lectura titulada “¿Qué es la lluvia ácida y por qué se produce?” Texto tomado de la revista National Geographic publicado el 9 de septiembre de 2010, disponible en <https://www.nationalgeographic.es/>

¿Qué es la lluvia ácida y por qué se produce?

La lluvia ácida es principalmente causada por la quema de combustibles fósiles, como los utilizados en las plantas de carbón generadoras de electricidad, las fábricas y los tubos de escape de los automóviles. Cuando se queman estos combustibles, se liberan gases como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) a la atmósfera. Estos gases reaccionan con el agua, el O<sub>2</sub> y otras sustancias en la atmósfera para formar ácido sulfúrico y ácido nítrico, que son transportados por los vientos y, finalmente, caen a la Tierra en forma de lluvia ácida.

La lluvia ácida puede tener graves consecuencias para el medio ambiente, como la acidificación de cuerpos de agua, la degradación de suelos, daños a la vegetación y problemas de salud para los seres vivos. La lluvia ácida puede afectar negativamente la vida acuática y terrestre, así como la calidad del agua potable y la productividad agrícola. La acidificación de los océanos es otro fenómeno relacionado con la emisión de gases contaminantes. La liberación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera, principalmente debido a la quema de combustibles fósiles, también tiene un impacto significativo en los océanos. Cuando el  $\text{CO}_2$  se disuelve en el agua del mar, forma ácido carbónico, lo que conduce a la disminución del pH del océano, volviéndolo más ácido. Esta acidificación amenaza a la vida marina, especialmente a los organismos que dependen del carbonato de calcio para construir sus conchas y esqueletos, como los corales y algunas especies de moluscos.

Por ello, se debe enfatizar la importancia de tomar conciencia sobre la relación entre la actividad humana y la lluvia ácida, así como la acidificación de los océanos. Es esencial implementar medidas de mitigación para reducir las emisiones de gases contaminantes y proteger el medio ambiente. Estas medidas pueden incluir el uso de tecnologías más limpias, la promoción de energías renovables y la adopción de políticas ambientales más estrictas.

Después de realizar la lectura en grupos analiza la siguiente situación:

- De qué forma se podrían escribir químicamente los cambios descritos en la lectura.
- Identifica reactivos y productos en la formación de la lluvia ácida.

## Estructuración

En esta parte de la unidad didáctica se expone el siguiente contenido teórico sobre cambio químico y el tipo de reacciones que se pueden presentar.

Para esto se pide que los estudiantes lean y saquen un resumen del siguiente texto en sus cuadernos. El texto “Determina los cambios químicos” fue tomado de Colombia Aprende. La red del conocimiento. (s.f.). ¿Cuáles son los cambios químicos que identifico en mi

---

entorno?                      Página                      2.                      Recuperado                      de  
[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

### **Determina los cambios químicos**

La materia puede experimentar diferentes tipos de cambios, ya sean químicos o físicos. Los cambios químicos son procesos que ocurren de manera irreversible, lo que significa que la materia se transforma en nuevos productos y ya no puede volver a ser como antes. Imagina que la materia pasa por una especie de viaje en el que comienza en un estado inicial y, después de pasar por el cambio químico, termina en un estado final totalmente diferente.

Dentro de estos cambios químicos, podemos encontrar algunos ejemplos interesantes. Por ejemplo, la combustión, que es cuando un material se quema y libera energía en forma de calor y luz. También está la oxidación de las frutas y metales, que ocurre cuando ciertos materiales se combinan con el oxígeno del aire y cambian su composición, como cuando una manzana se pone marrón al exponerse al aire.

Otro proceso químico es la fermentación, que ocurre cuando algunos alimentos o bebidas, como el pan o el yogur, se producen gracias a la acción de microorganismos que hacen que los azúcares se conviertan en otras sustancias, como el dióxido de carbono y el alcohol. También tenemos la descomposición de residuos orgánicos, donde materiales como restos de comida se descomponen debido a la acción de microorganismos, generando nuevos compuestos y devolviendo nutrientes al suelo.

