



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**

Formadora de educadores

**pH, HISTORIA DE UN CONCEPTO. ANÁLISIS EN TEXTOS DE
EDUCACIÓN SUPERIOR**

ADRIANA MARCELA ALMÉCIGA GÓMEZ

MARYLUZ MUÑOZ MARTINEZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ
2013**



**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA
NACIONAL**
Educadora de educadores

**pH, HISTORIA DE UN CONCEPTO. ANÁLISIS EN TEXTOS DE
EDUCACIÓN SUPERIOR**

**ADRIANA MARCELA ALMÉCIGA GÓMEZ
MARYLUZ MUÑOZ MARTINEZ**

Director

Mag. ROYMAN PÉREZ MIRANDA
Profesor de la Maestría en Química U.P.N.

**TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN
DOCENCIA DE LA QUÍMICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ**

Bogotá. Diciembre, 2013

Notas de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Acuerdo 031 de Consejo Superior del 2007, artículo 42, parágrafo 2:

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

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo de investigación no hubiese sido posible sin la ayuda incondicional de personas que durante el proceso nos enriquecieron con su conocimiento.

Gracias profesor Royman Pérez Miranda por su dedicación, constancia y orientación para enseñarnos nuevos caminos en la construcción de conocimientos.

A nuestro profesor y amigo Fredy Garay Garay por su apoyo y orientación frente a los constantes retos que surgieron durante nuestra investigación.

A Luis Eduardo Peña Prieto por sus sabios consejos y aportes académicos y personales.

Gracias a Dios por permitirme cumplir este gran sueño y seguir creciendo como persona y profesional.

A mi compañero de vida, a mi esposo, Luis Eduardo, quien ha sido un ser incondicional, un hombre ejemplar, un padre maravilloso, con quien he compartido la mayor parte de mi vida, que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido amigo y compañero inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento quien ha sido el impulso durante el desarrollo de mi maestría y el pilar principal para la culminación de la misma....te amo nene....

A mi hijo Sergio Eduardo, quien esperaba ansioso la culminación de esta etapa, mi razón de ser, mi orgullo, el motor de mi vida. Quien me hace la vida más fácil con su gran afición al deporte. Por ser el ser que Dios me regaló para darle sentido a mi vida....te amo hijo mío....

A mi madre, por el gran amor incondicional que me brinda, por haberme formado sin importar los obstáculos por los que tuvo que pasar, por ser mi amiga y compañera, la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla.....gracias mami....

A mis hermanos, quienes han estado en todos los momentos importantes de mi vida....

A mi princesa, Luna Xue, ya que cada vez que estoy con ella olvido todos los problemas que pueda tener para perderme en sus hermosos ojos...te amo mi princesita..

A mi amiga Mary, quien aparte de ser mi compañera en esta investigación, es mi amiga con quien he reído, he llorado, he pasado grandes momentos y a quien admiro profundamente....gracias amiguita por entenderme y estar en los momentos en los que más te necesito....

A mi Kika.... Ya que mi meta en la vida es ser tan buena persona como ella ya cree que soy.

Adriana Marcela Alméciga Gómez

“Tu amor y bondad me acompañan todos los días de mi vida” Salmo 23;6

Gracias a Dios por la vida y por permitirme crecer como persona y profesional ante los retos que significó alcanzar esta meta.

A mi madre Yolanda Martínez por su amor, confianza, paciencia, apoyo y ayuda constante para culminar con éxito este proyecto profesional.

A mi hermana Claudia Marcela, mi hermano Jimmy, mis sobrinos Danna Valentina y Juan Camilo por su acompañamiento, cariño y respaldo.

A mi gran amiga Adriana Marcela Alméciga porque a través de la discusión académica aprendí, cómplice de sueños, compañía sincera y fiel en las alegrías y tristezas.

Maryluz Muñoz Martínez.

FORMATO
RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	pH: Historia de un Concepto. Análisis en Textos de Educación Superior
Autor(es)	Alméciga Gómez, Adriana Marcela; Muñoz Martínez, Maryluz
Director	Pérez Miranda, Royman
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2013. 151 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional.
Palabras Claves	Transposición Didáctica, Libros de Texto, Epistemología, pH, Historia.

2. Descripción
Tesis de grado con la que se propuso revisar histórica y epistemológicamente la construcción del concepto pH teniendo en cuenta el entorno en el cual emerge, su estructura, y las transformaciones que a lo largo de la historia se han introducido, para comprender las dificultades que se tienen para su enseñanza y su aprendizaje, como también la versión de ciencia y de química que estructuran los textos de química referidos, a partir de dicho concepto. A partir de la reconstrucción histórico-epistemológica del concepto pH se establecieron dieciséis criterios de análisis agrupados en cuatro categorías, los cuales fueron validados por especialistas, y de esta manera comparar la construcción del concepto de acuerdo a lo determinado por Sören Sörensen y la que presentan los diferentes autores en los libros de texto.

3. Fuentes
En la presente investigación se utilizaron las siguientes referencias: Arrhenius, S. (1887). <i>On the Dissociation of Substances Dissolved in Water. Zeitschrift fur physikalische Chemie</i>, I, 631, Translated by H.C. Jones. Chevallard, Y. (1985). <i>La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble, La Pensée Sauvage.</i> Da Silva, M., y Afonso, J. (2007). <i>De Svante Arrhenius Ao Peagâmetro Digital: 100 años de Medida de Acidez</i>. Química Nova. Vol.30. No. 1. Pp. 232-239.

Garriga, R. (1930). *Importancia del pH en la industria química y sus principales aplicaciones*. Revista tecnológica industrial 146. Pp. 227-231.

Gómez, M. (2005). *La transposición didáctica: Historia de un concepto*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. Volumen 1, Julio - Diciembre 2005. Pp. 83-115.

Izquierdo, M. (1994). *¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?* Aula de Innovación Educativa. [Versión electrónica]. Revista Aula de Innovación Educativa 27.

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

Kordatzki, W. (1942). *Manual para la medida práctica del pH en los laboratorios científicos e industriales*. Barcelona. Editor Manuel Marin. Pp. 1-36.

Sörensen, S. (1909). *Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes*. Biochemische Zeitschrift. Pp. 131-134, 159-160.

Taber, K. (2001). *Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research*. Homerton College, University Of Cambridge & Royal Society Of Chemistry. Research And Practice In Europe, Vol. 2, No. 2. Pp. 123-158.

4. Contenidos

El lector encontrará en este documento, además de la introducción, una justificación; unas intencionalidades; un marco conceptual el cual comprende unos antecedentes, una fundamentación epistemológica, didáctica y pedagógica, un marco metodológico donde se presenta la descripción y formulación del problema, la metodología, los instrumentos con los cuales se recogerá la información para realizar el análisis de los respectivos textos, a partir de categorías y criterios de análisis. Finaliza con los resultados de la investigación, los análisis correspondientes y las conclusiones.

5. Metodología

La investigación se realizó en varias etapas. La primera consistió en la recolección, selección, análisis y evaluación de documentos de la literatura especializada en la temática objeto de estudio. Posteriormente, se elaboró la reconstrucción histórico-epistemológica del concepto pH y se formularon los criterios de análisis para la evaluación de los libros de texto de Química General. Luego se realizó la selección de los libros de texto efectuando una encuesta en las Universidades: Distrital Francisco José de Caldas, Pedagógica Nacional y Antonio Nariño, a profesores encargados de la asignatura de Química General en los proyectos de Licenciatura en Química. De

este proceso se extrae una muestra de los 10 libros de texto más usados por los profesores y que a su vez son recomendados a los estudiantes. Finalmente, según los criterios de análisis propuestos desde la reconstrucción histórica del concepto pH establecidos anteriormente, se realizó el análisis de contenido y la evaluación de los libros de texto seleccionados.

6. Conclusiones

Gracias a la reconstrucción histórica y epistemológica se definen 16 unidades de análisis que se agrupan en 4 categorías: fundamentos conceptuales, tecnológica, económica y social que permiten contextualizar el concepto pH lo más fielmente posible con lo sucedido en el momento histórico en el que se presentó, pues ello influyó en su conceptualización y en los posteriores desarrollos del mismo. Sören Sørensen por la necesidad de establecer la incidencia de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación mientras trabajaba en la fábrica Carlsberg, lo llevo en 1909 a proponer el concepto pH como respuesta a la necesidad de una medida clara y precisa de la acidez en la producción de cerveza. Sørensen lo expresa como exponente de iones hidrógeno pH . Posteriormente en 1924, Sørensen and Linderstrøm-Lang propusieron una nueva definición de pH en la que se cambia la concentración de iones hidrógeno por la actividad del ion hidrógeno para expresar la acidez.

En algunos libros según los criterios de análisis establecidos la ciencia y la química pueden mostrarse como ciencia moderna al relacionar los conceptos con los contextos y las necesidades sociales, pero la mayoría de los libros no han tenido en cuenta los suficientes aspectos históricos y epistemológicos en la construcción del concepto pH presentándose una versión de ciencia y de química aproblemática, ahistórica, acumulativa, individualista y descontextualizada lo que difiere significativamente con lo que se debería enseñar en las aulas de clase.

El papel de la historia en la enseñanza de la química muestra un panorama donde el conocimiento es el fruto del trabajo colectivo, el cual puede convertirse en una herramienta clave para los autores de libros de texto y para los profesores donde sea posible la transformación de los discursos y estos a su vez incidan positivamente en las prácticas de enseñanza.

Elaborado por:	Alméciga Gómez, Adriana Marcela; Muñoz Martínez, Maryluz
Revisado por:	Pérez Miranda Royman

Fecha de elaboración del Resumen:	4	12	2013
--	---	----	------

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. JUSTIFICACIÓN	17
2. INTENCIONALIDADES	19
3. MARCO CONCEPTUAL	20
3.1. ANTECEDENTES	20
3.1.1. TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA	23
3.2. LOS TEXTOS	25
3.3. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS	27
3.3.1. Reconstrucción epistemológica del entorno científico en el cual emerge el concepto pH	30
3.4. HERMENÉUTICA	31
3.5. ANÁLISIS DE CONTENIDO	32
3.5.1. Tipos de análisis de contenido	34
3.5.2. Etapas técnicas de análisis de contenido	37
3.6. HISTORIA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	38
3.7. A CERCA DEL CONCEPTO pH	40
3.7.1. pH Sørensen	53
3.7.2. Importancia del Ion Hidrógeno en Sistemas Biológicos	55
3.7.3. El pH como sistema de medida	58
3.7.4. Métodos prácticos para determinar el pH	59
3.7.5. Matematización del concepto pH	63
3.7.6. Potenciales de acidez con disolvente no acuosos	66
3.7.7. Dificultades en su aprendizaje	68
4. MARCO METODOLÓGICO	70
4.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	70
4.2. METODOLOGÍA	71
4.2.1. ETAPAS TÉCNICAS DEL ANÁLISIS DE CONTENIDO	72

4.3	INSTRUMENTOS	74
4.3.1.	CATEGORÍAS Y CRITERIOS DE ANÁLISIS	74
4.3.1.1.	DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORIAS Y CRITERIOS DE ANÁLISIS	74
4.4.	TEXTOS ANALIZADOS	92
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	94
	CONCLUSIONES	126
	BIBLIOGRAFÍA	131
	ANEXOS	138

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría fundamentos conceptuales.	78
Tabla 2.	Nivel de análisis de la categoría fundamentos conceptuales.	79
Tabla 3.	Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría tecnológica.	82
Tabla 4.	Nivel de análisis de la categoría tecnológica.	83
Tabla 5.	Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría económica.	86
Tabla 6.	Nivel de análisis de la categoría económica.	87
Tabla 7.	Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría social.	90
Tabla 8.	Nivel de análisis de la categoría social.	91
Tabla 9.	Libros seleccionados para el análisis.	92
Tabla 10.	Resultados cuantitativos libro de Química de Chang y College	94
Tabla 11.	Resultados cuantitativos libro Química, la Ciencia Central de Brown, Lemay y Bursten.	98
Tabla 12.	Resultados cuantitativos libro Química General de Whitten y Gailey.	102
Tabla 13.	Resultados cuantitativos libro Química General de Petrucci, Harwood y Herring.	105
Tabla 14.	Resultados cuantitativos libro Química de Mortimer.	107
Tabla 15.	Resultados cuantitativos libro Química de Briceño y Rodríguez.	109
Tabla 16.	Resultados cuantitativos libro Química de Daub y Seese.	112
Tabla 17.	Resultados cuantitativos libro Química para el Nuevo Milenio de Hill y Kolb.	115
Tabla 18.	Resultados cuantitativos libro Principios de Química de Atkins y Jones.	118
Tabla 19.	Resultados cuantitativos libro Química General de Gordon.	120
Tabla 20.	Síntesis de los resultados de los 10 libros de texto de química.	125
Tabla 21.	Matriz de análisis de categorías.	141
Tabla 22.	Matriz de parámetros de análisis categoría fundamentos conceptuales.	142
Tabla 23.	Matriz de parámetros de análisis categoría tecnológica.	143
Tabla 24.	Matriz de parámetros de análisis categoría económica.	144
Tabla 25.	Matriz de parámetros de análisis categoría social.	145

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Chang y College	95
Gráfica 2.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química, La Ciencia Central de Brown, Lemay y Bursten.	99
Gráfica 3.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química General de Whitten y Gailey.	102
Gráfica 4.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química General de Petrucci, Harwood y Herring.	106
Gráfica 5.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Mortimer.	108
Gráfica 6.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Briceño y Rodríguez.	110
Gráfica 7.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Daub y Seese.	113
Gráfica 8.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química para el Nuevo Milenio de Hill y Kolb.	116
Gráfica 9.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Principios de Química de Atkins y Jones.	118
Gráfica 10.	Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química General de Gordon.	120

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación fue realizado por las autoras en el interior del Grupo de Investigación Representaciones y Conceptos Científicos, Grupo IREC, de la Universidad Pedagógica Nacional (Gallego y Pérez, 1994) al cual pertenecen. Esta línea de investigación busca estudiar la historia de la construcción de los modelos científicos de la química y su transformación en modelos didácticos. Desde el análisis de los originales en los que fueron publicados, aceptados y transformados las teorías, conceptos y modelos científicos, comparar la transposición didáctica que de éstos se hacen en los textos de enseñanza.

Con este trabajo se propuso revisar histórica y epistemológicamente la construcción del concepto pH teniendo en cuenta el entorno en el cual emerge, su estructura, y las transformaciones que a lo largo de la historia se han introducido, para comprender las dificultades que se tienen en su enseñanza y su aprendizaje, como también la versión de ciencia y de química que estructuran los textos de química referidos, a partir de dicho concepto.

El lector encontrará en este documento, además de la introducción, una justificación en la cual se resalta la importancia de la realización de un análisis comparativo entre la construcción original del concepto pH, su reconstrucción histórica y epistemológica y la que se plasma en los libros de texto para proporcionar una alternativa que posibilite mejorar los discursos de los profesores de química en sus prácticas docentes; unas intencionalidades las cuales manifiestan lo que se pretende con la investigación; un marco conceptual donde se encuentran los fundamentos

teóricos desde los cuales se le atribuye sentido a la investigación, este comprende unos antecedentes de diferentes trabajos que se han realizado sobre transposición didáctica, una fundamentación epistemológica estructurada desde el constructivismo social, la hermenéutica como la perspectiva teórica, el análisis de contenido como método, la evolución histórica que culmina con la postulación del concepto pH y lo relacionado con su enseñanza.

El marco metodológico permitió el establecimiento de una pautas para el análisis de los libros de texto de química referente a transposición del concepto pH presentada en ellos. Dentro de este marco metodológico se presenta la descripción y formulación del problema el cual se planteó de acuerdo a las intencionalidades del trabajo, la metodología en la que se explican las etapas en las que se realizó la investigación, los instrumentos con los cuales se recogió la información para realizar el análisis de los respectivos textos, a partir de categorías y criterios de análisis los cuales se establecieron partiendo de la reconstrucción histórica del concepto pH.

Luego se plantean los resultados de la investigación que se presentan de acuerdo a lo encontrado en cada uno de los diez libros de texto de educación superior comparados mediante una matriz de análisis, los análisis de los resultados, que permitieron comparar los diferentes textos con la fuente primaria del concepto pH. Finaliza con las conclusiones de la investigación, las cuales dan respuesta a las intencionalidades planteadas, según los análisis extraídos de los resultados.

Del estudio se resalta la importancia de incluir la historia y la epistemología en los textos de química que permitan una visión más amplia y clara del concepto pH para evitar deformaciones en el mismo.

1. JUSTIFICACIÓN

Los profesores deben enfrentar asertiva y propositivamente las problemáticas que se les presenta en el proceso de enseñanza para favorecer de forma positiva el aprendizaje de los estudiantes. En el caso de la química, estudios como el de Taber (2001) presenta las dificultades que afrontan los estudiantes en su proceso de aprendizaje de la química, los más relevantes son: conceptos ambiguos y abstractos, varios modelos explican un mismo concepto, falta de correspondencia entre las ideas que el profesor cree que tiene el estudiante y las que en realidad tiene, confusión entre estructura molecular y macroscópica. Según lo anterior, el profesor debe identificar en sus estudiantes lo que le impide comprender la química y por tanto lo aleja del saber aceptado por las comunidades de especialistas, es por ello que surge la necesidad de investigar sobre los conceptos que se trabajan frecuentemente en los planes de estudio de dicha ciencia para evitar que se perciban como abstractos, ambiguos e incomprensibles en los contextos particulares de los centros educativos.

Una forma de proporcionar soluciones a estas problemáticas en la enseñanza de la química es el análisis de cómo los libros de texto presentan a sus lectores los saberes propios de la química puesto que los autores plasman en sus obras sus conocimientos que son interpretados por profesores y estudiantes. Como los libros son uno de los recursos pedagógicos más utilizados en la clase de ciencias

(Campanario, 2001), es por esta razón que un análisis comparativo entre la construcción original de un concepto y la que se plasma en los libros de texto pueden suministrar orientaciones para la mejora de las practicas de los profesores de química en donde se transformen sus discursos y en ellos se evidencie la comprensión de conocimientos pedagógicos, didácticos y de la química, que a su vez permita la construcción de saberes en sus educandos.

El concepto seleccionado como objeto de estudio es el de pH, que durante largo tiempo ha sido asunto de discusión tanto de científicos como de profesores ya que se ha presentado como una forma de caracterizar sustancias químicas y su uso es frecuente en procesos químicos y biológicos. La reconstrucción histórico y epistemológica del pH permitió comprender sus bases conceptuales, sus relaciones económicas, tecnológicas y sociales que le confieren su fundamento para ser propuesto en la primera década del siglo XX. Gracias a la reconstrucción histórica se pueden evidenciar los aspectos más relevantes que condujeron al desarrollo del concepto por parte de los científicos y las comunidades científicas, lo que propiciará en los partícipes del sistema educativo cuestionarse sobre cómo se construye el conocimiento y buscar diferentes alternativas que permitan mayor efectividad en los procesos de enseñanza y aprendizaje. De esta forma, si se comprenden los problemas que se intentaron resolver al formularlo y los que se tratan de solucionar en los textos que se usan actualmente, facilitaría tanto a profesores como alumnos a contextualizar en diferentes ámbitos los conocimientos que fundamentan la ciencia.

2. INTENCIONALIDADES

Las intencionalidades que se formulan en esta investigación fueron:

1. Determinar la relación que se puede establecer entre la construcción histórica del concepto pH, la que presentan los textos y los contextos para los cuales fueron elaborados algunos textos.
2. Reconstruir, caracterizar y analizar el concepto pH en sus aspectos histórico, conceptual, tecnológico, social y económico.
3. Identificar si la transposición del concepto pH realizada por los autores de textos de química concuerda a la expuesta por S. Sörensen.
4. Examinar la versión de ciencia y de química que estructuran los textos de química referidos, a partir del concepto pH y su epistemología.
5. Establecer los diferentes aspectos que presenta el concepto pH en los textos referenciados que permitan intervenir y solucionar problemas de su enseñanza y de su aprendizaje.

3. MARCO CONCEPTUAL

Los fundamentos teóricos desde los cuales se le atribuye sentido a esta investigación presentada se describen a continuación.

3.1. ANTECEDENTES

Al realizar una revisión bibliográfica para establecer el estado de la cuestión respecto de la transposición didáctica en libros de texto se encontró que muchos autores coinciden en sus afirmaciones sobre algunos aspectos que conforman la parte central de la investigación mientras que en otros aspectos difieren y hasta se contradicen, así:

Sobre lo histórico y epistemológico, los libros de texto no los consideran fundamentales ni como información ni como necesarios para las explicaciones que demandan las temáticas para su comprensión por parte de los estudiantes como en el caso de la hipótesis de Avogadro (Farieta, 2010), para la construcción del modelo semicuántico de Bohr (Moreno, Gallego y Pérez, 2010), sobre los conceptos de calor y temperatura (Camacho y Pérez, 2005; Aristizabal, 2005); sobre la estructura química del ADN (García, 2004); acerca del modelo del octeto de Lewis-Langmuir

(Herreño, 2009), como si lo demandan como necesario en la construcción del concepto de enlace químico y de valencia (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar y Amador, 2004); en la reconstrucción de la ley periódica (Camacho, Gallego y Pérez, 2007), relación que no solo se presenta en Colombia como lo expresa Costu y Niaz (2012) sobre el origen del enlace covalente en los libros de química general en Turquía. Un enfoque alternativo en este caso sería, como lo afirman los autores, una presentación del texto en el que se enfatice el origen del enlace covalente como un producto de teorías o modelos en conflicto o rivales para la explicación de la formación del enlace. Esto demuestra que adecuadas reconstrucciones históricas pueden beneficiar a los estudiantes, para que se dé una comprensión conceptual más profunda del tema. Además, señala que estos enfoques se aproximan a una estrategia basada en la ciencia como es practicada por los científicos.