Por lo tanto, los cambios químicos son transformaciones importantes que sufren algunos materiales, creando nuevos productos y modificando su estructura en un camino irreversible. Es fascinante observar cómo estos procesos ocurren en la naturaleza y en

nuestro día a día, contribuyendo a la complejidad y diversidad del mundo que nos rodea.

### **Combustión**

Este es un proceso de oxidación en presencia de calor. Ejemplo, la llama del fuego quema el papel, como las de las hojas de cuaderno.



Fig. 002



Fig. 003

### **Oxidación**

Cambio lento que experimentan algunos tipos de materia en presencia de oxígeno. Ejemplo, cuando se muerde una manzana y su carne se deja expuesta al aire, comienza a cambiar de color, lo cual es una señal de que la manzana se está oxidando. También es muy común que ciertos metales, como el hierro, se oxiden cuando quedan expuestos al agua o aire.

### **Fermentación**

Transformación que experimenta el azúcar, por acción de algunos microorganismos, en alcohol y dióxido de carbono. Ejemplo, la fermentación de la cebada por efecto de la levadura, un hongo microscópico, en la producción de cerveza.



Fig. 004



Fig. 005

### **Descomposición (residuos orgánicos)**

Es la desintegración de compuestos orgánicos en sustancias más simples. Ejemplo, el compost, un abono orgánico elaborado a través de procesos de descomposición de la materia orgánica hasta obtener macro y micro nutrientes para las plantas.

Información tomada de colombiaprende.com

El texto “Diferencia los procesos reversibles e irreversibles” fue tomado de Colombia Aprende. La red del conocimiento. (s.f.). ¿Cuáles son los cambios químicos que identifico en mi entorno? Página 4. Recuperado de [https://www.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

### **Diferencia los procesos reversibles e irreversibles**

En la materia, pueden ocurrir procesos que se dividen en dos tipos: cambios físicos y cambios químicos. Los cambios físicos son aquellos que pueden revertirse, es decir, que transforman el estado de la materia, pero esta puede volver a su estado original. En cambio, los cambios químicos son irreversibles, ya que modifican las propiedades de la materia de una manera significativa.

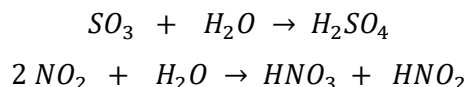
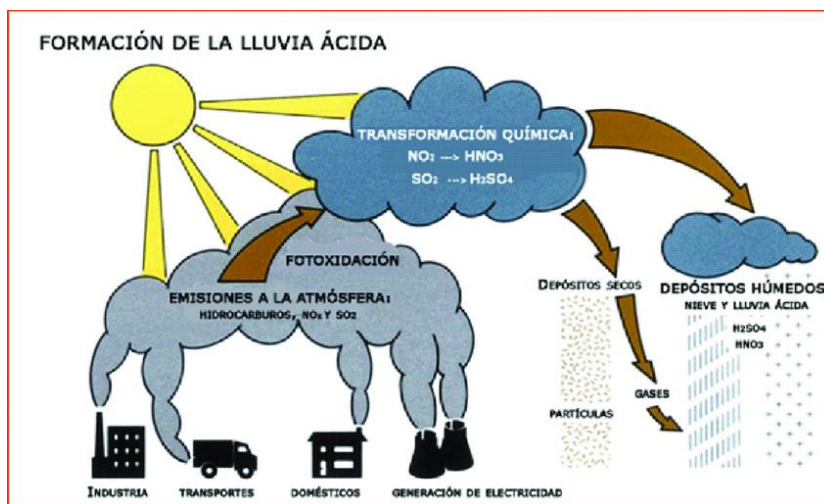
Los cambios físicos son transformaciones temporales en la materia. Se puede observar como si la materia estuviera probando diferentes disfraces, pero siempre puede volver a su ropa original. Estos cambios no generan nuevos productos ni alteran la naturaleza básica de la materia. Un ejemplo de cambio físico es cuando un bloque de hielo se derrite y se convierte en agua líquida. Si luego enfriamos esa agua, se puede convertir nuevamente en hielo.