Por lo anterior, se puede afirmar que en las investigaciones sobre transposición didáctica de los diferentes conceptos químicos en libros de texto de educación media y superior realizadas por los diferentes autores anteriormente mencionados, no se han tenido en cuenta los aspectos históricos y epistemológicos en la construcción de diferentes conceptos estructurantes de la química presentando una versión deformada de los mismos. Esto hace además que se vea como una ciencia finalizada en la que no se muestra la evolución conceptual. De esta forma, se niega la posibilidad a ser cuestionada y refutada, es decir, da una idea errónea del trabajo científico, a pesar que existen investigaciones en las que se afirma la necesidad de incluir la historia y la epistemología en la presentación de conceptos, modelos, leyes y teorías químicas en los libros de texto.

Además, como consecuencia de excluir la historia y la epistemología de diferentes conceptos fundamentales en los textos de química de educación media y superior, los autores presentan a sus lectores una visión simplificada, reduccionista, absoluta, acumulativa, lineal y empiro-positiva de esta ciencia y de la actividad científica, introduciéndose errores conceptuales y dificultades para la comprensión de modelos y

conceptos como en el caso de la hipótesis de Avogadro (Farieta, 2010), el modelo semicuántico de Bohr (Moreno, Gallego y Pérez, 2010), los conceptos de calor y temperatura (Camacho y Pérez, 2005; Aristizabal, 2005), la estructura química del ADN (García, 2004), el modelo del octeto de Lewis-Langmuir (Herreño, 2009), el modelo de Rutherford (Cuéllar, 2004), los conceptos de enlace químico y valencia (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar y Amador, 2004), la ley periódica (Camacho, Gallego y Pérez, 2007) y el enlace covalente (Costu y Niaz, 2012).

En los diferentes trabajos revisados se concluye que en los libros de texto de química no tienen en cuenta la evolución histórica de un concepto, de tal forma se crea la falsa percepción de que éste es generado por un solo individuo. Así se desconoce la labor de las comunidades científicas donde es recurrente la controversia como medio para generar conocimiento. Se omite que el conocimiento se crea en un espacio-tiempo determinado por individuos concretos inmersos en una sociedad que tienen unas condiciones sociales, políticas, económicas, culturales, entre otras, que de una u otra manera afectan la creación de conocimiento. Es por esta razón que el conocimiento no permanece estático sino que se desarrolla paralelamente con el desarrollo de las sociedades.

De igual manera, se percibe una versión reduccionista de la ciencia ya que se limitan los conceptos a las investigaciones más recientes que sobre estos se encuentran, o a las que el autor considera más apropiadas. Los libros de texto no aprovecha el desarrollo histórico de conceptos químicos que puede servir como herramienta para la comprensión de la ciencia.

Como los aspectos de tipo histórico y epistemológico generalmente se encuentran ausentes en los libros de texto y cuando aparecen son tratados de forma superficial, no se incluyen ni explican los aspectos históricos relevantes para la construcción de cada uno de los conceptos químicos trabajados por los diferentes autores como las versiones epistemológicas que existían para la construcción de la hipótesis de

Avogadro, expuesta en el evento académico en Karlsruhe, por un lado la de los equivalentistas y por el otro la de los atomistas (Farieta, 2010); la axiomatización que Bohr hizo del modelo semicuántico y los intentos de Bohr, Sommerfeld, Pauli, Goudsmit y Uhlenbeck para hacer del modelo un cuerpo coherente y estructurado desde la teoría y la experiencia (Moreno, Gallego y Pérez, 2010); el poder combinatorio de los átomos como concepto estructurante de valencia (Gallego, Pérez, Uribe, Cuellar y Amador, 2004); reconocimiento de la categoría epistemológica de modelo científico para dar cuenta tanto del estatuto científico de la química como de la Ley Periódica (Camacho, Gallego y Pérez, 2007); el hecho que el átomo cúbico de Lewis fue crucial para su explicación posterior de la compartición de electrones en el enlace covalente (Costu y Niaz, 2012).

De la revisión bibliográfica realizada se puede resaltar que los aspectos cultural, económico, tecnológico y social se excluye generalmente en los estudios de transposición didáctica, de lo cual se enfatiza que estos influyen en el desarrollo y construcción del conocimiento ya que son creados y propuestos por personas y/o colectivos de científicos inmersos en contextos específicos.

Respecto al aspecto histórico y epistemológico del concepto pH, una vez terminada la revisión de los diferentes textos, revistas, artículos, no se encontró alusión a nivel nacional ni internacional referente a transposición didáctica del concepto pH.

3.1.1. TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA

¿Qué es la transposición didáctica? Para dar respuesta a este interrogante los investigadores en didáctica se han referido en primera instancia a Michel Verret (1975) quien en su tesis de doctorado en sociología tuvo por objeto el estudio de la distribución temporal de las actividades de los estudiantes donde plantea que no se puede enseñar un objeto sin transformarlo para convertirlo en objeto de enseñanza.

Proceso que implica, no solamente un trabajo de separación y de transformación, sino también de selección (Gómez, 2005). Yves Chevallard reúne, sus notas redactadas en 1980 para un curso de verano de didáctica de las matemáticas y un estudio de caso sobre la noción de distancia, en el libro *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné* cuya primera edición fue en 1985, denomina transposición didáctica como el trabajo que transforma de un objeto de saber por enseñar en un objeto de enseñanza y como transposición didáctica, stricto sensu, la transformación de un contenido de saber preciso en una versión didáctica de ese objeto de saber, mientras que la transposición didáctica sensu lato, es el paso de objeto de saber a objeto a enseñar para hacerlo objeto de enseñanza.

El concepto de transposición didáctica, remite el paso del saber sabio al saber enseñado y a la distancia que los separa, para el didacta o profesional docente es la herramienta que le permite ejercer su vigilancia epistemológica.

Para que la enseñanza de un determinado elemento del saber sea posible, este deberá haber sufrido ciertas deformaciones, que lo harán apto para ser enseñado, pero el saber enseñado debe aparecer conforme al saber a enseñar. Entonces, el saber enseñado debe ser visto, por los mismos académicos, como suficientemente cercano al saber sabio a fin de no provocar la desautorización de los expertos, lo cual cuestionaría la legitimidad del proyecto social de su enseñanza (Chevallard, 1985).

Los conceptos químicos, al ser enseñados por los profesores, sufren transformaciones ya que el profesor debe considerar el grado o nivel educativo de sus alumnos y sus necesidades, para lograr de forma satisfactoria que éstos aprendan y se apropien del conocimiento científico, este estará ligado a las bases conceptuales que le dieron origen y aceptación dentro de una comunidad científica. Para conseguir esto, el profesor de química ha de tener conocimientos válidos tanto en química como en didáctica de la química que le permita de manera más eficaz trabajar en el contexto educativo un determinado concepto, con un lenguaje adecuado y comprensible para

quién vaya dirigido y al mismo tiempo ser lo más próximo y fiable al concepto aceptado por la comunidad de especialistas.

En la transposición didáctica, el saber se prepara didácticamente para ser llevado a los textos conduciendo, en primera instancia, a la delimitación de saberes parciales, cada uno de los cuales se expresa en un discurso autónomo, proceso que provoca la desincretización del saber, lo que introduce a una delimitación que a su vez produce la descontextualización de ese saber apartándolo de sus problemas de creación y realización. Al igual, la textualización lleva a excluir la subjetividad, el sujeto debe estar afuera de sus producciones, por tanto el saber sufre una despersonalización; también el texto es una norma de progresión del conocimiento presentándose la programabilidad en la adquisición del saber con lo cual se resalta la importancia de la secuencialidad en el proceso de aprendizaje (Chevallard, 1985).

3.2. LOS TEXTOS

El libro de texto puede entenderse como un libro escrito, diseñado y elaborado con propósitos educativos. Según, Campanario (2001), no cabe duda de que el libro de texto es uno de los recursos pedagógicos más utilizados en la clase de ciencias o puede igualmente considerarse como un instrumento de apoyo en el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Para la presente investigación es importante resaltar que se entiende por libros de texto los que utilizan los profesores que tienen a su cargo asignaturas de los primeros semestres de la formación inicial de profesores en química de las universidades Pedagógica, Distrital y Antonio Nariño los cuales utilizan para apoyar su enseñanza.

Para muchos profesores, la elección de un libro de texto supone su decisión curricular más importante, por lo que no es raro que este ejerza un efecto poderoso sobre sus

enfoques docentes y sobre las estrategias de aprendizaje de los alumnos. Entre los usos de los libros de texto de ciencias están como: fuente de información para alumnos y profesores; fuente de ejercicios y tareas de clase; fuente de preguntas y ejercicios de evaluación. Los libros de texto de ciencias permiten unas aplicaciones más imaginativas, incluso los aspectos negativos (por ejemplo, los errores, las lagunas en las explicaciones o las visiones deformadas de la ciencia que, a veces, transmiten) pueden utilizarse para favorecer el aprendizaje de los alumnos (Campanario, 2001). En los análisis de textos, no debe desconocerse la intención del autor al escribir un libro, un tema puede ser escrito o tratado de diferentes formas según el propósito o finalidad del escritor y, además debe tenerse en cuenta hacia quien va dirigido, en el caso de textos de química, por ejemplo, no es igual un texto para educación media que para nivel técnico, tecnológico o profesional, por lo que resultaría a priori descalificarlo o desconocer su valor sin analizar primero las intencionalidades de quien lo escribió.

Para Solarte (2006), los libros de texto tienen un propósito para la enseñanza que no solo es el de enseñar, sino el de contribuir en la formación para el aprendizaje. Esto se logra a través del diseño de actividades al presentar los conceptos, que deben influir en el proceso de transformación del pensamiento. Algunos libros de texto son el resultado de la transposición didáctica de los documentos originales elaborados por los científicos y para entender cómo hacer un proceso de transposición es necesario comprender la disciplina, el contexto conceptual desde donde se origina el concepto, el cual es objeto de estudio de la enseñanza de la disciplina con las interrelaciones entre el maestro, el estudiante y el saber enseñado, intentando que el educando después de su proceso de gradualidad escolar pueda entender la globalidad del conocimiento original del científico.

El libro de texto como recurso pedagógico recurrente en la enseñanza puede facilitar el aprendizaje o por el contrario puede conducir tanto al profesor como al alumno a errores conceptuales o a la generación de ideas alternativas, si los autores de dichos

materiales presentan los saberes originales de manera deformada y se omite el recorrido histórico que han experimentado los conocimientos.

3.3. FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS

La presente investigación se enmarca en la postura epistemológica constructivista, donde el conocimiento, cualquiera que sea el dominio disciplinario no se transmite, ni es objeto de información, es objeto de elaboración mental, es construcción del pensamiento humano (Rodríguez, 2008). En el constructivismo el conocimiento es un proceso de construcción personal y social, es decir, se construye la realidad desde la perspectiva individual ligada a percepciones, experiencias y estructura mental. A partir de suposiciones y creencias raizales sobre el conocimiento, el constructivismo es una mirada alternativa sobre el individuo, la sociedad y la naturaleza (Torres de Gallego, Pérez y Gallego, 1996). Es por ello, que se considera que el concepto pH es fruto de un momento histórico particular, generado en un contexto económico, socio-cultural y académico específico ante unas necesidades propias que le confiere ciertas características, que deben ser tenidas en cuenta tanto por autores de textos como por los profesores en sus discursos orales y escritos para ser presentado adecuadamente en contextos diferentes.

Teniendo como referente que el conocimiento se construye como elaboración social, y ese conocimiento incluye al científico, a continuación se presenta la postura de las autoras de la presente investigación basadas en el artículo “*Las bases estructurales del constructivismo*” de Torres de Gallego, Pérez y Gallego (1996), a cerca del pensamiento de Stephen Toulmin, cuya obra denominada *La comprensión humana*, en la que se trabaja sobre el uso colectivo y la evolución de los conceptos, publicada originalmente en inglés (1972), donde considera que los hombres demuestran su racionalidad, no ordenando sus conceptos y creencias, sino por su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto, reconociendo los defectos de

procedimientos anteriores y superándolos (Toulmin, 1977). En el caso particular del concepto pH a pesar de sus limitaciones no se ha excluido ya que responde a ciertos contextos particulares muy frecuentes como lo son disoluciones de concentración menores a 1M.

Contrario a los cambios radicales paradigmáticos de T. S. Kuhn, Toulmin busca una teoría adecuada del desarrollo conceptual que explique la estabilidad y el cambio en los mismos términos. Para ello, sostiene, se debe disponer de un mismo conjunto de factores y consideraciones que interaccionan de diversas maneras, para explicar por qué las formas de pensamiento y percepción (conceptos, patrones de juicio racional, principios a priori, etc), varían rápidamente en algunos casos, situaciones y circunstancias, y también por qué, en otros, permanecen inmutables (Toulmin, 1977). Su negación del cambio paradigmático radical parte de la sustentación de que el contenido intelectual de toda una ciencia carece de la estructura unitaria característica de algún cálculo teórico. Ese contenido sólo puede ser representado en una forma estrictamente lógica en circunstancias muy excepcionales. Lo típico, dice Toulmin, es que una ciencia abarque muchas teorías o sistemas conceptuales coexistentes y lógicamente independientes. Hay por tanto, que considerar ese sistema como un agregado o "población conceptual" dentro de la cual hay grupos localizados de sistematicidad lógica. Aquellos que suponen que una ciencia es necesariamente un sistema intelectual coherente, son quienes aceptan que los cambios radicales deben ser revolucionarios. Así pues, la única posibilidad de un cambio de esa magnitud reside en el rechazo del sistema como un todo y en un empezar de nuevo (Toulmin, 1977). Propone, por tanto, reconocer que los diferentes conceptos de una disciplina científica, están relacionados más débilmente de lo que han supuesto los epistemólogos. Ellos no han sido introducidos todos y al mismo tiempo, como un único sistema lógico con un único fin científico, sino que los diferentes conceptos y teorías lo han sido en forma independiente en momentos diferentes y para propósitos distintos. Esto significa, para Toulmin, reconocer que una ciencia comprende una "población histórica" de conceptos y teorías lógicamente independientes, cada uno

con su historia, su estructura y sus implicaciones propias (Toulmin, 1977). De acuerdo a lo anterior, en la reconstrucción histórica del concepto pH se tomo como referencia los diferentes conceptos que se han propuesto sobre ácidos y bases, los cuales no se han introducido al mismo tiempo sino en momentos diferentes con el fin de explicar el comportamiento de una mayor cantidad de sustancias químicas, es decir, se puede hablar en este caso de una "población histórica" de conceptos que se deben manejar para entender las diversas particularidades que se dan en el campo de la química.

Destaca el autor que la racionalidad no es un atributo de los sistemas conceptuales, sino de las actividades o empresas humanas de las cuales son cortes temporales los conjuntos particulares de conceptos. Por eso su análisis de los aspectos comunales del uso de conceptos se centra en la categoría de "empresa racional" y su desarrollo histórico. De manera concomitante trata las continuidades como los cambios en tales empresas haciendo equivalentes el contenido intelectual de las mismas a su otra categoría de "poblaciones conceptuales", de donde su perspectiva es eminentemente evolutiva y no revolucionaria (Toulmin,1977). El concepto pH evolucionó al plantearse en 1924 como actividad y no como concentración del ion hidrógeno en 1909.

Puntualiza además que cada disciplina científica, aunque mutable, normalmente exhibe una continuidad reconocible en los factores selectivos que gobiernan los cambios en su contenido. En esas disciplinas siempre hay novedades intelectuales que son sometidas a discusión. No obstante, sólo unas pocas de tales novedades conquistan un lugar y son transmitidas a las generaciones siguientes (Toulmin, 1977).

En última instancia, recalca Toulmin, la naturaleza de una disciplina intelectual siempre incluye a sus conceptos, a su objeto de estudio, a los hombres y mujeres que los conciben y a las ambiciones intelectuales más amplias que unen a los practicantes que trabajan en ella. Esos ideales son producto de la experiencia acumulada, los

cuales determinan ambiciones colectivas a las que se adhiere todo aquel que se enrola en la profesión correspondiente. Tales ideales mantienen la coherencia de la disciplina misma, estableciendo límites dentro de los cuales se restringen las hipótesis y la especulación y se mejoran los criterios para juzgar las innovaciones conceptuales (Toulmin, 1977).

El autor es del parecer que el conjunto de conceptos representativos de una disciplina histórica en desarrollo forma una transmisión. Así, el contenido de una ciencia se transmite de una generación de científicos a la siguiente, mediante el proceso de enculturación, como un aprendizaje por el cual ciertas habilidades explicativas se transfieren con o sin modificación. El núcleo de la transmisión, que debe ser aprendido, probado, aplicado, criticado y cambiado, es el repertorio de técnicas, procedimientos y habilidades intelectuales y métodos de representación que, por un lado, se emplean para dar explicaciones de sucesos y fenómenos dentro del ámbito de la ciencia involucrada, mientras que, por otro, constituyen los aspectos comunales o públicos de la misma (Toulmin, 1977). La enculturación de un saber es transmitida gracias al trabajo que se desarrolla dentro de una comunidad científica que durante siglos ha realizado aportes que permiten construir los referentes conceptuales que le dan sentido a una ciencia.

3.3.1. Reconstrucción epistemológica del entorno científico en el cual emerge el concepto pH

En la primera década del siglo XX predominaba la epistemología positivista entre los científicos, la cual se entiende como una forma de pensamiento basada en la lógica inductiva, propuesta por Augusto Comte filósofo y matemático francés (1798 – 1857), su punto de partida es la observación de los fenómenos de la naturaleza para descubrir por inducción las leyes que los gobiernan. El positivismo se considera como principio fundamental para el verdadero conocimiento, en donde el saber solo

es posible desde la experiencia adquirida por los sentidos. Esta se considera como la fuente y el criterio último de la certeza, cuyo técnica o procedimiento usado es el método científico (Comte, 1984).

Sören Sörensen para proponer el concepto pH comprendía la naturaleza de la materia como discontinua al referirse al ion hidrógeno en disoluciones acuosas. La idea general de la discontinuidad plantea que “cualquier porción macroscópica de materia está constituida por una enorme cantidad de partículas animadas por movimiento constante”. Los desplazamientos moleculares están vinculados a la energía de las moléculas. La energía cinética está directamente relacionada con el desplazamiento de las moléculas; la energía potencial por otra parte, involucra interacciones entre las moléculas que dependen de la distancia promedio entre las mismas. Las propiedades macroscópicas de la materia son manifestaciones del comportamiento promedio de todas las partículas del sistema considerado (Giudice y Galagovsky, 2008).

3.4. HERMENÉUTICA

El enfoque o perspectiva teórica que mejor se ajusta a la presente investigación es la hermenéutica, que según Beuchot (2002) es el arte de interpretar textos, entendiendo por textos aquellos que van mas allá de la palabra y el enunciado, la hermenéutica es la postura filosófica que acepta, en mayor o menor medida, que “no hay hechos, sólo interpretaciones”. Monzón (2010) afirma que producir cualquier objeto (material como una mesa o inmaterial como una teoría) es producir significados, y como para el consumo debemos descifrar este significado, podemos afirmar que lo que hacemos es leer el objeto para comprender su finalidad y poder consumirlo. Entonces, también los objetos pueden ser entendidos como textos. De tal suerte, la hermenéutica como perspectiva teórica ve a sus objetos de estudio como un texto que hay que interpretar, porque no son claros por sí mismos, es decir, porque ocultan más de lo que muestran. Los discursos, las acciones y los objetos ocultan más

de lo que muestran y, por ello, deben ser interpretados para ser comprendidos, es decir, para vincularse con la intencionalidad de su autor. El deseo de comprender al otro, de acercarse a él, de penetrar en su mundo es el principio de la actitud hermenéutica, y al vivir en una sociedad estamos siempre vinculados a otros (Monzón, 2010).

En este estudio para el análisis tanto de documentos originales como de libros de texto de química general, es preciso tener en cuenta el contexto e intencionalidad de quien propuso el concepto pH, como de la intencionalidad de cada uno de los autores de libros de textos de química general, pues es entendida que la construcción de conocimiento es una construcción de tipo social influenciada por factores políticos, culturales, económicos, religiosos, entre otros. Para poder interpretar comprensivamente se requiere el esfuerzo por reconstruir todo lo que rodea al sujeto, lo cual es imposible. El reconocimiento de esta imposibilidad de reconstrucción holística, supone reconocer que es el intérprete y el propio contexto de él, el que condiciona en alguna medida el sentido y utilidad del texto producido por ese otro.