En cambio, los cambios químicos son cambios permanentes en la materia. Es como si la materia estuviera pasando por una transformación completa y ya no puede volver a ser como antes. En este caso, los elementos iniciales se combinan y se transforman en otras sustancias totalmente diferentes. Un ejemplo de cambio químico es cuando se quema una hoja de papel. La hoja de papel se convierte en cenizas, y ya no se puede volver a tener la hoja original.

### **Química de la lluvia ácida**

De acuerdo con el esquema de formación de lluvia ácida, se puede determinar que las principales reacciones que se llevan a cabo en este fenómeno son:





## Aplicación

Lee el siguiente texto y aplica tus conocimientos. El texto “Lluvia ácida: amenaza al patrimonio cultural” fue tomado de Eugenia Aguilar (2016). Página 129. Texto de Ciencias Naturales – Química 1º Educación media. Disponible en

### Lluvia ácida: amenaza al patrimonio cultural

El paso del tiempo y el clima han afectado la fisonomía de construcciones históricas, como las pirámides en Egipto, el Taj Mahal en India y la Acrópolis en Atenas. Según la autora, uno de los principales factores que contribuyen a esta transformación es la llamada lluvia ácida. Aunque este fenómeno también puede ser natural debido a emisiones volcánicas o descomposición de vegetación, se ha agravado significativamente debido a las emisiones de gases provenientes de plantas industriales y vehículos.

En el año 2013, investigadores de la Universidad Católica de Valparaíso crearon un sitio web que mostraba el mapa de la corrosión atmosférica, basado en una red de 31 estaciones distribuidas a lo largo de Chile. El objetivo principal era medir la velocidad a la

que ocurre la corrosión de metales y aleaciones de interés industrial para identificar los materiales más adecuados en diferentes zonas. Sin embargo, esta información también proporcionó pistas sobre las áreas donde las estructuras y monumentos históricos están más expuestos a daños causados por el clima y contaminantes atmosféricos.

El impacto de la lluvia ácida en los monumentos y el patrimonio arquitectónico es un tema que, según el arquitecto Cristóbal Noguera, académico de la Universidad San Sebastián, no ha sido ampliamente asumido ni investigado en la región. La lluvia ácida puede causar daños a largo plazo, lo que implica la necesidad de realizar tareas de mantenimiento, reparación o incluso reconstrucción, lo que conlleva costos significativos.

Como ejemplo ilustrativo, el texto muestra una figura de piedra caliza en un castillo de



Westphalia, Alemania, fotografiada en 1908 y luego en 1968. Es evidente cómo el paso del tiempo y los efectos de la lluvia ácida han afectado la estructura de la piedra, lo que resalta la importancia de considerar y abordar los efectos negativos de este fenómeno en el patrimonio arquitectónico.

*Figura de piedra caliza en un castillo de Westphalia, Alemania, fotografiado en 1908 (Izquierda) y luego en 1968 (derecha). Foto de Schmidt-Thomsen.*

En contexto, la lluvia ácida es un problema ambiental causado por la emisión de gases contaminantes, como dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de actividades industriales y vehículos. Estos gases reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias en la atmósfera, formando ácidos que luego caen a la Tierra en forma de lluvia ácida. Este fenómeno ha sido objeto de preocupación debido a sus efectos dañinos en la salud humana, los ecosistemas naturales y el patrimonio arquitectónico y cultural. Para abordar este problema, es importante tomar medidas para reducir las emisiones de gases contaminantes y proteger el medio ambiente y el valioso patrimonio histórico y arquitectónico de la humanidad.



De acuerdo con la información anteriormente plasmada analiza:

1. ¿El cambio que tienen las estructuras en su superficie es químico o físico? Explica tu respuesta.
2. ¿Cómo plantearías las ecuaciones químicas que representan el cambio en las estructuras?
3. ¿Qué estrategias plantearías para prevenir el deterioro del patrimonio cultural?