En este sentido, la hermenéutica, o más bien, quien la utilice deberá procurar comprender los textos a partir del ejercicio interpretativo intencional y contextual. Dicho proceso supone desarrollar la inteligibilidad del discurso contenido en el texto; en gran medida se trata de traspasar las fronteras contenidas en la "física de la palabra" para lograr la captación del sentido de éstas en un papel (Cárcamo, 2005).

3.5. ANÁLISIS DE CONTENIDO

El paradigma metodológico de nuestro trabajo son las teorías de análisis clásicas: en este caso el **análisis de contenido** que consiste en “formular inferencias identificando de manera sistemática y objetiva características especificadas dentro de un texto” (Krippendorff, 1990). El método de análisis de contenido permite que

investigadores desde diferentes contextos puedan evaluar un mismo objeto aplicando la técnica a los mismos datos (López, 1986).

Bardin (1986) proporciona la definición de análisis de contenido como: “Un conjunto de técnicas de análisis de comunicaciones tendientes a obtener indicadores (cuantitativos o no) por procedimientos sistemáticos y objetivos de descripción del contenido de los mensajes, permitiendo la inferencia de conocimientos relativos a las condiciones de producción /recepción (variables inferidas) de estos mensajes (Bardin, 1986).

Desde una óptica más amplia, se puede ubicar el análisis de contenido en el extenso campo formado por los métodos y técnicas de investigación sociológica, y definirlo como una técnica «indirecta». Si se considera que la investigación y la observación puede hacerse siguiendo dos métodos diferentes: por un lado, la observación directa de la realidad social por medio de entrevistas, encuestas, cuestionarios y observación participante; por otro lado, la observación y el análisis de documentos diversos (entre los que se encuentran libros, publicaciones diarias y periódicas, series estadísticas, diarios autobiográficos, documentos históricos, etc.), y materiales audiovisuales (como discos y otras grabaciones de sonidos, películas, fotografías, videos, etc.). En este contexto, como técnica "indirecta" «el análisis de contenido es una técnica de investigación que consiste en el análisis de la realidad social a través de la observación y el análisis de los documentos que se crean o producen en el seno de una o varias sociedades. Lo característico del análisis de contenido, y que lo distingue de otras técnicas de investigación sociológica, es que se trata de una técnica que combina intrincadamente, y de ahí su complejidad, la observación y el análisis documental» (López, 1986).

Siguiendo a L'Écuyer (1987), Landry (1998), Mayer y Quellet (1991), precisamos de las características generales del análisis de contenido en los siguientes términos:

- Se trata de una técnica indirecta, porque se tiene contacto con los individuos solo mediante los sesgos de sus producciones, es decir, con los documentos de los cuales se puede extraer información.
- Estas producciones pueden tomar diversas formas: escrita, oral, imagen o audiovisual, para dar cuenta de sus comportamientos y de sus fines.
- Los documentos pueden haber sido constituidos por una persona, por ejemplo las cartas personales, las novelas, un diario íntimo, o por un grupo de personas, por ejemplo las leyes, los textos publicitarios.
- El contenido puede ser no cifrado, es decir, las informaciones que contienen los documentos no se presentan bajo la forma de números sino ante todo de expresiones verbales.
- Es posible una deducción cualitativa o cuantitativa. En este sentido, los documentos pueden ser analizados con el objeto de cuantificar o en la perspectiva de un estudio cualitativo de elementos singulares, o los dos a la vez.

3.5.1. Tipos de análisis de contenido

Existen varias maneras de clasificar el análisis de contenido. Pinto y Grawitz (1967) han destacado la importancia de establecer una primera distinción entre el análisis que tiene por fin la verificación de una hipótesis y el que busca en primer lugar explorar un campo de estudios. Partiendo de esta distinción básica, autores como Mayer y Quellet (1991); Landry (1998) delimitan seis tipos de análisis de contenido:

- El análisis de exploración de contenido. Se trata de explorar un campo de posibilidades, de investigar las hipótesis, las orientaciones o aún de servirse de sus resultados para construir cuestionarios más adaptados.
- El análisis de verificación de contenido. Pretende verificar el realismo y la fundamentación de las hipótesis ya determinadas.

- El análisis de contenido cualitativo. Este tipo de análisis permite verificar la presencia de temas, de palabras o de conceptos en un contenido.
- El análisis de contenido cuantitativo. Tiene como objetivo de cuantificar los datos, de establecer la frecuencia y las comparaciones de frecuencia de aparición de los elementos retenidos como unidades de información o de significación (las palabras, las partes de las frases, las frases enteras, etc.)
- El análisis de contenido directo. Se limita a tomar el sentido literal de lo que es estudiado. No se busca descubrir un eventual sentido latente de discurso; se permanece al nivel de sentido manifiesto.
- El análisis de contenido indirecto. En este caso, el investigador busca extraer el contenido latente que se escondería detrás del contenido manifiesto, recurrirá a una interpretación del sentido de los elementos, de su frecuencia, de su agenciamiento, de sus asociaciones, etc.

Según Bardin (1986), en el análisis de contenido tratar el material es codificarlo. La codificación corresponde a una transformación – efectuada según reglas precisas- de los datos brutos del texto. Transformación que por descomposición, agregación y enumeración permite desembocar en una representación del contenido, o de su expresión, susceptible de ilustrar al analista sobre las características del texto que pueden servir de índices. En el proceso de codificación se elaboran indicadores o definen unidades de análisis que constituyen los núcleos de significado propio que serán objeto de estudio para su clasificación y recuento. Se pueden diferenciar las siguientes:

- a. UNIDADES GENÉRICAS: son las unidades de observación genérica. A partir de allí el material debe ser estudiado en una unidad genérica para medir la frecuencia de los conceptos definidos.
- b. UNIDADES DE CONTEXTO: es el mayor cuerpo de contenido y sirve para captar el significado de la unidad de registro.
- c. UNIDADES DE REGISTRO: Es la sección más pequeña del texto que hace

referencia a una categoría. Son unidades base con miras a la codificación y al recuento frecuencial.

Hay que distinguir entre unidad de registro (lo que se cuenta) y regla de enumeración (la manera de contar). Las reglas de numeración o recuento se refiere a la forma de contar las unidades de registro codificadas. Se conocen las siguientes reglas de enumeración:

- La presencia o ausencia de un determinado código.
- La frecuencia. Es la mas utilizada en investigaciones de este tipo y se refiere al número de veces que aparece un código determinado o unidad de registro.
- La frecuencia ponderada: Si se supone que la presencia de un código tiene más importancia que la de otro, se puede proceder a una ponderación que se establecerá a priori.
- Intensidad. Los grados en la aparición de un código y la afectación de una nota diferente, según la modalidad de expresión.
- La contingencia. Entendida como la presencia, en el mismo momento de dos o más códigos en una unidad de contexto.
- El orden de aparición de los códigos.
- Densidad de un texto. Es la suma de frecuencias de todos los códigos hallados dividido por la suma total de todas las palabras y multiplicado por cien.
- Nivel de concentración. Número de códigos diferentes divididos por la suma de frecuencias de todos los códigos y multiplicados por cien.
- La frecuencia valorativa, que se refiere a la suma total de unidades de registro.
- La frecuencia proporcional o porcentajes de frecuencia. Se refiere a la frecuencia de cada código expresada en porcentajes.
- La distribución de frecuencias. Se refiere a como se reparte la frecuencia total entre todas las categorías.

En el proceso de análisis de contenido la categorización consiste en la operación de clasificar los elementos de un conjunto a partir de ciertos criterios previamente definidos. La categorización no es una tarea mecánica, ya que los términos pueden no hacer referencia a los significados que a primera vista expresan o manifiestan, sino estar fuertemente matizados por el contexto. La categorización es un proceso que requiere tres operaciones:

- La Clasificación de las unidades de significado asignado a cada unidad de registro para establecer una cierta organización de los mensajes. El resultado de esta operación es la elaboración de un sistema de categorías.
- La codificación como tarea de asignación de códigos a cada categoría del sistema anterior, para poder clasificar las unidades de registro de los documentos a analizar, clasificando de esta forma el material escrito para su posterior descripción e interpretación.
- El inventario en el que se aíslan las unidades de significado dando contenido empírico a las categorías del sistema.

La organización de la codificación comprende tres apartados, en caso de un análisis cuantitativo y categorial: la descomposición (elección de las unidades), la enumeración (elección de reglas de recuento) y la clasificación (elección de las categorías) (Bardin, 1986).

3.5.2. Etapas técnicas del análisis de contenido

A partir de autores como Mayntz et al (1980); López-Aranguren (1986); Bardin (1986); L'Écuyer (1987); Mayer y Quellet (1991) Landry (1998), se pueden identificar como etapas técnicas generales del análisis de contenido las siguientes:

- El análisis previo o la lectura de documentos. De manera general, la etapa de

análisis previo apunta a tres objetivos: la selección de los documentos para someter al análisis, la formulación de las hipótesis y los objetivos, y la determinación de indicadores sobre los cuales se apoyará la interpretación final.

- La preparación del material. Los documentos deben ser desglosados en unidades de significación, que son luego clasificadas en categorías bien definidas.
- La selección de la unidad de análisis. La unidad de análisis refiere al espacio y el tiempo en los cuales se retendrá la recurrencia de los elementos de investigación.
- La explotación de los resultados (análisis cuantitativo y/o análisis cualitativo). Si las diferentes operaciones del análisis previo han sido cuidadosamente cumplidas, la fase de análisis propiamente dicha no es más que la administración sistemática de las decisiones tomadas.

3.6. LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Izquierdo (1994), Solbes y Traver (1996), Lombardi (1997), manifiestan que la inclusión de la historia en la enseñanza de las ciencias es una herramienta fundamental en la formación científica. En los últimos años, se ha presentado en la comunidad educadora un creciente interés por incluir en las prácticas profesionales a la historia como eje articulador que fomente el aprendizaje tanto de estudiantes como de los maestros que deben reflexionar y cambiar sus discursos desde esta perspectiva. Lombardi (1997), afirma que el pasado constituye una fuente inagotable de información, y la tarea del historiador consiste, precisamente, en organizar y seleccionar tal información con el objetivo de hallar un hilo conductor a través del cual los meros hechos cobren su sentido. Todo relato histórico orientado a la enseñanza debe necesariamente seleccionar algunos hechos considerados relevantes a la luz del sentido que se desea brindar a tal relato e implica necesariamente una interpretación tanto de textos como de hechos, lo que contribuye a desarrollar en los estudiantes el pensamiento crítico así como introducirlos en el arduo problema de la interpretación.

Si se reconoce que la construcción del conocimiento científico se ha realizado y se realiza en ambientes sociales concretos y por motivaciones diversas se logra comprender que los fenómenos evolucionan a lo largo del tiempo y se producen a menudo cambios radicales motivados por el cuestionamiento y la crítica permanente. Las ciencias han estado relacionadas con el desarrollo técnico de las sociedades, y también con sus valores, no son ajenas a las ideologías ni a las creencias, sino que éstas contribuyen a dar sentido a las finalidades que persigue la creación de conocimiento científico. Las actitudes que pueden desarrollarse a partir de una enseñanza de las Ciencias con visión histórica son las que se relacionan con la creatividad, la solidaridad, la iniciativa, las ganas de saber más, la responsabilidad de las acciones propias y colectivas (Izquierdo, 1994).

Los estudios de Solbes y Traver (1996) reflejan que muchas veces se ignoran los aspectos históricos en la imagen de la física y la química que se transmite y cuando se utilizan, se introducen tergiversaciones y errores históricos. Como consecuencia de ello los alumnos tienen una imagen deformada de cómo se construyen y evolucionan los conceptos científicos. En la enseñanza usual de la física y la química la utilización de recursos históricos es escasa y recurrentemente por omisión de algunos aspectos históricos no se muestra el carácter tentativo de la ciencia, excluyendo los errores y limitaciones del proceso de creación de las nuevas ideas científicas, percibiéndose la ciencia como una acumulación de «verdades» y se hace caso omiso del contexto histórico global del que forman parte dichas teorías científicas. Como consecuencia de ello los alumnos tienen una visión de la ciencia caracterizada por:

- Considerar la ciencia como descubrimiento y no como una construcción de conocimientos.
- El empirismo, los conocimientos científicos se forman por inducción a partir de observaciones y experimentos.
- Ignorar el papel de los problemas en el desarrollo de la ciencia y, en particular, los problemas que originaron el desarrollo de algunas teorías importantes.

- El formalismo, la ciencia constituida básicamente por fórmulas, cuya aplicación mecánica permite resolver los problemas.
- Un planteamiento lineal y acumulativo del desarrollo científico.
- Una imagen de las ciencias alejadas del contexto histórico social del que forma parte (Solbes y Traver, 1996).

El papel del profesor para evitar el fracaso escolar en cuanto al aprendizaje de las ciencias es, entre otras, realizar una adecuada interpretación de la historia que le permita fundamentar apropiadamente sus conocimientos para llevar a las aulas de clase unas mejores prácticas discursivas y de tal forma minimizar las ideas e imaginarios negativos que se tienen frente a las ciencias y en especial de la química.

3.7. ACERCA DEL CONCEPTO pH

Para referirnos al concepto pH primero se realizará un recuento de los conceptos ácido y base que se usaron como referentes teóricos para su conceptualización:

Los productos que ahora se consideran como ácidos y como bases se conocen desde la antigüedad como así lo ponen de manifiesto algunas recetas prácticas encontradas en papiros de la cultura helenística (en Estocolmo y en Leiden) (Jiménez y De Manuel, 2002). El acercamiento a estas sustancias en primera instancia se hizo mediante las percepciones del sentido del gusto, de esta manera se identificaron y categorizaron las sustancias según la sensación que se daba al estimular las células receptores del gusto. A pesar de que no se hacía ninguna interpretación de lo que ocurría en los procesos que se describen, en estas recetas sí se utilizaban el vinagre y los zumos de frutas como disolventes de ciertos metales (Jiménez y De Manuel, 2002).

Según Nicolas Lémery (1645-1715) una sustancia es ácida porque contiene partículas puntiagudas, como lo manifiestan el picor en la lengua y las formas que adoptan las sales ácidas cristalizadas. La fuerza de un ácido depende de la finura de las puntas de sus partículas, es decir, de su capacidad para penetrar en los poros de los cuerpos que atacan. Y si un cuerpo calcáreo entra en efervescencia al ponerse en contacto con un ácido, es porque está compuesto de partes rígidas y quebradizas: las puntas ácidas penetran en los poros del cuerpo calcáreo, los rompen, apartan todo lo que se opone a su movimiento (Bensaude y Stengers, 1997). Así, Lémery explica propiedades físicas y químicas de las sustancias a través de la forma y el movimiento de las mismas.

Durante siglos se produjo una acumulación preteórica de conocimientos químicos (utilización de ácidos, clasificación de las sustancias ácidas y básicas, perfeccionamiento de los trabajos prácticos, etc.). Esto condujo a que en el siglo XVII, se generara un intenso debate que enfrentaba a los que afirmaban que el ácido era el agente único o universal, frente a los que defendían el antagonismo entre ácido y álcali. Entre estos últimos, Robert Boyle (1627-1691), definía los ácidos por su efervescencia en contacto con los álcalis o viceversa. El debate se resolvió a favor de éstos, al demostrar Boyle que los ácidos podían descomponerse y que un gran número de cuerpos no contenían ningún ácido, por lo que no podía constituir un agente universal (Jiménez y De Manuel, 2002). En 1663, Boyle realiza la primera clasificación experimental de las disoluciones en ácidas, alcalinas y neutras, según diferentes propiedades de las sustancias: ser corrosivas, disolver metales, reaccionar con ácidos o álcalis, el color de las disoluciones con indicadores naturales, gracias a que él mismo obtuviera un indicador (concentrado o jarabe de violetas) que tomaba coloración roja con los ácidos y verde con los álcalis (Esteban, 2002).

Más adelante surgió la necesidad de darle una justificación a las propiedades tanto de los ácidos como de las bases, es en ese momento cuando Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) entre 1776 y 1777, hizo pública su teoría de acidez y en 1779 presenta la versión definitiva en su memoria *Consideraciones generales sobre los*

ácidos y sobre los principios de que estan compuestos, que fue publicada en 1781 (Pellón, 2002), donde defendió la idea de que todos los ácidos contenían oxígeno, y le dio el nombre a este elemento (el griego *oxy* “ácido” y gen “generador”), pero fracasó al darse cuenta posteriormente que el ácido muriático no contenía oxígeno y que el oxígeno al unirse con el hidrógeno no forma un ácido, como había esperado, sino agua. Con su trabajo, Lavoisier esperaba demostrar que sustancia química era el común denominador de todos los ácidos y de tal forma entender el comportamiento general de éstos frente a otras sustancias.

En 1810, Humphry Davy (1778-1829) demostró que el ácido muriático contenía hidrógeno y cloro y defendió que todos los ácidos contenían hidrógeno, encontrando con ello que el hidrógeno era el grupo funcional característico de la familia de los compuestos ácidos. En 1814, Joseph-Louis Gay-Lussac (1787-1850) afirmó que los ácidos y las bases no debían definirse por sí mismos sino uno en función de los otros, y a medida que pasaba el tiempo y que se iban descubriendo más ácidos, se fortalecía la idea de que todos los ácidos contenían hidrógeno (Moreno, Rodriguez, Elórtégui y Fernandez, 1995). Las investigaciones acerca de los ácidos orgánicos polibásicos (1839) llevaron a Justus Liebig (1803-1873) a presentar el concepto de ácido como compuestos hidrogenados cuyo hidrógeno puede ser substituido por metales para formar sales. Desaparece así la diferencia entre los ácidos que contienen oxígeno y los que no lo contienen, pues no es el oxígeno el constituyente característico de los ácidos, sino el hidrógeno. Esta hipótesis, ya presentada por Davy, fue completada por Liebig, (Lockemann, 1960) confirmando así esta característica química de los ácidos.

En la segunda mitad del siglo XIX muchos conceptos fisicoquímicos se establecen y se consideran como temas centrales en las discusiones académicas. En 1864, los noruegos Cato M. Guldberg (1836-1902) y Peter Waage (1833-1900) formularon la ley de acción de masas: La fuerza de sustitución, en igualdad de condiciones, es directamente proporcional al producto de las masas siempre que cada uno se eleva a un exponente en particular. Si se designan las cantidades de las dos sustancias que

actúan sobre cada otra M y N, entonces la fuerza de sustitución de estas son $\alpha(M^a N^b)$. Los coeficientes α , a, y b son constantes que, en igualdad de condiciones, dependen sólo de la naturaleza de las sustancias (Waage y Guldberg, 1864). Esta ley permitió comprender que en una reacción química influye la concentración de los sistemas químicos que interaccionan en el proceso y sirvió como referente teórico a la postulación que posteriormente Sören Peter Lauritz Sørensen (1868-1939) realizó sobre pH. En 1877, el alemán Wilhelm Pfeffer (1845-1920) produce la primera membrana semipermeable con la cual descubre la proporcionalidad entre la presión osmótica y la concentración de la solución (Da Silva y Afonso, 2007), lo que permitió más adelante el desarrollo de los electrodos para medir potenciométrica-mente el pH.

Respecto a las propiedades coligativas de las soluciones François-Marie Raoult (1830-1901) demostró la incidencia de la cantidad de soluto presente en una solución, publicó en 1883, sus estudios sobre los efectos de los solutos en el descenso del punto de congelación y aumento del punto de ebullición de los diferentes disolventes. Este trabajo y los hallazgos experimentales de Pfeffer sirvieron de base para los trabajos de Jacobus H. Van't Hoff (1852-1911) en 1886, sobre su ley de solución diluida (Da Silva y Afonso, 2007) “La presión osmótica dada era igual a la presión que ejercería un gas ideal a la misma temperatura en el volumen ocupado por la solución”; como a esta ley no aplicaba a soluciones de sales inorgánicas, Van't Hoff introdujo un factor de corrección empírico, i , en la ecuación de la ley de los gases, que indicaba el número medio de partículas formadas por molécula. Por su amistad con Ostwald y, a través de éste, con su protegido Arrhenius quien recibió las separatas de los artículos de Van't Hoff, se percató que podía establecerse una relación entre el factor empírico y el trabajo que él mismo había realizado acerca de la conductividad eléctrica para su tesis doctoral en 1884. Arrhenius sugirió que i no era otra cosa que una medida de la disociación de electrolitos. En un artículo publicado en 1887, Van't Hoff manifestando su aprobación a esta propuesta reinterpreta su trabajo en términos de ionización (Brock, 1992).

Durante la década de 1830, Michael Faraday (1791-1867) trabajó intensamente en el estudio de la electricidad, publicó en 1834 *On Electrical Decomposition* donde propone y define términos relacionados con la descomposición electroquímica, entre ellos electrólisis a la ruptura de cuerpos por la corriente eléctrica, llamó electrolito a los cuerpos que se descomponen por acción de la corriente eléctrica, electrodos a las superficies generalmente metálicas introducidas en la materia en descomposición que son los caminos por donde pasa la corriente eléctrica y evito llamarles polos opuestos, pues demostró que no eran polos de fuerza. Al electrodo positivo le llamó ánodo, al negativo cátodo, a los cuerpos que pueden pasar a los electrodos los llamó iones, que quiere decir viajero en griego. A los iones que van al ánodo los llamo aniones y a los que pasan al cátodo, cationes (Faraday, 1834). A partir de sus estudios de electrólisis, comprobó que al descomponer el agua por la acción de la corriente eléctrica se producen iones H^+ y OH^- . Los electrolitos no se disocian al paso de la corriente eléctrica por la disolución, como había creído Faraday sino que en solución acuosa se encuentran disociados en iones libres, que como tales iones facilitan el paso de la corriente eléctrica. El grado de la disociación electrolítica condiciona la llamada fuerza de los ácidos y bases (Lockemann, 1960). Como complemento a estos trabajos de Faraday, Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) y Friederich W.G. Kohlrausch (1840-1910) estudian el comportamiento de los iones frente a la corriente eléctrica. En 1853, en su trabajo titulado *On the migration of ions during electrolysis* Hittorf plantea que los iones se movían bajo la acción de la corriente eléctrica, sus conclusiones constataban la existencia de aniones y cationes y, ambos se movían a distintas velocidades relativas (Hittorf, 1853), esta información puede extraerse de los índices del trabajo de Hittorf, un valor relativo que indica cómo de rápido se mueve una especie (catión o anión) respecto a la otra (anión o catión).

En 1876, en su trabajo *On the conductivity of electrolytes dissolved in water in relation to the migration of their components*, Kohlrausch ideó un nuevo método muy práctico para determinar la conductividad y establece la ley de la migración independiente de iones: En soluciones diluidas, donde la disociación es completa,

cada ion emigra independientemente y contribuye a la conductancia total equivalente de un electrolito que depende sólo de su propia naturaleza y es totalmente independiente del ion con el cual se encuentra asociado (Kohlrausch, 1876). En soluciones los iones se mueven de forma independiente con velocidades definidas propias, demostrando que las disoluciones de electrolitos tienen una resistencia eléctrica definida y que los iones, vistos como especies cargadas tienen ciertas velocidades de transferencia.

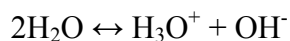
A partir de los trabajos anteriores, en 1887, el químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) en su teoría de disociación electrolítica demuestra que la disociación de ciertas sustancias disueltas en agua se apoya en las conclusiones extraídas de las propiedades eléctricas de las mismas sustancias. Designó aquellas moléculas cuyos iones son independientes el uno del otro en sus movimientos, como activo; las moléculas restantes, cuyos iones están firmemente combinan uno con el otro, como inactiva. También propone que en la dilución extrema todas las moléculas inactivas de un electrolito se transforman en activas, designa la relación entre el número de moléculas activas y la suma de las moléculas activas e inactivas, como el coeficiente de actividad (α) (Arrhenius, 1887). De tal forma, los ácidos se consideran como sustancias químicas que contenían hidrógeno, y disueltas en agua producían una concentración de iones hidrógeno o protones, mayor que la existente en el agua, mientras que las bases son sustancias que disueltas en agua producía un exceso de iones hidroxilo (OH^-). En esta teoría se establece una clasificación de las sustancias como ácidas, neutras o básicas según la constante de su disociación electrolítica. Con el advenimiento de la teoría de Arrhenius y los avances de las medidas eléctricas, fue posible determinar la constante de disociación del agua pura por aplicación de la ley de acción de masas.

En este mismo año Wilhelm Ostwald (1853-1932) llegó a su “ley de la dilución”, posteriormente confirmada experimentalmente, en la que afirma que “*si los electrolitos se disocian en agua y por lo tanto obedecen las leyes que son análogas a*

las leyes de los gases, entonces las leyes de disociación que han sido aprendidas para gases también puede encontrar uso en las soluciones. La prueba de esta conclusión se puede realizar con gran seguridad en los ácidos y bases, para los que existen numerosas mediciones de la conductividad eléctrica, existe una relación constante entre el grado de disociación (α) de una molécula y el volumen de la disolución (v) que contiene un mol del electrolito, en concreto

$$\alpha^2/(1-\alpha)v = k$$

donde k , como se demostraría más tarde, es la constante de equilibrio. Esta relación proporciona un modo de medir la fortaleza de ácidos y bases. En la disociación del agua:



A partir de medidas de conductividad α para el agua es del orden de 10^{-8} , la ley de Ostwald se aproxima a:

$$k = \alpha^2/v$$

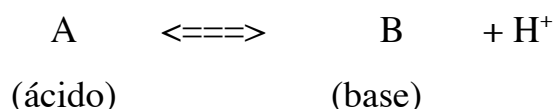
Este producto, llamado producto iónico del agua, es *constante a ciertas temperaturas* en las que, en la práctica, toma un valor de $10^{-14} \text{ mol}^2/\text{dm}^6$. Esto es lo mismo que afirmar que para el agua pura a determinadas temperaturas $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ mol}/\text{dm}^3$ (Ostwald, 1888). Si bien varios investigadores ya habían sugerido que la concentración de ion hidronio (H_3O^+) podía usarse como una referencia para comparar la fortaleza de los ácidos y bases, no fue hasta 1909 que el bioquímico sueco Sören Lauritz Sörensen sugiriese eliminar el uso de un número exponencial, con exponente negativo además, y sustituirlo por el logaritmo en base 10 cambiado de signo de la concentración de iones de hidrógeno.

Fue Ostwald en 1893, quien primero hizo la determinación de la constante de disociación del agua, empleando una celda, gracias a sus aportes en el conocimiento teórico de su funcionamiento (aniones, cationes, oxidantes, reductores, electrodos y electrolitos) fue posible entender y experimentar con el sistema electroquímico de una celda (Baker y Zhang, 2011). Un año más tarde, Friederich Kohlrausch (1840-1910) y

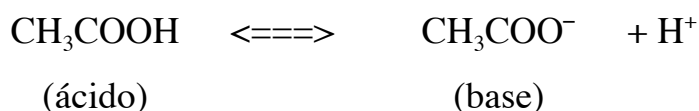
Adolf Heyweiller (1856-1925) determinan esa constante utilizando medidas de conductancia. Todas esas determinaciones llevaron a valores próximos de 1×10^{-14} a 25°C (Da Silva y Afonso, 2007).

La teoría de Arrhenius y Ostwald ha sido objeto de críticas. La primera es que el concepto de ácidos se limita a especies químicas que contienen hidrógeno y el de base a las especies que contienen iones hidroxilo. La segunda crítica es que la teoría sólo se refiere a disoluciones acuosas, cuando en realidad se conocen muchas reacciones ácido-base que tienen lugar en ausencia de agua (Moreno, Rodríguez, Elórtégui y Fernández, 1995).

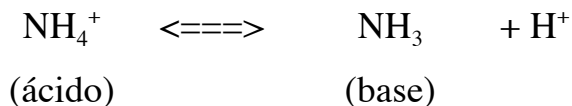
Casi cuarenta años después, a raíz de los debates generados e insatisfacción de algunos miembros de la comunidad científica, se expone esencialmente la misma teoría de forma simultánea por Johannes Nicolaus Brønsted (1879-1947) en Dinamarca y Thomas Martin Lowry (1874-1936) en Inglaterra a cerca del comportamiento de ácidos y bases. Según Brønsted (1923) los ácidos y las bases son sustancias que son capaces de separar o tomar iones de hidrógeno, respectivamente:



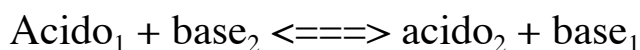
se desprende de la expresión que los ácidos y las bases correspondientes no tienen que tener el mismo estado de carga eléctrica. Si A es eléctricamente neutro, como una molécula de ácido ordinario, B tiene una carga negativa, por ejemplo:



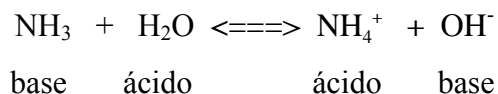
donde el ion acetato por lo tanto funciona como una base. Si A tiene una carga positiva, B debe ser eléctricamente neutro como es el caso, por ejemplo, de la disociación del ion de amonio:



El equilibrio formulado entre los iones de hidrógeno y el correspondiente ácido y la base se puede llamar un equilibrio ácido-base. Mediante la mezcla de dos sistemas simples, resulta un sistema doble ácido-base y un equilibrio ácido-base que siempre se puede formular de la siguiente manera:



En la teoría de Brønsted y Lowry una sustancia no es ácida o básica por sí misma, sino que dependerá de la sustancia frente a la que se encuentre (Garriga, 1930), ya no hay una clasificación absoluta de acidez, neutralidad o basicidad. Según esta teoría, la fuerza de un ácido se mide por la mayor o menor afinidad con respecto al ion hidrógeno. Como resultado de esta teoría se propone la reversibilidad en la transferencia de protones generandose el par conjugado, cuando un ácido libera un protón, se forma una base conjugada capaz de aceptar un protón. En este caso se conforma un par ácido/base conjugado. De igual modo, una base produce su ácido conjugado como resultado de aceptar un protón, cuando estos dos procesos se combinan el resultado es una reacción ácido-base o de neutralización. Por ejemplo:



La pareja $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ es un par conjugado, una molécula de NH_3 actúa como base y el ion NH_4^+ es el ácido conjugado del NH_3 . De forma similar, el H_2O es un ácido y el ion OH^- es su base conjugada.

A diferencia de la teoría ácido-base de Arrhenius la de Brønsted-Lowry es aplicable a reacciones en fase gaseosa y en solventes no acuosos, sus limitaciones radican en que es aplicable a reacciones de transferencia de protones y que los ácidos deben tener hidrógeno ionizables.

También en 1923, Gilbert Lewis (1875-1946) propone una teoría sobre ácidos y bases en función de quien libera y quien recibe los electrones, para compartirlos, en la formación del enlace covalente coordinado entre ambas especies (Garriga, 1930). De acuerdo a esta teoría un ácido (de Lewis) es una sustancia capaz de recibir un par electrónico y una base es una sustancia capaz de transferir un par electrónico. En esencia esta idea también admite que un ácido no puede existir en ausencia de una base; así, todas las sustancias químicas que son ácidos según las teorías de Arrhenius y de Brønsted-Lowry también lo son de acuerdo con la teoría de Lewis y, todas las sustancias que son bases según las teorías de Arrhenius y de Brønsted-Lowry lo son también de acuerdo con la teoría de Lewis. Ciertamente, las definiciones de Lewis de los ácidos y bases tienen una importancia especial en la química orgánica, pero las definiciones de Arrhenius o de Brønsted-Lowry son, por lo general, adecuadas para explicar las reacciones ácido base en disolución acuosa (Mora, 2011). Esta definición de Lewis tampoco ofrece un criterio absoluto de clasificación de una sustancia como ácida, neutra o básica sino que siempre dependerá de la/s sustancia/s con las que se compare.

En 1939, Hermann Lux (1904-1999) y en 1947, Håkon Flood (1905-2001) definieron como base toda sustancia capaz de liberar iones óxido y como ácido, las sustancias capaces de aceptarlos. Tanto la teoría de Brønsted-Lowry como la de Lux-Flood son dos casos particulares de las teorías «ionotrópicas», es decir, definiciones de ácidos y bases basadas en los procesos de afinidades de los iones, protones en el primer caso e iones óxido en el caso de Lux-Flood (Jiménez y De Manuel, 2002). En este mismo año (1939), Mikhail Ilich Usanovich (1894-1981) publicó una teoría ácido-base más generalizada que la de Lewis y no restringida a los compuestos que contienen

hidrógeno. En esta propuesta un ácido es una sustancia afín químicamente a las especies negativas o que actúa como liberadora de especies positivas; una base es una sustancia afín por especies positivas o que participa como liberadora de especies negativas. Esta apreciación se acerca considerablemente al concepto de equilibrio de oxidación–reducción y allí surgen ciertas dificultades ya que los procesos redox se visualizan más como una transferencia de electrones que un evento de formación o de ruptura de enlaces (Mora, 2011).

En 1963, Ralph G. Pearson (1919-) propuso una teoría cualitativa denominada ácidos y bases duros y blandos (HSAB), con la intención de unificar los conceptos de reactividad en química inorgánica y orgánica. En esta teoría el término duro se aplica a especies químicas relativamente pequeñas, que tienen estados de oxidación altos y que son débilmente polarizables; el calificativo de blando se ajusta a especies químicas relativamente grandes, que tienen estados de oxidación bajos y que son fuertemente polarizables. Según estos preceptos los ácidos y las bases interactúan de tal forma que las interacciones más estables son duro–duro y blando–blando. (Mora, 2011). Esta teoría hace énfasis en la estructura pero no en el grupo funcional desde el punto de vista de estado de oxidación y capacidad de polarización. Pearson propuso un método empírico muy eficaz para predecir la dirección en que ocurren las reacciones químicas, clasificando a los ácidos y bases de Lewis como duros o blandos. Considerando la base como una especie con carga negativa o un par de electrones y el ácido como una especie con carga positiva o que acepta un par de electrones. Así mismo un ácido duro es casi cualquier ion metálico de la tabla periódica. Se caracterizan por ser cationes pequeños, de baja electronegatividad, alta carga, y baja polarizabilidad como los alcalinos, alcalinotérreos ligeros. Por ejemplo: H^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Co^{2+} , B_3^+ , C_4^+ . Los ácidos blandos son iones metálicos con baja o nula densidad de carga. Son de gran tamaño y generalmente son poco electronegativos, se polarizan con facilidad y por tanto tienden a formar enlaces covalentes, como el Ag^+ y el Hg_2^+ . Las bases duras son especies de alta electronegatividad como flúoruro, óxido, hidróxido, nitrato, fosfato, carbonato, etc.

Es un ligante pequeño y muy electronegativo, cuya densidad electrónica se polariza difícilmente mientras que en las bases blandas son iones grandes que se polarizan con facilidad, tienen baja densidad de carga por lo que forman enlaces covalentes como la fosfina o el ion yoduro.

Como características generales se puede concluir que los ácidos y bases duros, tienden a ser pequeños y ligeramente polarizables, mientras que los ácidos y bases blandos suelen ser más grandes y más polarizables. El ácido más duro es el hidrógeno y la base más blanda es el yodo (Torrens, 2007).

Para obtener una medida comparativa de la acidez en soluciones fuertemente ácidas o para medir la fuerza de las bases extremadamente débiles, Hammett (1935), definió la acidez en función del grado de ionización de una serie de indicadores que son bases orgánicas débiles. Para fijar la escala de acidez, escogió un grupo de indicadores, las nitroanilinas, que son del mismo tipo de carga y cuyas estructuras moleculares son también estrechamente parecidas unas a las otras. Los primeros miembros de la serie, *m*- y *p*-nitroanilina, llamadas bases de referencia, son lo suficientemente fuertes para que las constantes de disociación termodinámica de los ácidos conjugados BH^+ hayan sido medidas en agua. Estas bases de referencia tienen valores de pK_a de 2,50 y 0,99. La relación $[B] / [BH^+]$ para estos indicadores puede medirse exactamente en soluciones que cubran una variación de acidez de unas cien veces; así, con la *p*-nitroanilina este ámbito incluye soluciones acuosas diluidas de ácidos fuertes y soluciones de ácidos fuertes de hasta el 15%. En soluciones más ácidas que éstas, la razón $[B] / [BH^+]$ se hace demasiado pequeña para ser medida con seguridad (Laitinen y Harris, 1982).

La función de acidez de Hammett, H_0 , se usa como un sustituto del pH. Está definido por:

$$H_0 = -\log h_0 = -\log \left(a_{H_3O^+} \frac{\gamma_B}{\gamma_{BH^+}} \right)$$

donde a es la actividad, y γ son los coeficientes de actividad de una base B y su ácido conjugado BH^+ . H_0 puede ser calculado usando una ecuación análoga a la ecuación de Henderson-Hasselbalch:

$$H_0 = pK_{BH^+} + \log \frac{[B]}{[BH^+]}$$

donde pK_{BH^+} es $-\log(K)$ de la disociación de BH^+ . Al usar bases con valores de pK_{BH^+} negativos, la escala H_0 puede ser extendida a valores negativos e incluiría una cantidad mayor de sustancias ácidas y básicas.

Como se estableció con la reconstrucción histórica anterior, caracterizar las sustancias ha sido una preocupación constante para los científicos dada la importancia en los procesos químicos y biológicos en los que intervienen ácidos y bases. En la comunidad científica se ha presentado un interés por entender su comportamiento químico y determinar de forma fiable una medida que establezca que tan ácidas o alcalinas pueden ser las sustancias y lo que ello conllevaría en los diferentes procesos en los que participan. Por tanto, a continuación se presentan una serie de propuestas teóricas que culminan con la expuesta por Sørensen a cerca del concepto pH como medida de acidez de las sustancias.

Retornando a la primera década del siglo XX, en 1904, Hans Friedenthal (1870-1943) recomendó la utilización de la concentración del ion hidrógeno para caracterizar soluciones y también sugiere que las soluciones alcalinas podían ser caracterizadas en términos de concentración del ion hidrógeno usando $1 \times 10^{-14}/C_{H^+}$, igual a $[H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$ (Da Silva y Afonso, 2007). Por tanto, propuso que la reacción de un líquido sea referida siempre a la cantidad de iones $[H^+]$ que contenga aunque se trate de soluciones alcalinas. Por consiguiente, una solución será neutra, ácida o básica, según la concentración de iones $[H^+]$ igual, superior o inferior a 10^{-7} (Garriga, 1930). Teniendo en cuenta el trabajo de Friedenthal se caracterizan las sustancias

partiendo de la concentración de hidrogeniones que en solución contenga una sustancia y usando el valor de la constante de disociación del agua se puede calcular la cantidad de hidroxilos en disolución.

3.7.1. pH: Sørensen

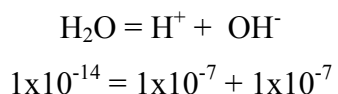
El danés Søren Peter Lauritz Sørensen (1868-1939), centró su trabajo científico en el campo de la bioquímica al dirigir los laboratorios químicos de la fábrica de cervezas Carlsberg. Su investigación sobre la incidencia de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación, lo llevo en 1909 a proponer el concepto pH como respuesta a la necesidad de una medida clara y precisa de la acidez. En la publicación denominada *Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes* en 1909, Sørensen plantea que era inadecuado calcular el grado de acidez o alcalinidad por la cantidad de ácido o base añadida a una solución. La cantidad de ácido añadido no era necesariamente una medida real de su disociación, depende de su interacción química con otras especies químicas. Sørensen propone que el grado de acidez puede medirse por la concentración de iones hidrógeno expresado como exponente de iones hidrógeno p_H .

Dada la importancia del trabajo *Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes* de Sørensen (1909) se cita su trabajo en el Anexo 1.

El interés de Sørensen por determinar el grado de acidez o alcalinidad de una solución surgía del conocimiento que esta medida influía en los procesos enzimáticos, como por ejemplo, la velocidad en la que ocurría la división enzimática. Si se designaba este valor según la cantidad de ácido o base añadida se desconocía la constante de disociación de estas sustancias, por lo que los valores obtenidos no

podían ser fiables ya que dichas sustancias en solución no se disocian de igual forma, teoría ya propuesta por Arrhenius sobre disolución electrolítica. Por tanto, la concentración de iones Hidrógeno depende no solo de la cantidad de ácido sino del ácido que interviene en el proceso.

Como en esta época ya se conocía que la medida de la constante de disociación del agua era de 1×10^{-14} a 25°C , e igualmente que el agua se componía de iones H^{+} y OH^{-} , Sörensen deduce que el cálculo de la concentración de iones hidrógeno e iones hidroxilo en soluciones acuosas puede ser establecido, en el primer caso el valor de la concentración de iones hidrógeno por el ion de hidrógeno en la forma de potencia negativa de 10, nombrándolo como P_{H} "hydrogen ion exponent" y de iones hidroxilo si se conocían los de hidrógeno:



Como era frecuente en su trabajo cotidiano el uso de soluciones con concentraciones menores a 1 normal o 1 molar, así como del manejo de sustancias biológicas en soluciones acuosas fue adecuado para los científicos relacionados con la rama de la medicina el empleo del pH. Por su parte los químicos se resisten a su uso porque no siempre se trabaja con sustancias ácidas o básicas en medios acuosos y la concentración de estas pueden ser mayores a 1 molar.

Sörensen inmediatamente después de publicar su trabajo en francés lo hace en alemán pero en ella los tipógrafos por comodidad cambiaron el símbolo P_{H} por pH, así fue usado en diferentes idiomas y alcanzó una enorme difusión y aceptación por la comunidad científica (Fochi, 2001). Esta aceptación se debe principalmente por su adopción oficial por parte de la Revista de Química Biológica en la década 1910-1919. No todo el mundo estaba satisfecho con la propuesta de Sörensen, W. Mansfield Clarke, cuya monografía, la determinación de los iones de hidrógeno, fue la principal referencia estadounidense para el trabajo de Sörensen durante las

primeras décadas del siglo XX (Jensen, 2004).