## Bibliografía

Video ejemplos de cambios químicos y físicos. Disponible en el enlace <https://www.youtube.com/watch?v=yUNI64QGzII>

Definición de reacción de combustión.  
[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

Definición de reacción de oxidación.  
[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

Definición de reacción de fermentación.  
[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

Definición de reacción de descomposición.  
[https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

Lluvia ácida: amenaza al patrimonio cultural. Texto tomado de Eugenia Aguilar Garay, Ciencias Naturales – Química 1º Educación Media.

# Actividad 3: Efectos de la Lluvia ácida

## Ideas previas

Dificultad para relacionar el fenómeno de lluvia ácida y sus efectos

## Exploración

### Objetivo:

Comprender el fenómeno de la lluvia ácida y su relación con la estequiometría de las reacciones químicas, así como los cálculos estequiométricos involucrados en la formación de ácidos y sus efectos en el medio ambiente.

La noticia fue presentada por el medio de comunicaciones Caracol Radio Cali el 17 de febrero de 2020 en su plataforma web. Disponible en [https://caracol.com.co/emisora/2020/02/17/cali/1581949249\\_173062.html](https://caracol.com.co/emisora/2020/02/17/cali/1581949249_173062.html)

Realiza la lectura de la siguiente noticia:

### **Cali, a un paso de la alerta naranja por contaminación del aire**

La preocupante situación de contaminación del aire en el sur de Cali, Colombia. Según el medio, los estudios recientes han indicado que el aire en esta zona muestra altos niveles de contaminación. La estación de monitoreo del aire ubicada en la Universidad del Valle ha registrado intermitencia entre el nivel límite y el nivel respirable de partículas contaminantes.

La autoridad ambiental DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) se encuentra en alerta debido a la situación. Si los niveles de contaminación se mantienen en el límite durante 48 horas, se activará un protocolo para declarar la alerta naranja, lo que indica una situación de riesgo y peligro para la salud pública.

El director de DAGMA, Carlos Calderón, ha explicado que la calidad del aire es un problema que también se está presentando en otras ciudades principales del país. En Cali, ya se han registrado dos episodios en los que se ha llegado al límite permitido de saturación de partículas contaminantes. Esta contaminación está siendo principalmente causada por el parque automotor, es decir, los vehículos que circulan en la ciudad.

Las comunas más afectadas por esta situación son la 17, 18 y 22. Por ello, se realiza un llamado a las personas más vulnerables, como los adultos mayores, niños, mujeres embarazadas y aquellos que padecen enfermedades respiratorias, a abstenerse de realizar actividades al aire libre. Estos grupos de población son más susceptibles a sufrir problemas de salud relacionados con la mala calidad del aire.

Contextualmente, la contaminación del aire es un problema grave en muchas ciudades del mundo, y Cali no es una excepción. Las emisiones de gases y partículas contaminantes provenientes del tráfico vehicular, las industrias y otras fuentes antropogénicas afectan la calidad del aire y tienen consecuencias negativas para la salud y el medio ambiente. Es importante que las autoridades y la población trabajen juntos para implementar medidas de mitigación y concienciar sobre la importancia de reducir la contaminación del aire para proteger la salud pública y el bienestar de la comunidad.

¿Qué información relevante puede brindar la estequiometría para la comprensión del fenómeno de contaminación del aire en Cali, y el fenómeno de producción de lluvia ácida?

En grupos socialicen sus respuestas y lleguen a una conclusión general.

## Introducción

En la vida cotidiana, muchas de las cosas que se experimentan están relacionadas con reacciones químicas. Por ejemplo, los procesos de digestión, movimiento, sensaciones

nerviosas, crecimiento de las plantas y el funcionamiento de los autos involucran reacciones químicas. Todas estas transformaciones siguen la ley de la conservación de la materia, también conocida como la ley de Lomonósov-Lavoisier.

Esta ley fundamental en las ciencias naturales establece que, en una reacción química ordinaria, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos obtenidos. En otras palabras, la cantidad de materia que se consume al inicio de la reacción es igual a la cantidad de materia que se obtiene como resultado. Esta ley es esencial para la estequiometría, un área que estudia las relaciones cuantitativas entre las sustancias involucradas en las reacciones químicas.