En Agosto de 1919, el científico danés Kaj Ulrik Linderstrøm-Lang (1896 – 1959) se convirtió en ayudante del profesor Sørensen en la sección de Química del Laboratorio Carlsberg y, juntos en 1924, proponen una nueva definición de pH como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno:

$$\text{pH} = -\lg a_{\text{H}} = -\lg (m_{\text{H}}g_{\text{H}}/m^{\circ})$$

(a = actividad relativa, m = molalidad, g = coeficiente de actividad molal, and m° = molalidad standard = 1 mol kg⁻¹). IUPAC (2002).

La actividad es la concentración efectiva del ion Hidrógeno que esta en solución, recuérdese que todos los ácidos no se disocian de igual forma en disoluciones acuosas.

3.7.2. Importancia Del Ion Hidrógeno En Sistemas Biológicos

Según Da Silva y Afonso (2007), para los químicos de la época, la determinación de la concentración de iones de hidrógeno es una cuestión de interés puramente teórico, pero para los biólogos y bioquímicos, la situación era muy diferente. Por trabajar con organismos vivos, trataban constantemente con sistemas tampón naturales y por consiguiente es un desafío la determinación de la concentración del ion hidrógeno. Muestra de dicho interés se evidencian en las siguientes investigaciones:

Louis Pasteur (1822-1895) da la primera explicación bioquímica del proceso por el cual el azúcar en solución acuosa es descompuesto en alcohol y gas carbónico, en virtud de la acción de células vivas de levadura, el cual advirtió que mientras se descompone el azúcar en ausencia de aire, las células de levadura viven y se propagan

en el líquido en fermentación y llamó al proceso de la fermentación alcohólica 'vida sin oxígeno'. *La pequeña planta llamada comúnmente la levadura de cerveza, puede desarrollarse sin gas libre de oxígeno y es un fermento, una doble característica que lo separa de todos los seres inferiores. O bien se puede desarrollar mientras asimila gas oxígeno libre y con tanta actividad que se puede decir que es su vida normal, y pierde su carácter de fermento, una doble propiedad que lleva cerca de todos los seres bajos. Pero no nos olvidemos de advertir que si la levadura pierde su disposición para fermentar mientras se multiplican bajo la influencia del oxígeno en el aire, sin embargo se pone de nuevo en el mismo estado para actuar como fermento, si se suprime el gas libre de oxígeno* (Pasteur, 1861).

Con el fin de obtener altos rendimientos en la fermentación alcohólica era necesario considerar algunas variables de este proceso, y sus efectos entre ellas, el pH. Este es un factor importante en la fermentación, debido a su importancia en el control de la contaminación bacteriana como también al efecto en el crecimiento de las levaduras, en la velocidad de fermentación y en la formación de alcohol. Durante la fermentación la levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero convirtiéndose a ácidos, lo cual origina una disminución del pH del medio. Cuanto más bajo el pH del medio, tanto menor el peligro de infección, pero si se trabaja con pH muy bajos la fermentación es muy lenta, ya que la levadura no se desarrolla de la forma conveniente. Según estudios se halló que el pH más favorable para el crecimiento de la *saccharomyces cerevisiae* se encuentra entre 4.4 - 5.0, con un pH de 4.5 para su crecimiento óptimo. En sus estudios sobre fermentación fue el primero en reconocer que la acidez real es bastante diferente a la acidez total porque ácidos con el mismo número de hidrógenos ionizables no necesariamente tiene la misma fuerza. Desde este momento surge la necesidad de medir y expresar la acidez en solución (Da Silva, y Afonso, 2007).

Otro científico interesado en procesos químicos en sistemas vivos fue Ostwald en su trabajo sobre catálisis plantea la existencia de sustancias que no son en sí mismas

necesarias para la reacción pero que aceleran la velocidad de las reacciones, después al final de la reacción el cuerpo extraño de nuevo se puede separar del campo de la reacción (Ostwald, 1894). Según el pH del medio, estos sistemas pueden tener carga eléctrica positiva, negativa o neutra. Como la conformación de las proteínas depende, en parte, de sus cargas eléctricas, habrá un pH en el cual la conformación será la más adecuada para la actividad catalítica. Este es el llamado pH óptimo. La mayoría de las enzimas son muy sensibles a los cambios de pH. Desviaciones de pocas décimas por encima o por debajo del pH óptimo pueden afectar drásticamente su actividad.

En 1900, los franceses Auguste Fernbach (1860-1939) y L. Hubert (1865-1943) notaron que en un extracto de malta no variaba la actividad enzimática al adicionar pequeñas cantidades de ácido o de base. Concluyeron que la malta, así como otros fluidos naturales, compartían la propiedad de resistir los cambios abruptos de acidez o alcalinidad. Bajo la orientación de Hans Friedenthal (1870-1943), Slizy usa métodos colorimétricos para establecer la concentración del ion hidrógeno (Da Silva, y Afonso, 2007). Esto significa que la importancia y necesidad de cuantificar la acidez se establece antes de la propuesta del uso del pH.

En 1906, M. Cremer seguido en 1909 por Fritz Haber y Zygmunt Klemensiewicz (1886-1963), revelan y caracterizan la propiedad de las membranas de vidrio que proporcionan una diferencia de potencial que depende de la concentración de los iones hidrógeno en las disoluciones puestas en contacto con cada una de la membrana. Este hallazgo conduce a P. M. T. Kerridge en 1925 a la creación y uso del electrodo de vidrio para determinar el pH de la sangre humana. Más tarde, en 1930, McInnes y Dole obtuvieron el primer material de vidrio adecuado que pudo utilizarse para el trabajo rutinario de las determinaciones de pH. Posteriormente, se desarrollaron electrodos de vidrio microcapilares para las medidas del pH sanguíneo en un sistema de temperatura controlada (González, 1996).

3.7.3. El pH como sistema de medida

En la década de 1920, se presentó una gran discusión sobre la verdadera utilidad de la notación de Sørensen y se propusieron varias escalas para reemplazarla. El uso del concepto pH tuvo la ventaja de evitar cálculos con números muy pequeños, llenos de ceros a la izquierda, o el manejo de los números negativos, lo que facilita la construcción de gráficos, reduciendo las posibilidades de error en los cálculos.

Los inconvenientes que plantearon los químicos con la escala de Sørensen fueron:

- Es difuso el modo de medir la acidez ya que disminuye cuando el pH aumenta y viceversa.
- La falta de un límite específico entre el paso de alcalinidad a acidez.
- La variación de la acidez no corresponde al pH, es decir, una unidad logarítmica significa una variación de 10 veces la acidez del medio.
- No era posible representar uniformemente la escala de Sørensen. Hoy en día se representa pH, como PH, Ph, pH, según el país donde se originó el trabajo.
- No hay una representación única. Si la concentración de iones de hidrógeno es mayor que 1 mol/L, el pH por su definición, sería un valor negativo.
- A menor grado de disociación de un ácido o una base, menor será la variación de pH de sus soluciones acuosas en función de la concentración del soluto (Da Silva y Afonso, 2007).

Por todas las razones expresadas se proponen otras escalas de acidez y alcalinidad, por ejemplo, en 1924 T. Blackadder determina que a un pH de 4,8 la acidez potencial es igual a cero (punto isoelectrico de la gelatina) y la variación logarítmica es con respecto a este punto. Esta escala era útil en las industrias de bioquímica, fotografía y alimentos. En 1925, F. Giribaldo, plantea el cálculo de la relación $R = [H^+] / [H^+]$, $\log R = P_R = \log [H^+] / [H^+]$. A un pH de 7 el valor de P_R es cero, se asumen valores positivos en el intervalo ácido y negativos en el intervalo alcalino. Un año más tarde, C. Guillaumin presenta una escala que divide el segmento de pH 6,77 a 7,60 en

200 partes que se destinaba más a estudios fisiológicos y bioquímicos. En 1927, E. Wherry presenta una escala en pH 7 para ácidos activados igual a 1, pH 6 para acidez activa igual a 10, pH 5 acidez activa igual a 100 y así sucesivamente, a pH 8 alcalinidad activo igual a 10, pH 9 alcalinidad activa igual a 100, etcétera, es decir, el grado de acidez y alcalinidad se describe como mínimo, medio o súper (superácido o básico). Las anteriores escalas no fueron aprobadas por la comunidad científica puesto que representaban cálculos más complejos que los realizados por la notación pH, eran aplicables en solamente algunos campos de las ciencias o porque no eran prácticas en el uso rutinario (Da Silva y Afonso, 2007).

3.7.4. Métodos prácticos para determinar el pH

La división entre sustancias ácidas y sustancias básicas es una de las clasificaciones más antiguas en la historia de la química. El sabor fue uno de los primeros métodos empleados para determinar la acidez o basicidad de las sustancias.

En 1931, los métodos colorimétricos empleados en condiciones apropiadas daban resultados mas adecuados. Los métodos de L. Michaelis y los de Clark y Lubs, fueron empleados con soluciones tampón y sin ellas, y fueron todo un éxito. Luego vinieron las hojas – indicadoras de Wulff, ya que en la industria no siempre podían aplicarse los métodos colorimétricos con las series de Michaelis y Lubs por ser inutilizables en el caso de determinación del pH de soluciones turbias o coloreadas, casos que eran muy frecuentes. El método de Wulff, permitía determinar el pH aproximadamente desde $\text{pH} = 2.6$ hasta $\text{pH} = 9$, rango bastante amplio en la práctica. Consiste en unas hojuelas de celulosa transparente preparada de un modo especial y empapado del colorante indicador. Cuando se introduce una de estas hojuelas en el líquido cuyo pH se trata de determinar, los iones $[\text{H}^+]$ se difunden a través de ella, y si permanecen en el líquido de 1 a 2 minutos se logra que los iones $[\text{H}^+]$ se hayan difundido completamente. Al cabo de este tiempo se saca la hojuela, se seca superficialmente

con secantes especiales, y se compara con el color del indicador con unas escalas donde se da el valor de pH correspondiente (Garriga, 1930).

Más adelante apareció el tornasol, que es un material que se obtiene de ciertos líquenes y que tiene la propiedad de producir disoluciones coloreadas en rojo en medios ácidos y de color azul en medios básicos. De este modo, si se añade un poco de tornasol a un recipiente con zumo de limón, se observará un color rojo pero, si a esta disolución se le añade un álcali como la sosa, llegará un momento en que el color de la misma cambiará y pasará a ser azul. En la actualidad se conocen una gran cantidad de sustancias como el tornasol, incluyendo muchas de origen artificial, y se denominan “indicadores de pH” (Crawford, 1996).

Junto con los métodos colorimétricos, en el siglo XX, se introdujo también el empleo de las células electroquímicas para determinar el pH de las disoluciones. Estas células consisten en dos electrodos que se insertan en una disolución formando un circuito eléctrico cuyo potencial depende principalmente de la concentración y la naturaleza de los iones de la disolución, en el caso de los pH-metros, de los cationes H^+ . El desarrollo de los pH-metros estuvo, por lo tanto, relacionado con la mejora de los elementos básicos relacionados con ellos: galvanómetros de alta sensibilidad, fuentes electromotrices estandarizadas, células electroquímicas y electrodos adecuados (Jaselkis, Moore y Smolinski, 1889). Algunas de las primeras células electroquímicas fueron propuestas por Poggendorff y Wheaststone en los años cuarenta del siglo XIX, pero la medición de las variables eléctricas de los circuitos continuó siendo complicada, imprecisa y costosa hasta el desarrollo de los voltímetros que empleaban las nuevas válvulas de vacío, los diodos o triodos. Toda esta serie de nuevos dispositivos eléctricos fueron impulsados y mejorados gracias a la creciente demanda procedente del campo de la telecomunicación. Su aplicación a las mediciones electroquímicas aparece ya en trabajos de mediados de los años veinte del siglo XX.

Finalmente, un último problema eran los electrodos empleados. Los primeros pH-metros contenían electrodos de hidrógeno, lo que suponía el empleo de gas hidrógeno con un elevado grado de pureza y difícil manejo. Los electrodos de vidrio, que permitieron superar este problema, fueron diseñados y estudiados ya a finales del siglo XIX pero solo en los años veinte del siglo siguiente aparecieron los estudios que permitieron su aplicación a la medición del pH. En estos trabajos se puso de manifiesto las múltiples variables que debían ser tenidas en cuenta en este proceso, tales como la naturaleza del vidrio, el proceso de fabricación, la influencia de los otros iones presentes en la disolución o el grosor del vidrio necesario, de modo que se introdujeron las bases para la aceptación de este electrodo como instrumento aceptable para la medición de pH (Cheng, 1989).

Más adelante se dio una alta difusión de los pH-metros, instrumentos que miden el pH en los laboratorios, gracias a grandes fabricantes como Arnold O. Beckman (1934), un profesor californiano quien desarrolló un modelo portátil y poco costoso. En 1935 inventó un revolucionario instrumento para la medición del pH, que resultó ser el más exitoso de sus inventos. El modelo G de pH-metro se transformó en uno de los primeros éxitos comerciales de los National Technical Laboratories, la empresa donde trabajaba Arnold Beckman, que comenzó a comercializar la serie G a partir de 1937. En 1953 su compañía pasó a denominarse Beckman Instruments, convirtiéndose con el paso de los años en una multinacional de grandes dimensiones. El principal destino de estos instrumentos eran los laboratorios de investigación, afirmando que el aparato ofrecía una gran variedad de usos, con gran precisión en la medida del pH y de los potenciales de oxidación- reducción. Su precio, que incluía las células, los electrodos y las disoluciones necesarias para su calibración, era de \$205 USD y su manejo es relativamente sencillo. Se empleaba un electrodo de vidrio situado en una caja móvil en la parte delantera del aparato, lo que permitía colocarlo en la muestra analizada. El usuario debía mover el conmutador central calibrado en una escala de pH ("pH dial") hasta que se observaba un valor cero en el galvanómetro situado en la parte superior derecha. Este conmutador modificaba el valor de la

corriente producida por el circuito eléctrico del pH-metro, la cual era anulada por la producida por el electrodo con la muestra, por lo que, cuando el galvanómetro marcaba cero, se consideraba que ambas corrientes eran idénticas y, de este modo, se podía estimar el pH de la muestra. Para que la operación fuera correcta, era necesario que la escala del conmutador central hubiera sido previamente calibrada, lo que se realizaba mediante el ajuste de cero (Bertomeu y García, 2002).

Los primeros modelos de pHmetros Beckman son de la serie G, el modelo 2000 presentaba dos nuevos controles de operación que permitían trabajar con mayor sensibilidad al modelo anterior, luego los modelos de tipo H disminuían la necesidad del uso de disoluciones tampón en los constantes y tediosos ajustes del potencial estándar. También incluía un mecanismo de compensación de las variaciones de temperatura sobre el electrodo y permitía medidas rápidas. Un folleto de 1942 indica que el principal destino de estos instrumentos eran los laboratorios de investigación, afirmando que el aparato ofrecía una gran variedad de usos, con gran precisión en la medida del pH y de los potenciales de oxidación-reducción.

Además de los fabricados por Beckman, existe otro grupo importante de pH-metros, diez en total que fueron realizados por Radiometer, cuya sede se encuentra en Copenhague, (Dinamarca). Esta empresa fue creada en 1953 por dos jóvenes ingenieros daneses, Carl Schroder y Borge Aagaard Nielsen, que comenzaron con instrumentos relacionados con la radio, de donde procede el nombre de la empresa. También hay cuatro pH-metros de fabricante español: dos de Crisson, uno del Instituto Torres-Quevedo y otro de la Compañía Española de Aparatos Científicos e Industriales. Finalmente, por su antigüedad, merecen destacarse dos pH-metros idénticos fabricados por la empresa norteamericana Electric Test Company, probablemente de principios de los años cincuenta, que recuerdan los primeros pH-metros producidos por Beckman. También hay un pH-metro posterior realizado por el fabricante suizo Methrom (Q-0204), que permitía realizar determinaciones precisas, tales como la medida de la humedad de muestra según el método introducido por Karl

Fischer en los años treinta del siglo XX. De Methrom se conservan varios conductímetros. Al igual que los pH-metros, estos instrumentos permiten obtener información relevante para el análisis químico empleando ciertas propiedades electroquímicas, en este caso la conductividad (Bertomeu y Garcia, 2002).

El pH-metro, en términos generales, consiste en una pieza (electrodo) que presenta la propiedad de variar sus propiedades eléctricas (su fuerza electromotriz) en función de la concentraciones de H^+ . Si se conecta este electrodo a un aparato medidor de esta fuerza electromotriz o a un circuito eléctrico resulta posible conocer indirectamente la concentración de cationes de hidrógeno y, por lo tanto, el pH. En la actualidad, la fabricación y comercialización de pH-metros genera altos dividendos económicos, su demanda es constante y, uso en diferentes industrias y centros educativos es recurrente. Estos instrumentos son útiles porque ofrecen medidas fiables, son instrumentos pequeños, de relativamente bajo costo y pueden transportarse fácilmente.

A nivel tecnológico el pH es un factor indispensable a tener en cuenta, por cuanto una gran cantidad de procesos químicos industriales requieren de unas condiciones óptimas para ser llevados a cabo eficientemente, dentro de las cuales se incluye el pH, puesto que es necesario mantener condiciones adecuadas de pH para lograr una mayor producción y calidad del producto.

3.7.5. Matematización del concepto de pH

En la química de soluciones iónicas es práctica común emplear funciones logarítmicas de las concentraciones, particularmente $[H^+]$. Hay varias razones para ello. Primero: los potenciales electroquímicos por los cuales se miden experimentalmente las concentraciones varían según el logaritmo de la concentración. Segundo: las concentraciones que se encuentran en la práctica

corriente disminuyen de 10 a 10^{-15} moles/litro, y cualquier representación gráfica de su variación tiene que ser logarítmica para poder cubrir el amplio ámbito de valores. Tercero: los gráficos logarítmicos generalmente reducen las ecuaciones relacionadas con concentraciones a líneas rectas o apenas curvas, y en muchos casos los cálculos se pueden hacer directamente con la gráfica (Newton Butler, 1968).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Una dependencia logarítmica se elige comúnmente para permitir que la variable dependiente abarque un rango pequeño, cuando la variable independiente abarca una amplia gama de valores posibles (Lunelli y Scagnolari, 2009).

Como lo afirma Kordatzki (1942), la medida de pH tiene por objeto determinar la concentración de los iones de hidrógeno que están contenidos en una disolución. Los iones de hidrógeno existen en todas las disoluciones acuosas. Se forman por disociación de las moléculas de agua, en iones hidroxilo e hidrogeniones, pero todas las moléculas que se hallan contenidas en un peso dado de agua, únicamente una pequeña parte de ellas experimenta la disociación indicada. Las sustancias capaces de disociarse, llamadas electrolitos, no lo hacen de una manera total sino sólo parcialmente. La proporción que existe entre la parte que se ha disociado y la que permanece sin disociar de una determinada clase de moléculas puede deducirse de la ley química de la acción de las masas de Guldberg y Waage. Expresa esta ley que la velocidad de una reacción es proporcional a la concentración de las moléculas capaces de reaccionar. La disociación del agua se puede expresar:



La doble dirección de las flechas indica que tanto puede producirse el desdoblamiento del agua en sus iones, como la recombinación de éstos para producir agua. Aplicando la ley de la acción de las masas en esta reacción:

$$K = \frac{[H^+] [OH^-]}{[H_2O]}$$

en la cual K es una constante. Como únicamente se disocian un número pequeñísimo de moléculas de agua, la concentración de moléculas no disociadas es igual a la concentración total del agua:

$$[H^+] [OH^-] = K \cdot [H_2O]$$

Si se incluye en una sola constante el producto del segundo miembro de la igualdad:

$$K_w = [H^+] [OH^-]$$

En el agua el producto de las concentraciones molares del ion H^+ y OH^- es constante siempre (Kordatzki, 1942).

El carácter ácido no se encuentra igualmente acentuado en todos los compuestos químicos pertenecientes al grupo constituido por los ácidos. Manifiestan este carácter los llamados ácidos fuertes como los ácidos clorhídrico y nítrico. Se caracterizan los ácidos fuertes porque estando en solución se disocian completamente en sus iones respectivos, debido a lo cual la concentración de los iones hidrógeno de la disolución acuosa alcanza su máximo valor. El cálculo del valor del pH en las disoluciones de los ácidos fuertes es sencillo debido a que la disociación del ácido es prácticamente completa. Estas relaciones ya no son tan sencillas tratándose de los ácidos débiles como el ácido acético ya que sus moléculas sólo se disocian parcialmente en sus iones. Como la disociación de un ácido es un fenómeno que obedece a la ley de la acción de masas, la disociación en los iones de los ácidos débiles se calcula aplicando esta ley (Kordatzki, 1942).

Las matemáticas permiten modelar el comportamiento ideal de los sistemas físico-

químicos y biológicos, en ese sentido son una valiosa herramienta para caracterizar y predecir el comportamiento ácido, básico y la variación del pH de diferentes sistemas químicos.