Comprender la ley de la conservación de la materia es importante para entender cómo ocurren las reacciones químicas y cómo los diferentes componentes se combinan y transforman para dar lugar a nuevos productos. Es un concepto fundamental para explorar y entender el mundo de la química y cómo afecta nuestra vida diaria.

## Estructuración

El texto “EL BALANCEO DE ECUACIONES” fue tomado de Colombia Aprende. La red del conocimiento. (s.f.). ¿Cuál es el significado de los coeficientes estequiométricos en las ecuaciones químicas? Página 15. Recuperado de [https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/contenidosaprender/G\\_5/S/SM/SM\\_S\\_G05\\_U01\\_L05.pdf](https://www.colombiaaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/contenidosaprender/G_5/S/SM/SM_S_G05_U01_L05.pdf)

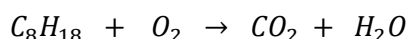
### EL BALANCEO DE ECUACIONES

“El balanceo de ecuaciones químicas se utiliza para hacer cálculos de las cantidades de reactivos necesarios en una reacción y la cantidad y características de los productos que se obtendrán en esta. Las ecuaciones químicas se pueden balancear de diferentes métodos, los más comunes son:

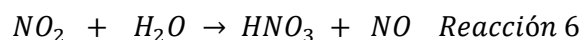
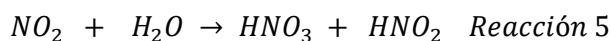
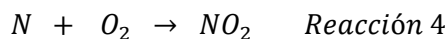
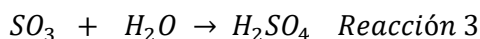
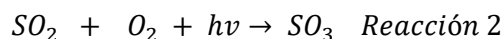
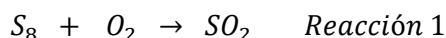
- Método de Tanteo: Consiste en ir cambiando los coeficientes de los reactivos y productos hasta lograr una igualdad en ambos lados de la ecuación.

- Métodos de óxido reducción: En este método se utilizan los números de oxidación de cada elemento que interviene en la reacción y cálculos algebraicos que permiten determinar una relación entre los coeficientes de las moléculas y la transferencia de electrones.
- Métodos de Ion electrón: Este método es utilizado cuando las ecuaciones son demasiado complejas y en donde el método del tanteo u oxido reducción resulta poco práctico. En él se determina mediante cálculos matemáticos la media de la reacción entre los iones y electrones que intervienen. Para entender este método se debe entender claramente las disociaciones de ácidos, bases y sales.
- Método Algebraico: En este método se les asignan letras a los coeficientes y luego se encuentran los valores de esas variables con métodos algebraicos.

La gasolina está formada esencialmente por octanos, la reacción de combustión que se da en el motor es la siguiente:



Además, el combustible fósil tiene en su composición azufre y debido a la reacción se forman óxidos de nitrógeno como se muestra en las siguientes reacciones:



Con base en las reacciones presentadas balancea las ecuaciones por el método del tanteo, usando las plastilinas para representar cada uno de los átomos presentes en la reacción.

## Aplicación

Los estudiantes trabajarán en grupos para realizar completar la investigación del monitoreo de pH en el agua lluvia de la ciudad.

Con los datos de pH obtenidos se realizarán los cálculos estequiométricos para determinar la cantidad de óxidos de azufre y nitrógeno necesarios para formar una cantidad determinada de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Los resultados se presentaran en una exposición oral frente a sus compañeros.

## Bibliografía

Textos tomado de  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/62202/Las%20analog%C3%ADas%20en%20la%20ense%C3%B1anza%20de%20la%20estequiometr%C3%ADa%20en%20d%C3%A9cimo%20grado..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## Bibliografía