3.7.6. Potenciales de acidez con disolvente no acuosos

Como lo manifiesta Jimenez (1965) es sabido, que el estado acidimétrico de una disolución acuosa lo da su $\text{pH} = -\log \text{H}^+$ solvatado igual al logaritmo negativo de H_3O^+ . Más, en un disolvente inerte no hay posibilidad propiamente dicha de escalas de pH, porque no se forman solvatos del protón. Esto ha hecho que muchos autores hayan introducido la noción de potencial de acidez correspondiente a una transferencia de protones. Este potencial de acidez gobierna el intercambio de protones con un carácter más universal. El potencial de acidez se expresa aproximadamente a la temperatura ordinaria por la ecuación:

$$E = E_0 + 0,06 \log \frac{[\text{acid}]}{[\text{base}]}$$

E_0 es el potencial normal de acidez, es decir, representa el valor de E cuando $[\text{Acido}] = [\text{Base}]$. En el agua el potencial E de acidez y el pH son magnitudes proporcionales; así como también lo son igualmente, el potencial normal E_0 y el pK, pudiendo deducirse:

$$E = -0,06.\text{pH} \text{ y } E_0 = -0,06.\text{pK}$$

Usando pues los potenciales de acidez puede definirse la fuerza de ácidos y bases con mayor generalidad en cada uno de los disolventes. Un ácido será tanto más fuerte cuanto más elevado sea su potencial normal; y una base será tanto más fuerte cuanto más bajo sea el potencial normal de su ácido conjugado. Se toma el acético como ácido de referencia por lo que su potencial normal es cero. El del H_3O^+ resulta ahora de 0,39 voltios. Se Puede

decir, que la diferencia de potenciales de acidez entre el de uno cargado positivamente y el de otro neutro aumenta al disminuir la constante dieléctrica del medio.

Es fácil demostrar que se puede valorar un ácido con una base con un error menor del 0,2 %, si la diferencia de los potenciales normales de los dos sistemas ácido-base (el que se valora y el valorante) es superior a 0,36 voltios; y, conformándonos con un error del 1 %, es factible la volumetría con tal que aquella diferencia sea al menos de 0,24 voltios.

Así por ejemplo, el potencial del ácido NH_4^+ en el agua difiere del correspondiente al H_2O (sistema ácido-base, $\text{H}_2\text{O} - \text{OH}^-$) en 0,29 voltios; por consiguiente, es posible teóricamente la valoración en el agua de las sales amoniacales empleando un álcali fuerte, con un error menor del 1 %. Prácticamente no es factible, sin embargo, porque al pH final muy alto que tendría que alcanzarse no hay buenos indicadores de confianza que eliminen algunos errores de tipo circunstancial. En cambio, en una mezcla de agua y alcohol con más de un 75 % de éste, la cual posee una constante dieléctrica inferior a la de aquella, llega a hacerse la diferencia de potenciales superior a 0,36 voltios. Como se comprende, esto obedece a que la base fuerte empleada (hidróxidos sódico o potásico) es enteramente transformada por el agua en iones OH^- , correspondientes al ácido no cargado H_2O cuyo potencial por esta condición no varía si pasamos, del disolvente anterior a la mezcla alcohol-agua; por el contrario aumenta la fuerza del NH_4^+ , ácido cargado positivamente. Puede utilizarse el azul de timol como indicador (Jimenez, 1965).

Para dar claridad con respecto al uso de los símbolos H^+ o H_3O^+ que se hace en las referencia anteriores, la fórmula química H^+ indica literalmente al protón, que no está presente en soluciones debido a su fuerte afinidad para los electrones de otros átomos, iones y moléculas. Los últimos trabajos sobre soluciones acuosas ha demostrado la presencia dominante de varios grupos bastante grandes, entre los cuales el ion H_5O_2^+

y el ion $(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{H}_2\text{O})_3$ de los cuales el "ion hidronio" H_3O^+ es el núcleo. Entonces H^+ , se debe interpretar como "la suma de todas las especies de protones hidratados" producidas por la interacción del agua con ácidos de Brønsted-Lowry (Lunelli y Scagnolari, 2009).

3.7.7. pH: dificultades en su aprendizaje

En cuanto al concepto pH Jiménez, De Manuel, González y Salinas (2000) en su trabajo denominado la utilización del concepto de *pH* en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula, exponen diversas dificultades que afrontan los alumnos al abordar el concepto de pH, como el uso del término neutralización que se utiliza tanto para las reacciones en las que el pH final es igual a 7 como para las reacciones estequiométricas (cuyo valor del pH puede ser distinto de 7) y también para denominar cualquier reacción ácido-base. Esta polisemia provoca confusiones en los alumnos, sobre todo en los procesos de valoración ácido-base, ya que muchos consideran que, en el punto de equivalencia, la disolución siempre es neutra ($\text{pH} = 7$), independientemente de la fuerza de los ácidos y de las bases que reaccionen. Muchos alumnos universitarios afirman que toda reacción ácido-base estequiométrica produce una disolución neutra aunque se trate de un ácido fuerte con una base débil. También, algunos alumnos de secundaria identifican proceso ácido como algo perjudicial, investigaciones ponen de manifiesto que existe desconexión entre los fenómenos cotidianos y los conceptos que se aplican en el aula, como, por ejemplo, que los alumnos de todos los niveles tengan dificultades a la hora de clasificar como ácido o como básico productos comunes como café, leche o lejía, lo que pone de manifiesto que estos alumnos no aplican los conceptos de *acidez* a productos tan habituales en los hogares. En diversas proporciones, los alumnos relacionan el pH de una disolución exclusivamente con la fuerza, con la concentración o con la intensidad de la reacción química. Muchos alumnos de los primeros cursos de universidad sólo beberían disoluciones neutras.

Manifiestan que los alumnos de secundaria consideran que todos los ácidos son fuertes, poderosos y venenosos, y todas las sustancias que queman también son ácidas (Jiménez, De Manuel, González y Salinas, 2000).

La falta de comprensión de los estudiantes sobre pH, ácidos, bases y tampones y su incapacidad para aplicar su conocimiento en la solución de problemas de ácido / base se hace manifiesta, entre otros, por la falta de comprensión básica de los logaritmos y la imposibilidad para llevar a cabo un cálculo simple sin el uso de calculadora. Esta deficiencia en la escuela por el desarrollo de habilidades matemáticas básicas y una comprensión fragmentada de ácidos y bases obstaculiza gravemente la comprensión de pH (Watters y Watters, 2006).

Lunelli y Scagnolari (2009) afirman que valores de pH y sus mediciones son relevantes en una amplia variedad de disciplinas científicas, ingenierías y varios laboratorios de primer año de la universidad incluyen esta magnitud. El procedimiento de laboratorio realizado generalmente es seguro y simple, pero el significado, el valor y las limitaciones de las cifras que aparecen en la pantalla o impresa, y mucho menos el concepto y sus fundamentos, rara vez se aborda, sobre todo por el hecho de que estudiantes en esa etapa de su plan de estudios en general no tienen las herramientas necesarias para entenderlo. Si se considera que una característica intrínseca de la educación universitaria debe ser la transmisión crítica del conocimiento, ahondar en pH como un tema coherente debería aplazarse a un momento en que el estudiante haya aprendido los requisitos fisicoquímicos para captar lo esencial. Con la formulación de pH de Sørensen y Linderstrøm-Lang en 1924, donde se refiere a la actividad del ion Hidrógeno, esta determinación es la principal dificultad en el estudio de soluciones, de modo que por lo general se calcula o mide bajo condiciones particulares, que deben ser mencionadas.

4. MARCO METODOLÓGICO

Teniendo en cuenta las intencionalidades de la investigación, los fundamentos históricos y epistemológicos, se propuso el siguiente marco metodológico para analizar libros de texto de química en lo referente a la transposición del concepto pH presentado en ellos.

4.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DE PROBLEMA

La importancia del pH en la educación en química radica en que es un parámetro que se emplea para medir la actividad del ion hidrógeno en un medio y es establecido como fundamental en muchos campos de la industria y la medicina. Por tanto, los profesores de química deben procurar mejorar su enseñanza para que los estudiantes puedan construir o reconstruir sus conocimientos y los apliquen en diversos campos. Como se ha evidenciado que los educandos presentan dificultades en el aprendizaje de este importante concepto químico (Jiménez, De Manuel, González y Salinas, 2000) y de otros conceptos fundamentales relacionados con este, se pretende realizar un análisis de 10 textos de química general usados frecuentemente, constatando si la transposición realizada por los diferentes autores corresponde al concepto original, tomando como herramienta fundamental su reconstrucción histórica y epistemológica, y de tal forma con los resultados obtenidos incidir favorablemente en su enseñanza para limitar los errores conceptuales y las ideas alternativas que giran en torno a dicho saber.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta el desarrollo histórico-

epistemológico del concepto pH, la información presentada en los textos de Química de educación superior y las dificultades que evidencian los estudiantes para la comprensión y aplicación de este concepto, se formulan los siguientes interrogantes: ¿Qué versión de pH muestran los libros de texto de Química empleados en la formación inicial de profesores de licenciatura en Química? ¿Qué relación se puede establecer entre los problemas que se intentaron resolver con la formulación del concepto pH y los que los textos de Química de educación superior permiten solucionar?

4.2. METODOLOGÍA

La investigación se estructuró a partir del análisis del contenido como método, la hermenéutica como perspectiva teórica y el constructivismo como postura epistemológica.

En el constructivismo el conocimiento es un proceso de construcción personal y social, es decir, se construye la realidad desde la perspectiva individual ligada a percepciones, experiencias y estructura mental. La reconstrucción histórica del concepto pH nos permite afirmar que este conocimiento es fruto de un momento histórico particular que debe ser tenido en cuenta tanto por autores de textos como por los profesores y ser presentado adecuadamente en contextos diferentes.

En cuanto al enfoque o perspectiva teórica que mejor se adapta a la presente investigación es la hermenéutica, que según Beuchot (2002) es el arte de interpretar textos, entendiendo por textos aquellos que van más allá de la palabra y el enunciado, en este estudio el análisis tanto de documentos originales como de libros de texto de química general. Para ello, el método usado fue el análisis de contenido que es una técnica de análisis de comunicaciones obteniendo indicadores que permiten inferir conocimientos relativos a la producción, en este caso de tipo textual. Para ello, la

investigación se realizó en varias etapas. La primera consistió en la recolección, selección, análisis y evaluación de documentos de la literatura especializada en la temática objeto de estudio. Posteriormente, se elaboró la reconstrucción histórico-epistemológica del concepto pH y se formularon los criterios de análisis para la evaluación de los libros de texto de Química General.

Luego se realizó la selección de los libros de texto efectuando una encuesta en las Universidades: Distrital Francisco José de Caldas, Pedagógica Nacional y Antonio Nariño, a profesores encargados de la asignatura de Química General en los proyectos de Licenciatura en Química. De este proceso se extrae una muestra de los 10 libros de texto más usados por los profesores y que a su vez son recomendados a los estudiantes.

Finalmente, según los criterios de análisis propuestos desde la reconstrucción histórica y epistemológica del concepto pH establecidos anteriormente, se realizó el análisis y la evaluación de los libros de texto seleccionados asignando una puntuación de 0 a 2 según el cumplimiento total, parcial o la ausencia de ciertos parámetros en cada criterio de las cuatro categorías.

4.2.1. Etapas técnicas del análisis de contenido

A partir de las etapas técnicas del análisis de contenido para el presente trabajo se propusieron cinco fases que son:

- Revisión de los antecedentes: Esta se llevó a cabo a partir de trabajos realizados sobre pH y transposición didáctica de conceptos químicos, en revistas electrónicas y en tesis de diferentes universidades. En transposición didáctica no se encontró hasta la fecha investigaciones desarrolladas del concepto de pH al analizar libros de texto de educación superior.

- Revisión y análisis del material original sobre el concepto seleccionado: durante esta fase se realizó la elección de los documentos originales que permiten la reconstrucción histórica del concepto pH, desde el conocimiento de sustancias ácidas y básicas hasta la formulación en 1909 del concepto pH por Sørensen. A partir de dicha reconstrucción se codificó el material escrito seleccionando 16 criterios para el análisis de los libros de texto que fueron validados por 2 expertos en el campo de la química, la historia de la química y la epistemología, los cuales emitieron sus conceptos realizándose los ajustes respectivos según las indicaciones dadas y aceptadas por las autoras.

Teniendo en cuenta las intencionalidades de la presente investigación los criterios o unidades de análisis se agruparon en cuatro categorías: fundamentos conceptuales, economía, tecnología y social las cuales permitieron reconocer la construcción del concepto en un espacio-tiempo determinado.

Durante el transcurso de esta segunda fase se llevaron a cabo una serie de tareas de tipo organizativo, al mismo tiempo que se desarrolló el proceso de codificación del material histórico elaborando un sistema de categorías por emplear con las que se diseñaron los instrumentos para la recolección de datos mediante un cuadro por categoría con cuatro criterios, cada una con un parámetro de tipo cualitativo que describe los criterios mediante una explicación, mención o no mención, y un valor cuantitativo de 0 a 2 según el parámetro cualitativo como se indica en la Tabla 1, 3, 5, 7 y Anexo 2, 3, 4, 5,6

- Selección de muestra representativa de libros de textos más trabajados en universidades de Bogotá: con base en una entrevista abierta a 11 profesores de las universidades Distrital Francisco José de Caldas, Pedagógica Nacional y Antonio Nariño, se seleccionaron los libros de mayor uso por parte de los docentes que trabajan el tema estudiado en los proyectos de Licenciatura en Química (Anexo 7. Encuesta).
- Comparación y análisis de los resultados obtenidos: con esta denominación se hace

referencia al desarrollo de las diferentes operaciones estadísticas, síntesis y selección de resultados, inferencias e interpretación que se realizaron partiendo de la reconstrucción histórico-epistemológica del concepto pH en 10 libros de textos de educación superior.

4.3. INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados en la investigación se presentan a continuación y se agrupan en las tablas anexas 2, 3, 4, 5 y 6.

4.3.1. CATEGORÍAS Y CRITERIOS DE ANÁLISIS

La descripción y explicación de la codificación en cuatro categorías y cada una de ellas en cuatro criterios o unidades de análisis realizada a partir de la reconstrucción histórica del concepto pH que permitió el presente estudio se establecieron así:

4.3.1.1. Descripción de las categorías de análisis

Partiendo del estudio del documento original de Sörensen (Anexo 1) y de la revisión histórica de los conceptos relacionados con medida de acidez, se asumieron cuatro categorías para el análisis de textos con respecto al concepto pH a saber: fundamentos conceptuales, tecnología, economía y social, que a su vez se enmarcan en 4 criterios que sirvieron como referentes en el estudio de la transposición didáctica realizada por los diferentes autores de diez libros de texto de química general.

Las categorías formuladas obedecen a la estructura conceptual y epistemológica de

pH e ilustran el contexto social y económico en el que se desarrolló, así como la importancia de este en los campos de la industria y la medicina lo que conllevó avances notorios en el campo tecnológico y a su vez propició la investigación científica en manos de los que apoyaron su uso y de los que no lo hicieron.

A continuación se presentan cuatro categorías de análisis, cada una de ellas fundamentada en una extensa revisión bibliográfica, y cuatro criterios para cada una de las ellas, los cuales constituyen los parámetros que designan cada una de las categorías (Anexo 2). Posteriormente se presentan en forma de tabla, primero el parámetro cualitativo que describe cada criterio junto con su valor cuantitativo o puntos asignados según dicho parámetro (2= al explicar, 1= al mencionar, 0= no se menciona) y en la segunda tabla para cada categoría se establece un parámetro de análisis asignando un valor cuantitativo dependiendo de los resultados obtenidos en cada criterio (Anexo 3, 4, 5 y 6).

La referencia explica en el parámetro cualitativo es si se expone el asunto en cuestión con suficiente claridad para hacerlo más perceptible, es decir, la declaración realizada ayuda a entender el contenido o sentido de lo que se expresa. En la explicación, se manifiesta el qué, el cómo, el por qué y el para qué del concepto o suceso presentado. Cuando se menciona simplemente se enuncia el concepto o suceso pero no explica o relaciona con otros hechos o conceptos en el contexto particular.

CATEGORÍA: FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

Los fundamentos conceptuales se refieren al conjunto de conceptos, procesos, relaciones y usos que conforman lo relacionado con pH en Química que le confieren un significado específico. En esta categoría de análisis los criterios permiten determinar si se consolida el concepto de pH a partir de lo determinado por la comunidad científica de la época y se ajusta a lo establecido por Sörensen, Sörensen y

Linderstrøm-Lang y otros.

Criterio 1. Incluye los conceptos ácido – base, constante de disociación del agua y ley de acción de masas.

Para un adecuado entendimiento del concepto pH es necesario partir de los conceptos ácido y base como sustancias que pueden disociarse. En el siglo XIX y principios del XX se calculaba el grado de acidez o alcalinidad por la cantidad de ácido o base añadida a una solución. Para Sørensen esta era una forma inadecuada de medición, ya que la cantidad de ácido añadido no era necesariamente una medida real de su disociación, si no que dependía de su interacción química con otras especies químicas. Asimismo, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua fueron referentes tomados por Sørensen para formular el concepto pH.

Criterio 2. Ion hidrógeno como unidad de medida

Friedenthal recomendó el uso de la concentración del ion hidrógeno para caracterizar soluciones como ácidas, básicas o neutras según la concentración de H^+ igual, superior o inferior a 10^{-7} . Por tanto, propuso que la reacción de un líquido sea referida siempre a la cantidad de iones $[H^+]$ que contenga aunque se trate de soluciones alcalinas.

Criterio 3. Conceptualización de pH y Nueva formulación de pH en el año 1924

Sørensen propone una forma conveniente de expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno expresado como exponente de iones hidrógeno p_H . Posteriormente en 1924, Sørensen and Linderstrøm-Lang (1924) propusieron una nueva definición de pH como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno:

$$pH = -\lg aH = -\lg (m_{HgH}/m^\circ)$$

Criterio 4. Escala de pH

A partir del concepto de pH como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno se establece una escala con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [\text{H}^+] [\text{OH}^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+).

Tabla 1. Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría fundamentos conceptuales.

CRITERIOS	Valor o puntos	Parámetro
CRITERIO 1 Incluye los conceptos ácido – base, constante de disociación del agua y ley de acción de masas.	2	Explica los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sørensen tomó como referente para formular el concepto pH.
	1	Se mencionan los conceptos de ácido y base, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua como fundamento del concepto pH o se omite alguno de estos conceptos en su conceptualización.
	0	No se mencionan los conceptos de ácido y base, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua como fundamento del concepto pH.
CRITERIO 2 Ion hidrógeno como unidad de medida	2	Explica como se usa la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.
	1	Menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.
	0	No Menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.
CRITERIO 3 Conceptualización de pH y Nueva formulación de pH en el año 1924	2	Explica las propuestas de Sørensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno.
	1	Menciona las propuestas de Sørensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, o se omite alguno de estos conceptos.
	0	No menciona la propuestas de Sørensen (1909) y Linderstrøm-Lang - Sørensen (1924) de p_H .
CRITERIO 4 Escala de pH	2	Explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+][OH^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+).
	1	Menciona la escala de pH que comprende valores entre 0 a 14. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 y la alcalinidad a un pH mayor de 7.
	0	No Menciona la escala de pH ni refiere los valores de la misma para caracterizar sustancias como neutras, ácidas o básicas.

Tabla 2. Nivel de análisis de la categoría fundamentos conceptuales.

Categoría Nivel análisis	FUNDAMENTOS CONCEPTUALES Parámetro de análisis
8	Explica los referentes conceptuales (ácido-base, disociación del agua y ley de acción de masas) para la formulación de pH, la conceptualización que se derivó de los trabajos de Friedenthal, Sörensen, y Linderstrøm-Lang – Sörensen sobre actividad del ion hidrógeno como pH y la escala que se deduce de dicho concepto.
7	De los cuatro criterios se explican tres y se menciona uno de la categoría fundamentos conceptuales.
6	De los cuatro criterios se explican tres y No se menciona uno, o pueden explicarse dos y mencionarse los otros dos de la categoría fundamentos conceptuales.
5	De los cuatro criterios se explican dos, se menciona uno y no se menciona el otro, o puede explicarse uno y solo mencionarse los otros tres de la categoría fundamentos conceptuales.
4	De los cuatro criterios se explican dos y no se mencionan dos. También, puede explicarse uno, mencionarse dos y uno no se menciona, o se mencionan los cuatro criterios de la categoría fundamentos conceptuales.
3	De los cuatro criterios se explica uno, se menciona uno y no se mencionan dos. También, pueden mencionarse tres y uno no se menciona en esta categoría fundamentos conceptuales.
2	De los cuatro criterios se explica uno y no se mencionan tres, o pueden mencionarse dos y dos no se mencionan de la categoría fundamentos conceptuales.
1	Se menciona un criterio y no se mencionan tres de los criterios de la categoría fundamentos conceptuales.
0	No se menciona ninguno de los criterios de la categoría fundamentos conceptuales.

CATEGORÍA TECNOLÓGICA

Se relaciona en esta categoría de análisis la importancia de los avances tecnológicos para proporcionar una medida cada vez más precisa del pH presentándose procesos y/o métodos que fueron útiles para el desarrollo de instrumentos o aparatos capaces de dar resultados confiables concernientes a la medida de la concentración del ion hidrógeno y de tal forma establecer una caracterización de las sustancias.

Criterio 1. Escala y medición de pH

Es significativo distinguir y comprender la formulación de una escala y medición del pH, ya que en la escala de pH se puede establecer una ordenación según la fuerza de acidez, pero en la que no es posible establecer cuántas veces es más ácida una sustancia de otra.