- Alvarado, C., Cañada, F., Mellado, V., & Garritz, A. (2013). *Dificultades en el aprendizaje de acidez y basicidad y el conocimiento didáctico del contenido de profesores mexicanos de bachillerato [Difficulties in the learning of acidity and basicity and the didactic knowledge of the content of mexican bacculaureate]*. 107–112.
- Barreto, L. (2019). *Algunos elementos básicos sobre la lluvia ácida*.  
<https://www.thoughtco.com/acid-rain-definition-1434936>.
- Basso, A., & Lorenzo, M. G. (2018). Lluvia ácida en contexto: una propuesta didáctica con enfoque CTS. *Educación En La Química*, 24(2), 155–168.
- Bybee, R. W. (2014). NGSS and the next generation of science teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 211–215.
- Caamaño, A. (2006). Retos del currículum de química en la educación secundaria. La selección y contextualización de los contenidos de química en los currículos de Inglaterra, Portugal, Francia y España. *Educación Química*, 17, 195–208.
- Caño, A., & Burgoa, B. (2017). PISA : Competencia Científica. Marco y análisis de los ítems. *Oecd*, 292.  
[https://www.berrigasteiz.com/site\\_argitalpenak/docs/312\\_evaluacion\\_pisa/3122017006c\\_Pub\\_ISEI\\_PISA\\_2017\\_zientifikoa\\_I\\_c.pdf](https://www.berrigasteiz.com/site_argitalpenak/docs/312_evaluacion_pisa/3122017006c_Pub_ISEI_PISA_2017_zientifikoa_I_c.pdf)
- Carlos, J., & Pérez, P. (2017). *Las analogías en la enseñanza de la estequiometría en décimo grado*.
- Caycho, T., Ventura-León, J., & Castillo-Blanco, R. (2016). Magnitud del efecto para la diferencia de dos grupos en ciencias de la salud. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 39(3), 459–461.
- Chamizo Guerrero, J., & Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía. *Alambique: Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 46, 9–17.
- Daza Pérez, E. P., Gras-Marti, A., Gras-Velázquez, À., Guevara, N. G., Togasi, A. G., Joyce, A., Mora-Torres, E., Pedraza, Y., Ripoll, E., & Santos, J. (2009). Experiencias de enseñanza de la química con el apoyo de las TIC. *Educación Química*, 20(3),

320–329. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30032-6](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30032-6)

De Jong, O. (1996). La investigación activa como herramienta para mejorar la enseñanza de la química: nuevos enfoques. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14, 279–288.

Ecología verde (7 de julio de 2023). Lluvia ácida: definición, causas y consecuencias. <https://www.ecologiaverde.com/lluvia-acida-definicion-causas-y-consecuencias-1052.html>

Edwards, D., & Mercer, N. (1988). *El conocimiento compartido: el desarrollo de la comprensión en el aula*.

Eliécer, J., Ramírez, M., Chávez, J. H., Hugo, V., & López, G. (2009). *¡¡estequiometría visible!!* 6(3), 477–482.

Esteban, A. (2005). Química, educación ambiental y vida cotidiana: el ozono troposférico. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 23(2), 251-262–262.

Gabel, D. L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193–194. <https://doi.org/10.1021/ed070p193>

Garcés, L. F., & Hernández, M. L. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 67–72. <http://hdl.handle.net/10567/190>

García, A., López G., Ramírez, P. (2021). Estudio de concepciones alternativas sobre la lluvia ácida en estudiantes de educación secundaria. *Revista de Educación En Ciencias Experimentales*, 2, 117–131.

García, L. (2019). *Mejora de la motivación en alumnos de 2º de Bachillerato en Genética y Biotecnología mediante Aprendizaje Basado en Proyectos*. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/8214>

García, V., Rodríguez, A., & Pérez, C. (2018). Dificultades de los estudiantes en la identificación de cambios químicos y físicos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 15(1), 1370–1383.



- Gómez, W., Lozano, A., & Amórtegui, E. (2020). Desarrollando “grandes ideas de la ciencia” a través de una práctica pedagógica en un colegio oficial de Neiva. *Revista Electrónica EDUCyT*, 11, 327–338.
- Granados, D., López, G., & Hernández, M. (2010). Lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 16(2), 187–206.
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F., & Hernández García, M. Á. (2010). La Lluvia Ácida Y Los Ecosistemas Forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales Y Del Ambiente*, XVI(2), 187–206. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.022>
- Hernández, Sampieri; Fernández, Carlos; Baptista, M. del P. (2018). *Metodología de la investigación* (McGraw-Hill (ed.); Sexta).
- ICFES. (2021). *Reporte de resultados* (Issue 37).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (7 de julio de 2023). Lluvia ácida. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/lluvia-acida>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (7 de julio de 2023). Efectos en construcciones, materiales y pinturas. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-problema-de-la-lluvia-acida>
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque en la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(3), 115–136. <https://doi.org/10.17227/01203916.4997>
- Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 17(1), 45–59.
- Johnson, M., Berkowitz, A., & Wee, B. (2020). Identifying chemical change: Comparing student interpretations of macroscopic, microscopic, and symbolic representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(2), 401–417.
- Jorba, J., & Sanmartí, N. (1996). Enseñar, aprender y evaluar: Un proceso de regulación continua. Propuesta didáctica para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas. *Ministerio de Educación y Cultura*, January 1996, 319.

- Kala, N., Yaman, F., & Ayas, A. (2013). THE EFFECTIVENESS OF PREDICT-OBSERVE-EXPLAIN TECHNIQUE IN PROBING STUDENTS' UNDERSTANDING ABOUT ACID-BASE CHEMISTRY: A CASE FOR THE CONCEPTS OF pH, pOH, AND STRENGTH. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(3), 555–574. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9354-z>
- Liso, M. R. J., Torres, E. de M., García, F. G., & López, F. S. (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: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 18(3), 451–461. <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21696>
- Mancipe, M. (2012). Enfoque CTSA y lluvia ácida: aproximación a la química partiendo de una cuestión socio-científica. *PPDQ Boletín Universidad Pedagógica*, 49(0122–7866), 23–29.
- Marcano, K. (2010). Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría Application of a didactic game as pedagogical strategy fo. *Revista de Investigación N°*, 84, 2015.
- Marquínez, L. (2018). *Proyecto de Aula para el Aprendizaje Significativo de los Conceptos de Acidez y Basicidad por el Análisis de su Efecto en el Crecimiento y Desarrollo de Plantas Cultivadas en Suelos con Diferente pH*.
- Martínez, V. A., & Ibanez, J. G. (2020). All Roads Lead to Rome: Triple Stoichiometry with a Lithium Battery. *Journal of Chemical Education*, 97(11), 4103–4107. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00876>
- Méndez Coca, D. (2013). ¿Cómo afrontan los alumnos en secundaria las reacciones químicas? How do students in secondary education face chemical reactions? *Aula de Encuentro*, 15, 129–137. [https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/158568/CÓMO\\_AFRONTAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/158568/CÓMO_AFRONTAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Merino, C; Pino, S; Meyer, E; Garrido, J; & Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para

- el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26 (2), 94–99.
- MINEDUCACIÓN. (2017). *Aulas sin fronteras. Ciencias 9°*.  
<https://isbn.cloud/9789587851342/aulas-sin-fronteras-guia-para-estudiantes-ciencias-9-3-bimestre/>
- Ministerio de Educación Nacional. (2004). *La formación en ciencias: ¡el desafío!. – Lo que necesitamos saber y saber hacer*. [https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-81033\\_archivo\\_pdf.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1780/articles-81033_archivo_pdf.pdf)
- Molnár, J., & Molnár-Hamvas, L. (2011). LEGO-Method--New Strategy for Chemistry Calculation. *US-China Education Review B*, 7, 891–908.
- Moreno, S. (2017). *Uso de proyectos de investigación en un club de ciencias con experimentación*. Universidad Nacional de Colombia.
- Mosquera, J. C. F. C. (2008). *El cambio didáctico en profesores universitarios de química a través de un programa de actividades basado en la enseñanza por investigación orientada*. 154, 115–154.
- National Geographic. (2010). *Lluvia ácida*. Medio Ambiente.  
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>
- National Geographic (7 de julio de 2023). *¿Qué es la lluvia ácida y por qué se produce?*  
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>
- Niemeyer, B. (2006). El aprendizaje situado: una oportunidad para escapar del enfoque del déficit. *Revista de Educación*, 341, 99–122.  
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2165128&info=resumen&idioma=SPA>
- Obando, S. (2013). *Implementación de estrategias didácticas para la enseñanza de la estequiometría en estudiantes del grado once de enseñanza media*. 92.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20044>
- Ocampo, J. (2018). *Enseñanza-aprendizaje del concepto de acidez y pH en grado décimo, bajo la metodología de la ingeniería Didáctica*.

- 
- OCDE, O. para la cooperación y el desarrollo económico. (2006). *El programa PISA de la OCDE: Qué es y para qué sirve*. 34.
- OMS. (2021). WHO global air quality guidelines. *Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*, 1–360.
- ONU. (2015a). *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- ONU. (2015b). *Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>
- Othaman, R., Badri, K. H., Hanifah, S. A., Zakaria, Z., Aziz, Y. F. A., & Daik, R. (2012). Chemistry Outreach Program and its Impact on Secondary School Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 59(May 2014), 692–696. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.332>
- Pacheco, A. R., Lorduy, D. J., Flórez, E. P., & Páez, J. C. (2021). Uso de simuladores phet para el aprendizaje del concepto de soluciones desde las representaciones en química. *Revista Boletín Redipe*, 10(7), 201–213. <https://doi.org/10.36260/rbr.v10i7.1358>
- Penagos, P., Colombiana, E., & Garavito, J. (2007). El aprendizaje situado como una alternativa en la formación de competencias en ingeniería. *Revista Educación En Ingeniería, Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería: ACOFI*, 1–13.
- Radinger, T., Echazarra, A., Guerrero, G., Pablo, J., & Al, V. (2018). *OCDE Revisión de Recursos Escolares COLOMBIA*. [www.oecd.org/education/schoolresourcesreview.htm](http://www.oecd.org/education/schoolresourcesreview.htm)[www.oecd-ilibrary.org](http://www.oecd-ilibrary.org)
- Ruíz, L. (2013). *Aprendizaje activo de Cambio Químico en Educación Media por medio de una Caja Didáctica*. [Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/12950/1/1186841.2013.pdf>
- Sanmartí, N. (2008). *10 ideas claves. Evaluar par aprender*. Editorial GRAÓ.

- Santos, L., & da Silva, M. (2013). *O estado da arte sobre estequiometria: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino*.
- Sarmiento Navarrete, H. M. (2015). *Diseño de un objeto virtual de aprendizaje para mejorar la enseñanza aprendizaje del tema de reacciones químicas*.  
<http://www.bdigital.unal.edu.co/49418/>
- Smith, J., Jhonson, M., & Anderson, C. (2019). Development and assessment of a three-tier diagnostic instrument to evaluate high school students' understanding of the processes involved in the formation of acid rain. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1549–1571.
- Szabadvary, F., & Oesper, R. (1964). Development of the pH concept: A historical survey. *Journal of Chemical Education*, 41(2), 105.
- Tabares Ospina, P. A. (2018). *Diseño e implementación de un proyecto de aula que contribuya al aprendizaje de la estequiometría a partir del aprendizaje basado en problemas y la experimentación*. <https://bit.ly/3rE1Ojg>
- Taber, K., & García, A. (2021). Students' conceptions of chemical change. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 603–618.
- Telleria, M. (2012). Las TIC en la educación: nuevos ambientes de aprendizaje para la interacción educativa. *Revista de Teoría y Didáctica de Las Ciencias Sociales*, 18, 83–112.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Outdoor Air Pollution Respiratory Health Effects in Children. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118.  
<https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.12.003>
- Useche Gutiérrez, G., & Vargas Guativa, J. (2019). Una revisión desde la epistemología de las ciencias, la educación STEM y el bajo desempeño de las ciencias naturales en la educación básica y media. *Revista Temas*, 13, 109–121.  
<https://doi.org/10.15332/rt.v0i13.2337>
- Whitten, K., Raymond, D., Larry, P., & Stanley, G. (2015). *Química* (A. Vega (ed.); 10th ed.).
- York, T. U. of the S. of N. (2009). *Inter-Level Science, Spanish Edition-Spring '09*.

<https://www.nysedregents.org/grade8/science/Spanish/2009exam.pdf>