Criterio 2. Celdas electroquímicas

Aparición de las primeras celdas electroquímicas. Este tipo de celdas fueron propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX mucho antes del desarrollo de la teoría iónica de las disoluciones pero la medición de las variables eléctricas de los circuitos continuó siendo complicada, imprecisa y costosa hasta el desarrollo de los voltímetros que empleaban las nuevas válvulas de vacío, los diodos o triodos.

Criterio 3. Métodos colorimétrico y electrométrico.

Existen varios métodos para medir el pH, el primero en usarse fue la colorimetría usando un papel indicador de pH, luego el método del electrodo, el cual mide el potencial generado (milivolts) por un electrodo de vidrio que es sensible a la actividad del ion H^+ .

Criterio 4. Desarrollo del pH-metro a partir de los diferentes elementos básicos de medida y confiabilidad del resultado

El desarrollo de los pH-metros estuvo relacionado con la mejora de los elementos básicos relacionados con ellos: galvanómetros de alta sensibilidad, fuentes electromotrices estandarizadas, células electroquímicas y electrodos adecuados; además combinan una exactitud y una precisión máxima con facilidad de uso y mantenimiento reducido.

Tabla 3. Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría tecnológica.

CRITERIOS	Valor o puntos	Parámetro
CRITERIO 1 Escala y medición de pH	2	Explica la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.
	1	Menciona la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.
	0	No Menciona la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.
CRITERIO 2 Celdas electroquímicas	2	Explica la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.
	1	Menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.
	0	No Menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.
CRITERIO 3 Métodos colorimétrico y electrométrico	2	Explica los métodos de colorimetría y el método del electrodo para medir el pH.
	1	Menciona la colorimetría y/o el método del electrodo como método para medir el pH.
	0	No menciona la colorimetría y el método del electrodo como método para medir el pH.
CRITERIO 4 Desarrollo del pH-metro a partir de los diferentes elementos básicos de medida y confiabilidad del resultado	2	Explica el desarrollo de diferentes pH-metros en los cuales se evidencia una creciente exactitud y precisión en la medida, facilidad de uso del instrumento y mantenimiento del mismo.
	1	Menciona diferentes pH-metros desarrollados para mejorar la precisión y exactitud en la medida.
	0	No Menciona diferentes pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida.

Tabla 4. Nivel de análisis de la categoría tecnológica.

Categoría Nivel análisis	TECNOLÓGICA Parámetro de análisis
8	Explica la escala y medición del pH con el desarrollo de las celdas electroquímicas y los pH-metros. También se explica los métodos colorimétrico y electrométrico.
7	De los cuatro criterios se explican tres y se menciona uno de los criterios enunciados en la categoría tecnológica.
6	De los cuatro criterios se explican tres y No se menciona uno, o pueden explicarse dos y mencionarse los otros dos de la categoría tecnológica.
5	De los cuatro criterios se explican dos, se menciona uno y no se menciona el otro, o puede explicarse uno y solo mencionarse los otros tres de la categoría tecnológica.
4	De los cuatro criterios se explican dos y no se mencionan dos. También, puede explicarse uno, mencionarse dos y uno no se menciona, o se mencionan los cuatro criterios de la categoría tecnológica.
3	De los cuatro criterios se explica uno, se menciona uno y no se mencionan dos. También, pueden mencionarse tres y uno no se menciona en esta categoría tecnológica.
2	De los cuatro criterios se explica uno y no se mencionan tres, o pueden mencionarse dos y dos no se mencionan de la categoría tecnológica.
1	Se menciona un criterio y no se mencionan tres de los criterios de la categoría tecnológica.
0	No se menciona ninguno de los criterios de la categoría tecnológica.

CATEGORIA ECONÓMICA

La categoría de análisis denominada económica relaciona los vínculos existentes entre el concepto pH, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos que trajo tras de sí ésta herramienta conceptual, además de los desarrollos tecnológicos efectuados para proporcionar datos cada vez más exactos en la industria, medicina y laboratorios en general.

Criterio 1. Aplicación en procesos industriales

La medida de la acidez es un parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos en productos de alta demanda, como la cerveza que se fabrica usando reacciones de fermentación. También es frecuente su determinación y control en procesos que se desarrollan en medio acuoso.

La industria de la cerveza es una de las más rentables a nivel mundial, esto es el resultado de la creciente demanda del producto en todos los niveles sociales, los bajos costos de la materia prima, la calidad del producto y su alto margen de utilidad.

Criterio 2. Aplicación en medicina

La escala pH resultó útil en el campo de la bioquímica con especial interés en los tejidos vivientes que actúan como amortiguadores ante cambios de acidez y alcalinidad (tampón natural) y es un parámetro usado en la identificación de anomalías en la salud.

La medicina al igual que la industria de la cerveza es rentable a nivel mundial principalmente por su demanda constante y adicionalmente porque se necesita para su operación una gran cantidad de instrumentos, aparatos y productos farmacéuticos.

Criterio 3. Instrumentos de medida del pH

El uso de papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa son medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y por tanto se convirtieron en herramienta de alta demanda en la industria y los laboratorios de diferente índole. Beckman en 1935, a raíz del gran potencial de mercado con su

invento del pH-metro fundó su empresa “Beckman Instruments”.

Criterio 4. Problema que intentó resolver el autor

El interés de Sørensen en la definición del concepto de pH fue determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación. Se tenía la necesidad de medir y expresar la acidez de una solución, porque era una variable importante en procesos biológicos y bioquímicos, en este caso la empresa de cerveza Carlsberg se benefició ya que aplicó en los procesos químicos de elaboración de cerveza la medida de pH.

Tabla 5. Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría económica.

CRITERIOS	Valor o puntos	Parámetro
CRITERIO 1 Aplicación en procesos industriales	2	Explica porque la acidez es un parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.
	1	Menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.
	0	No menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.
CRITERIO 2 Aplicación en medicina	2	Explica porque es útil la medida de pH en muchos campos de la medicina.
	1	Menciona el uso de la medida pH en la medicina.
	0	No menciona la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina.
CRITERIO 3 Instrumentos de medida del pH	2	Explica el funcionamiento del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias presentándolos como herramientas o instrumentos que generan beneficios económicos.
	1	Menciona el uso del papel indicador, los electrodos y/o pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y/o como herramientas de alta demanda en la industria.
	0	No menciona el uso del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y como herramienta de alta demanda en la industria.
CRITERIO 4 Problema que intentó resolver el autor	2	Establece la relación entre el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación mientras trabaja en una fábrica de cerveza, con su propuesta sobre el concepto que propuso como pH.
	1	Menciona que Sørensen determinó el concepto pH cuando trabajaba en una fábrica de cerveza.
	0	No Menciona que el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH.

Tabla 6. Nivel de análisis de la categoría económica.

Categoría Nivel análisis	ECONÓMICA Parámetro de análisis
8	Establece los beneficios económicos generados a partir de la medida de la acidez o basicidad de las sustancias a partir de los instrumentos o herramientas usadas para ello y determina las diferentes aplicaciones del concepto pH en diversos campos como la medicina y la industria. Además que este concepto surge de la necesidad de medir la acidez en procesos enzimáticos.
7	De los cuatro criterios se explican tres y se menciona uno de la categoría económica.
6	De los cuatro criterios se explican tres y No se menciona uno, o pueden explicarse dos y mencionarse los otros dos de la categoría económica.
5	De los cuatro criterios se explican dos, se menciona uno y no se menciona el otro, o puede explicarse uno y solo mencionarse los otros tres de la categoría económica.
4	De los cuatro criterios se explican dos y no se mencionan dos. También, puede explicarse uno, mencionarse dos y uno no se menciona, o se mencionan los cuatro criterios de la categoría económica.
3	De los cuatro criterios se explica uno, se menciona uno y no se mencionan dos. También, pueden mencionarse tres y uno no se menciona en esta categoría económica.
2	De los cuatro criterios se explica uno y no se mencionan tres, o pueden mencionarse dos y dos no se mencionan de la categoría económica.
1	Se menciona un criterio y no se mencionan tres de los criterios de la categoría económica.
0	No se menciona ninguno de los criterios de la categoría económica.

CATEGORIA SOCIAL

Esta categoría de análisis destaca el interés y controversia generado en la comunidad científica luego de la formulación del concepto pH y su utilidad en diferentes campos. Mediante la controversia y las limitaciones encontradas de un concepto se llega a refutarlo o a comprobarlo haciéndolo parte de la estructura química general. Además se logra un trabajo en equipo entre la comunidad investigadora evidenciándose los procesos que permiten generación de conocimiento.

Criterio 1. Controversia por el uso de pH entre los académicos de la época

En la primera década del siglo XX, la medida de la acidez a partir de la concentración de iones de hidrógeno solo se aceptó y utilizó principalmente entre biólogos y médicos pero los químicos no la aceptaron fácilmente para ese momento. Para ellos la determinación de la concentración de iones de hidrógeno era más teórica que para los biólogos y bioquímicos ya que trabajaban con sistemas tampón naturales por lo que era necesario la cuantificación de la concentración del ion hidrógeno.

Criterio 2. Discusión sobre la utilidad de la escala de Sørensen

En la década de 1920, se presenta una gran discusión entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones y varias escalas fueron propuestas para sustituirla, pero no fueron validadas por la comunidad científica puesto que representaban cálculos más complejos que los realizados por la notación pH o porque no eran prácticas en el uso rutinario.

Criterio 3. Necesidad de determinar la acidez

Antes de ser establecidas metodologías experimentales confiables y reproducibles surge la necesidad de determinar la acidez de un medio, de la cual se da inició a un desarrollo teórico, experimental y tecnológico para dar solución a las necesidades del momento. Esto resultó ser un ejemplo de cooperación entre la industria y el mundo

académico.

Criterio 4. Trabajo de la comunidad científica

La cooperación y la divulgación de los trabajos de los científicos permiten realizar el enriquecimiento de los conocimientos facilitando el avance conceptual y tecnológico. También es fundamental la formación de grupos de investigación donde el intercambio y puesta en común de ideas y discernimientos favorecen la construcción de conocimiento. Ejemplo de ello es que para precisar el concepto de pH Sørensen trabajó junto a Linderstrøm-Lang y se basó en el trabajo de otros científicos como Friedenthal, Guldberg, Waage y muchos otros.

Tabla 7. Parámetro cualitativo y cuantitativo de cada criterio de la categoría social.

CRITERIOS	Valor o puntos	Parámetro
CRITERIO 1 Controversia por el uso de pH entre los académicos de la época	2	Explica la controversia generada entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época ya que los primeros no aceptaron fácilmente en un comienzo la medida de la acidez a partir de la concentración de iones de hidrógeno.
	1	Menciona la controversia que se generó entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época en la aceptación del pH como medida de acidez.
	0	No menciona la controversia que se generó entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época en la aceptación del pH como medida de acidez.
CRITERIO 2 Discusión sobre la utilidad de la escala de Sørensen	2	Explica la discusión generada en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.
	1	Menciona la discusión que se generó en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.
	0	No menciona la discusión que se generó en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.
CRITERIO 3 Necesidad de determinar la acidez	2	Explica la necesidad de determinar la acidez de un medio con lo cual se inició a un desarrollo teórico, experimental y tecnológico en la época gracias al trabajo en equipo entre la industria y el mundo académico.
	1	Menciona la necesidad de determinar la acidez de un medio que propicie el desarrollo teórico, experimental y tecnológico gracias al trabajo en equipo entre la industria y el mundo académico.
	0	No menciona la necesidad de determinar la acidez de un medio.
CRITERIO 4 Trabajo de la comunidad científica	2	Explica que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.
	1	Menciona que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.
	0	No menciona que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.

Tabla 8. Nivel de análisis de la categoría social.

Categoría Nivel análisis	SOCIAL Parámetro de análisis
8	Se explican los fenómenos sociales ocurridos dentro de las comunidades de científicos tras la determinación del pH exponiendo los sucesos que generaron debate y discusión en la comunidad científica de la época. Además se explica que el pH surge de la necesidad de determinar eficazmente la acidez de disoluciones o medios donde se llevan a cabo procesos biológicos.
7	De los cuatro criterios se explican tres y se menciona uno de la categoría social.
6	De los cuatro criterios se explican tres y No se menciona uno, o pueden explicarse dos y mencionarse los otros dos de la categoría social.
5	De los cuatro criterios se explican dos, se menciona uno y no se menciona el otro, o puede explicarse uno y solo mencionarse los otros tres de la categoría social.
4	De los cuatro criterios se explican dos y no se mencionan dos. También, puede explicarse uno, mencionarse dos y uno no se menciona, o se mencionan los cuatro criterios de la categoría social.
3	De los cuatro criterios se explica uno, se menciona uno y no se mencionan dos. También, pueden mencionarse tres y uno no se menciona en esta categoría social.
2	De los cuatro criterios se explica uno y no se mencionan tres, o pueden mencionarse dos y dos no se mencionan de la categoría social.
1	Se menciona un criterio y no se mencionan tres de los criterios de la categoría social.
0	No se menciona ninguno de los criterios de la categoría social.

4.4 TEXTOS ANALIZADOS

Una vez realizado el sondeo entre los profesores de química de la Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Distrital Francisco José de Caldas y la Universidad Antonio Nariño de los programas de formación de profesores de química, se obtuvieron los siguientes resultados de la encuesta aplicada a 11 profesores (Ver anexo 7):

9 de los profesores encuestados coinciden con el uso recurrente del libro de Química de Chang y College, la segunda opción fue el libro de Química de Brown, LeMay y Bursten con un total de 7 profesores que se remiten a el, la tercera fue la Química General de Whitten y Gailey con 6 profesores que lo utilizan, la Química general de Petrucci, Harwood y Herring con 6 docentes, 5 profesores usan la Química General de Mortimer, 2 la Química de Briceño y Rodríguez y la Química de Seese y Daub, por último con una mención la Química para el nuevo Milenio de Hill y Kolb, los Principios de Química de Atkins y Jones, y la Química General de Barrow.

Tabla 9. Libros seleccionados para el análisis.

1. Chang y College, R. 2002. Química. Mc Graw-Hill. México
2. Brown, T. L., LeMay, H. E. Jr. y Bursten, B. E. 1998. Química. La ciencia central. Prentice Hall Hispanoamericana. México
3. Whitten, K. W. y Gailey, Kenneth D. 1985. Química General. Nueva Editorial Interamericana, S.A.
4. Petrucci, R. Harwood, W., Herring, F. 2002. Química general. Octava Edición. Ed. Pearson Educación. Madrid.
5. Mortimer, C. E. 1983. Química General Grupo Editorial Iberoamericana
6. Briceño, C.O., Rodríguez, L. 1993. Química. 2da Edición. Ed. Educativa.

7.	Seese, W.S., Daub, G.W. 1994. Química 5° Edición. Prentice Hall Hispanoamericana.
8.	John W. Hill y Doris K. Kolb. 1999. <i>Química para el nuevo milenio</i> , 8ª ed, Prentice Hall, México.
9.	Atkins, P., Jones, L. 2012. Principios de Química. Los caminos del descubrimiento. 5ª Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.
10.	Barrow, Gordon. 1975. Química General. Editorial Reverté, S.A. Barcelona.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

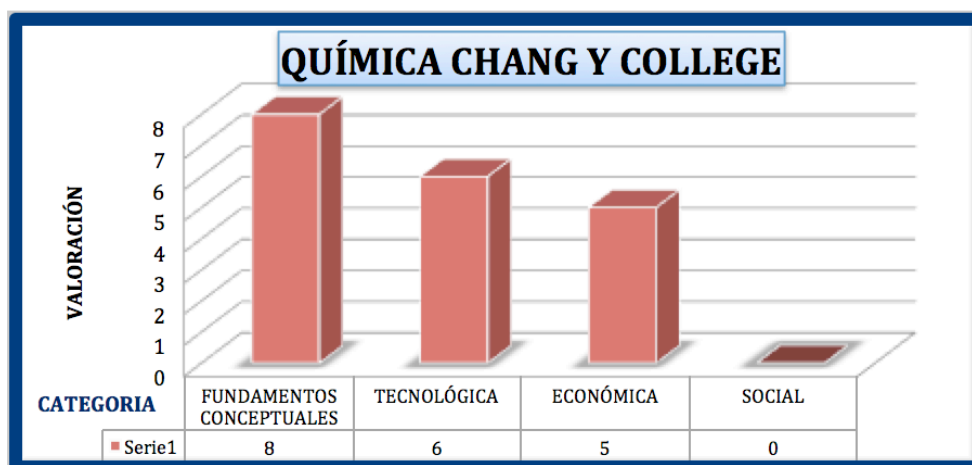
El análisis de los libros de texto de educación superior a partir de las unidades de análisis fueron:

1. Caracterización del libro:

TITULO DEL LIBRO: QUÍMICA
AUTORES: RAYMON CHANG Y WILLIAMS COLLEGE
EDICIÓN: SÉPTIMA
LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO
EDITORIAL: Mc GRAW HILL
AÑO DE EDICIÓN: 2002
INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Capacitar a los estudiantes en un buen desempeño en química general a través de un ambiente interactivo teniendo en cuenta el libro de texto como herramienta de aprendizaje de nuevos conceptos.

Tabla 10. Resultados cuantitativos libro de Química de Chang y College

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	2	2	2	8
TECNOLÓGICA	2	2	2	0	6
ECONÓMICA	1	2	2	0	5
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 1. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Chang y College

En el libro de Química de Raymong Chang y Williams College, al igual que en el libro Principios de Química de Peter Atkins y Loretta Jones, con respecto al fundamento conceptual de pH se ha tenido en cuenta lo determinado por la comunidad científica de la época y se ajusta a lo establecido por Sörensen, Sörensen y Linderstrøm-Lang y otros. Se obtuvo una valoración de 8 de 8 ya que en estos textos se explican los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sörensen tomó como referente para formular el concepto pH, el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal así como también las propuestas de Sörensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno. Además también explican la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+] [OH^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+).

Al explicar cada uno de los criterios se fomenta el aprendizaje de los fenómenos químicos ocurridos, presentando herramientas teóricas pertinentes con argumentos sólidos que sustentan las propuestas del concepto pH y su escala de medida. Igualmente, al explicar la conceptualización de pH de 1909 y 1924 se destaca su evolución y la inclusión de cambios en su formulación, con lo que se proporciona una visión del conocimiento como dinámico y cambiante que responda a una mayor cantidad de fenómenos.

En la categoría tecnológica se alcanzaron 6 puntos de 8, puesto que se explica tanto la formulación de una escala pH, la forma de medición de la misma y los métodos de colorimetría y del electrodo para medir el pH, pero no se mencionan los diferentes pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida de pH. Se destaca en esta categoría que los autores explican los procesos químicos ocurridos en los métodos colorimétrico y potenciométrico que permiten medir los iones de hidrógeno en las disoluciones y no se presentan simplemente como forma de medir el pH. En cuanto a la carencia en el texto del desarrollo de los pH-metros se prescinde que el conocimiento científico se relaciona con la evolución técnica y tecnológica de las sociedades.

Por otro lado, en la categoría económica se obtuvieron 5 puntos de 8 puesto que a pesar de que se establece la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina y explica el funcionamiento del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias presentándolos como herramientas o instrumentos que generan beneficios económicos, únicamente menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos y no menciona que el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH. De esta forma se desaprovecha la idea que el conocimiento es una construcción social ligada a las necesidades de individuos que requieren en momentos específicos

cuestionarse y dar solución a dichos interrogantes. El conocimiento surge no de caprichos personales sino en respuesta a fenómenos cuestionables que tienen aplicaciones a ciertos procesos útiles para el ser humano.

Al igual no se puede negar que los autores en su libro presentan algunas aplicaciones en las cuales es conveniente la medida del pH y los diferentes instrumentos que se tienen para ello, por lo que el que se remita al libro puede extraer que en la actualidad es un parámetro que se usa y es necesario en ciertos campos conectando lo trabajado en las aulas de clase con lo sucedido en ámbitos de la salud y la industria.

En la categoría social no se obtuvo valor cuantitativo en este libro ni en ninguno de los nueve restantes ya que no se destaca el interés y controversia generado en la comunidad científica, luego de la formulación del concepto pH y su utilidad en diferentes campos. Tampoco se muestra como mediante la controversia y las limitaciones encontradas del concepto se llegó a su aceptación haciéndolo parte de la estructura conceptual de la química. Así mismo no se muestra el trabajo mancomunado que se realizó entre la comunidad investigadora. Al prescindir del contexto social en el que se formuló el pH y lo que suscitó en la comunidad de especialistas de diferentes áreas del conocimiento, se desaprovecha los recursos históricos que pueden ser útiles en el proceso de enseñanza donde la ciencia pierda su carácter lineal y ajeno a las realidades de las personas en una sociedad y también lo que se suscita comúnmente en las comunidades de científicos.

Según lo anterior, la relación entre el análisis del concepto pH y la intencionalidad de los autores del libro puede cumplirse en lo relacionado al componente conceptual, tecnológico y en cierta medida a lo económico, pues el propósito de capacitar a los estudiantes en un buen desempeño en química general a través de un ambiente interactivo teniendo en cuenta el libro de texto como herramienta de aprendizaje de nuevos conceptos puede verse favorecida con las explicaciones y relaciones que se generan entre conceptos y aportes de tipo histórico, tecnológico y económico.

2. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA, LA CIENCIA CENTRAL.

AUTORES: THEODORE L. BROWN (University of Illinois at Urbana-Champaign), H. EUGENE LEMAY, Jr. (University of Nevada), BRUCE E. BURSTEN (The Ohio State University).

TRADUCCIÓN: HÉCTOR J. ESCALONA y GARCÍA (Universidad Autónoma de México) y ROBERTO ESCALONA (Traductor profesional).

EDICIÓN: SÉPTIMA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO

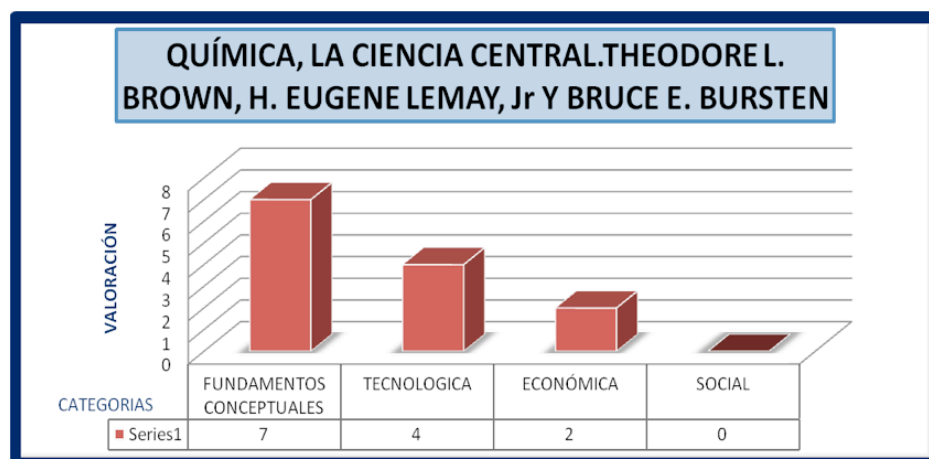
EDITORIAL: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA

AÑO DE EDICIÓN: 1998

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Mostrar a los estudiantes la utilidad de la química en sus principales áreas de estudio y también en el mundo que les rodea y de esta forma los estudiantes adquieren conciencia de la importancia de la química para sus propias metas e intereses, se entusiasman más para aprenderla, apreciando la química como fundamental y ciencia vital en constante desarrollo. Además, proporcionar a los estudiantes conocimientos suficientes de química moderna para sus estudios especializados.

Tabla 11. Resultados cuantitativos libro Química, La Ciencia Central de Brown, Lemay y Bursten.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	2	1	2	7
TECNOLÓGICA	2	0	2	0	4
ECONÓMICA	0	1	1	0	2
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 2. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química, La Ciencia Central de Brown, Lemay y Bursten.

En el libro Química, *La ciencia central*, de Theodore Brown, Eugene Lemay y Bruce Bursten, al igual que la *Química General* de Ralph Pettrucci, William Harwood y Geoffrey Herring, se puede observar que en la categoría fundamentos conceptuales se obtuvo una valoración de 7 de 8 ya que en estos textos se explican los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sörensen tomó como referente para formular el concepto pH, el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal, pero no lo nombran. También se explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+][OH^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+). Se menciona la conceptualización de Sörensen sobre pH en 1909, como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H , pero no se presenta el trabajo realizado posteriormente por Sörensen y Linderstrøm-Lang en 1924 en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, por lo que queda la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones y por tanto que este responde a todas las

particularidades de las disoluciones. Además, al no mencionarse a otros científicos como Hans Friedenthal se asume que la construcción del concepto pH es fruto del trabajo de una sola persona y no de un colectivo de personas como sucede realmente.

En la categoría tecnológica se obtuvo un valor de 4 de 8, al igual que en la *Química General* de Ralph Pettrucci, William Harwood y Geoffrey Herring ya que se explican los métodos de colorimetría y el método del electrodo para medir el pH, la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma, lo que permite comprender desde la química los fenómenos ocurridos en estos procesos. No se mencionan la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX ni los diferentes modelos de pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida, es así como no se resalta la importancia del desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables. La relación conocimiento científico y evolución técnica y tecnológica en una sociedad se suprime como referente contextual para la construcción de saber.

En la valoración de la categoría económica se obtuvo 2 puntos de 8, valor también obtenido en el libro de Química de William Daub y William Seese, puesto que únicamente se mencionan el uso de la escala pH en la medicina y el uso del papel indicador, los electrodos y/o pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y herramienta de alta demanda en la industria. No se mencionan la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos ni el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH. En esta categoría son mínimos los vínculos existentes entre el concepto pH, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos generados por diversas empresas e industrias que fabrican instrumentos de medida de pH o que usan en sus procesos la determinación

del pH. Los autores en sus libros no aprovechan las múltiples aplicaciones de la medida de pH en diferentes industrias pues son muy pocos los ejemplos en el texto en los cuales se resalta su determinación como medida fundamental en procesos biológicos y químicos.

Según los resultados la relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades de los autores no se cumpliría totalmente el objetivo que se proponen de mostrar a los estudiantes la utilidad de la química en el mundo que les rodea porque el pH no se muestra como medida fundamental en procesos biológicos y químicos, y sus relaciones con los ámbitos tecnológicos y económicos de dicho concepto. De esta forma los estudiantes no perciben la importancia de la química en diferentes campos prácticos, por lo que se dificultaría su apreciación como ciencia fundamental y vital en constante desarrollo. Pueden lograr en cierta medida proporcionar a los estudiantes conocimientos de química para estudios especializados si se basa específicamente en los fundamentos conceptuales del concepto pero se tendría deficiencias al ligar lo estudiado en clases con los contextos de los estudiantes.

3. Caracterización del libro:

TITULO DEL LIBRO: QUÍMICA GENERAL

AUTORES: KENNETH W. WHITTEN (Universidad de Georgia) y KENNETH D. GAILEY (Universidad de Georgia).

TRADUCCIÓN: ENRIQUE BARRADO ESTEBAN y RAFAEL PARDO ALMUNDI.

EDICIÓN: PRIMERA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO

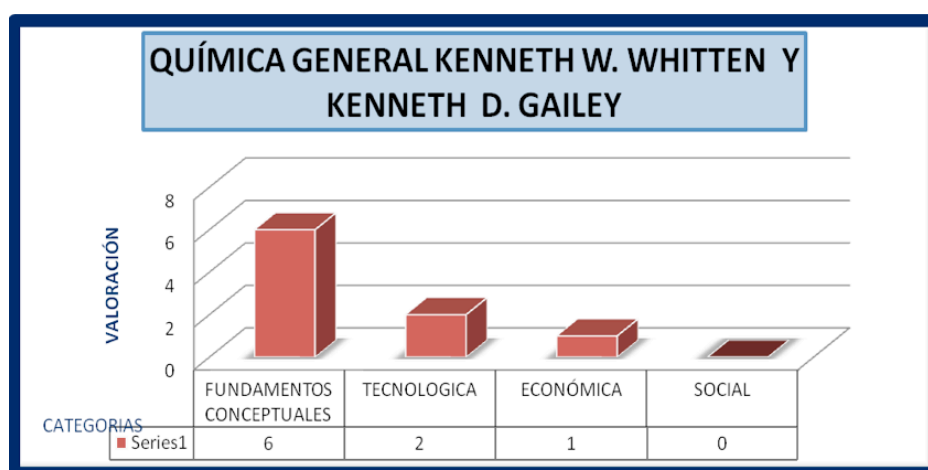
EDITORIAL: NUEVA EDITORIAL INTERAMERICANA, S.A.

AÑO DE EDICIÓN: 1985

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Sugerir diferentes formas de estudiar química. Para el caso de los profesores definir cada nuevo concepto con tanta exactitud como fuera posible e ilustrar su significado práctico, mientras que para los estudiantes se presenta un vocabulario e ideas que se hacen cada vez más complejas a medida que se abordan los diferentes capítulos.

Tabla 12. Resultados cuantitativos libro Química General de Whitten y Gailey.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	2	1	1	6
TECNOLÓGICA	1	0	1	0	2
ECONÓMICA	0	0	1	0	1
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 3. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química, La Ciencia Central de Brown, Lemay y Bursten.

El texto de Química General de Kenneth W. Whitten y Kenneth D. Gailey obtuvo una valoración de 6 de 8 en la categoría fundamentos conceptuales ya que explica los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sörensen tomó como referente para formular el concepto pH. También explica cómo se usa la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal. Se menciona la escala de pH que comprende valores entre 0 a 14 y la propuesta de Sörensen sobre pH en 1909, como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H , pero no se nombra a Sörensen, así se

desconoce que el conocimiento es el resultado del esfuerzo y del trabajo de los científicos en un momento histórico específico. Adicionalmente, no se presenta el trabajo realizado posteriormente por Sørensen y Linderstrøm-Lang en 1924 en el que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, por lo que queda la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones y por tanto que este responde a todas las particularidades de las disoluciones, y sumado a ello al no incluirse a otros científicos como Hans Friedenthal, quien realizó un aporte significativo en la formulación de pH que hace Sørensen, se asume que la construcción del concepto es fruto del trabajo de una sola persona y no de un colectivo de personas como sucede realmente.

A su vez en la categoría tecnológica se obtuvo una valoración de 2 sobre 8, de igual forma que la Química de Charles Mortimer ya que mencionan la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma, y la colorimetría y/o el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH. La falta de explicación de los métodos colorimétricos y potenciométricos reduce las posibilidades de comprensión de los fenómenos químicos sucedidos para que se de una medida de los iones hidrógeno. No se mencionan la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX ni los diferentes modelos de pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida, es así como no se resalta la importancia del desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables. Por lo anterior, falta relacionar en mayor medida el conocimiento científico y evolución técnica y tecnológica de una sociedad.

En la categoría económica la valoración obtenida es 1 de 8, al igual que en la Química de Charles Mortimer, la Química para el Nuevo Milenio de John Hill y Doris Kolb y la Química General de Gordon Barrow ya que en estos textos únicamente se menciona el uso del papel indicador, los electrodos y/o pH-metros

portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y herramienta de alta demanda en la industria. Pero no menciona la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina, la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos, ni el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación que lo condujeron a proponer el concepto pH. En cuanto a esta categoría son casi ausentes los vínculos existentes entre el concepto pH, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos generados por diversas empresas e industrias que fabrican instrumentos de medida de pH o que usan en sus procesos la determinación del pH. Los autores en sus textos no aprovechan las múltiples aplicaciones de la medida de pH en diferentes industrias pues no se dan ejemplos en los cuales se resalta su determinación como medida fundamental en procesos biológicos y químicos. Al igual, no se expresa la necesidad que llevo a Sørensen a proponer el concepto pH y el desarrollo a nivel conceptual, tecnológico y económico que se generó tras de su presentación a la comunidad académica de la época.

Mediante la relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades de los autores, se disipa el significado práctico que pretende evidenciarse con este concepto porque no se manifiesta las aplicaciones prácticas en procesos químicos y biológicos que son fundamentales en la industria alimenticia, cosmética y de la salud, entre otras. En lo referente al propósito de definir cada nuevo concepto con tanta exactitud como fuera posible, para este caso concreto, al no indicarse las limitaciones del concepto pH y los aportes que se han hecho después de su primera conceptualización, los autores incurren en imprecisiones e inexactitud con respecto a lo aceptado actualmente por la comunidad de especialistas en este tema.

4. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA GENERAL

AUTORES: RALPH PETRUCCI (California State University), WILLIAM HARWOOD (Indiana University) y F. GEOFFREY HERRING (University British Columbia).

TRADUCCIÓN: CONCEPCIÓN PARDO G. y PUMARINO NEREA IZA CABO (Universidad Complutense de Madrid).

EDICIÓN: OCTAVA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MADRID

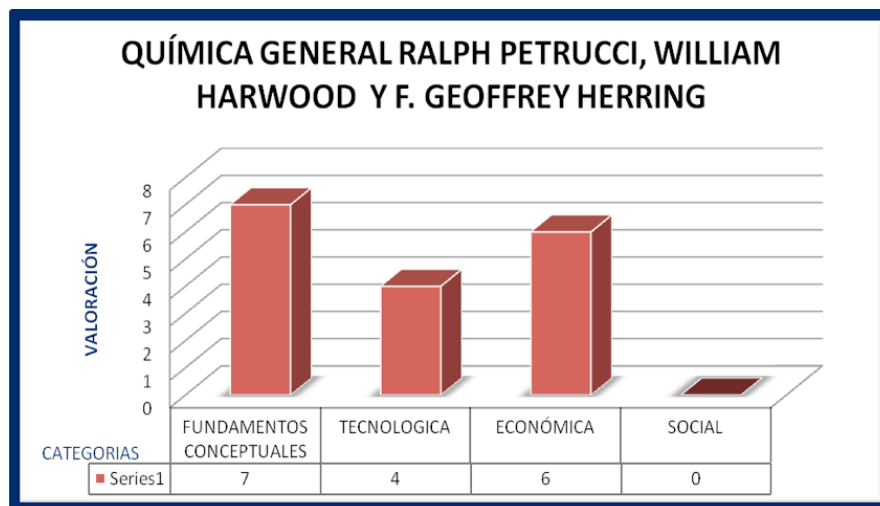
EDITORIAL: PEARSON EDUCACIÓN

AÑO DE EDICIÓN: 2002

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Aumentar la destreza en la resolución de problemas y la capacidad crítica del alumno. Se dirige a estudiantes interesados en carreras de química como en otras áreas relacionadas o que dentro de su formación profesional deben cursar la asignatura de química general.

Tabla 13. Resultados cuantitativos libro Química General de Petrucci, Harwood y Herring.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	2	1	2	7
TECNOLÓGICA	2	0	2	0	4
ECONÓMICA	2	2	1	1	6
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 4. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química General de Petrucci, Harwood y Herring.

Por otra parte en la categoría económica se obtuvo una valoración de 6 de 8 puesto que explica porque la acidez es un parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos y la utilidad de la medida de pH en muchos campos de la medicina, se menciona el uso del papel indicador, los electrodos y/o pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias pero no los relaciona como herramientas de alta demanda en la industria. Al igual, se menciona que Sørensen determinó el concepto pH cuando trabajaba en una fábrica de cerveza. En el análisis de esta categoría podemos deducir que los autores realizaron una aproximación al contexto en el cual emergió el concepto de pH y lo que ello implicó en la comunidad de la época y lo que representa en la actualidad para campos como la industria y la medicina.

Mediante el anterior análisis del concepto pH y las intencionalidades de los autores, los fundamentos conceptuales y la relación de éstos con lo referido a lo económico se puede incidir positivamente en aumentar la destreza en la resolución de problemas prácticos y de lápiz y papel, pero a los autores les falta una mayor inclusión de las

relaciones del concepto pH con la tecnología que se usa y el contexto social donde se evidencia el conocimiento como una construcción social.

5. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA

AUTOR: CHARLES E. MORTIMER (Muhlenberg College).

TRADUCCIÓN: JAIME GUERRERO SANTAFÉ (Universidad Pedagógica Nacional).

EDICIÓN: QUINTA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO

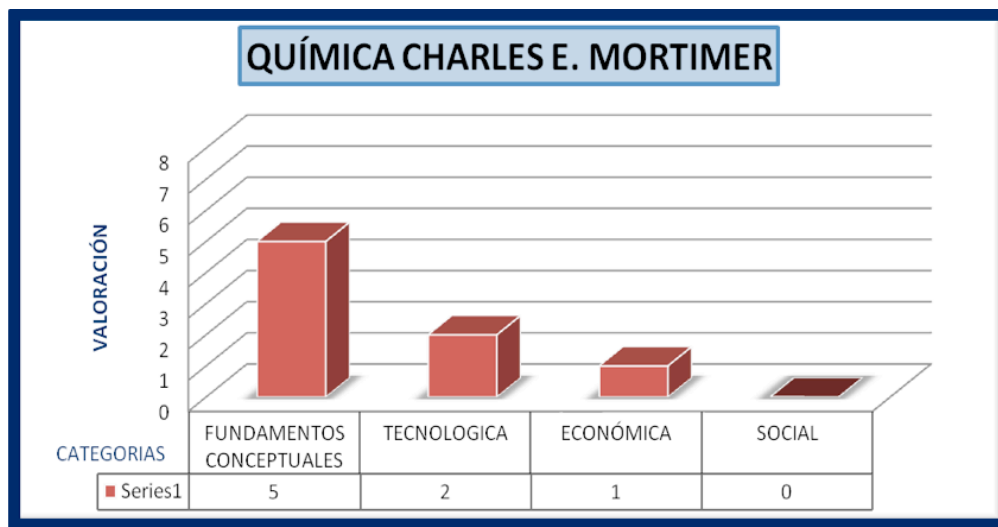
EDITORIAL: IBEROAMERICANA

AÑO DE EDICIÓN: 1983

INTENCIONALIDAD DEL AUTOR: Explicar la química, no sólo para exponer datos químicos, por lo que cada concepto es explicado en forma tan amplia como sea necesario para que pueda comprenderse mejor, y en los casos necesarios han sido simplificados pero nunca distorsionados.

Tabla 14. Resultados cuantitativos libro Química de Mortimer.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	1	1	1	5
TECNOLÓGICA	1	0	1	0	2
ECONÓMICA	0	0	1	0	1
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 5. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Mortimer.

En el libro *Química*, de Charles E. Mortimer en la categoría fundamentos conceptuales se obtuvo una valoración de 5 de 8, al igual que el libro *Química General* de Gordon Barrow ya que al analizarlos se puede notar que los textos explican los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage. Se menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal, pero no menciona a este científico. Se menciona la propuesta de Sørensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H , pero no menciona a Sørensen, ni tampoco el concepto de pH propuesto por Sørensen junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, por lo que queda la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones y por tanto que este responde a todas las particularidades de las disoluciones. Además, al no mencionarse a otros científicos como Hans Friedenthal se asume que la construcción del concepto pH es fruto del trabajo de una sola persona y no de un colectivo de personas como sucede realmente. También se menciona la escala de pH que comprende valores entre 0 a 14. Un pH de

7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 y la alcalinidad a un pH mayor de 7, pero no se realiza una explicación del porque de dichos valores.

Según lo anterior, la relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades del autor, hay limitaciones al explicar la química, porque el concepto como lo muestran no es explicado en forma tan amplia como sea necesario para que pueda comprenderse mejor, y también al simplificarse se puede distorsionar alejándose de lo que se aceptó y acepta por la comunidad de especialistas.

6. Caracterización del libro:

TITULO DEL LIBRO: QUÍMICA

AUTORES: CARLOS OMAR BRICEÑO Y LILIA RODRIGUEZ

EDICIÓN: PRIMERA

LUGAR DE LA EDICIÓN: BOGOTÁ

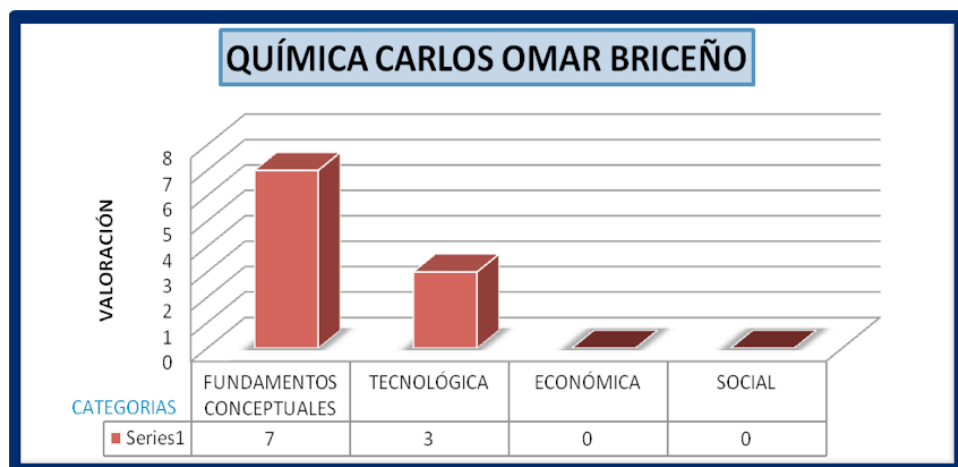
EDITORIAL: EDITORIAL EDUCATIVA

AÑO DE EDICIÓN: 1993

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Ofrecer a los estudiantes universitarios de las diversas disciplinas académicas, un enfoque motivado de los principios básicos de la Química a partir de los notas, conferencias y problemas que surgen de acuerdo con la experiencia docente universitaria en un curso de Química General.

Tabla 15. Resultados cuantitativos libro Química de Briceño y Rodríguez.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	1	2	2	2	7
TECNOLÓGICA	2	1	0	0	3
ECONÓMICA	0	0	0	0	0
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 6. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Briceño y Rodríguez.

En el estudio del libro Química de Carlos Omar Briceño y Lilia Rodríguez para la categoría Fundamentos Conceptuales se consiguieron 7 puntos de 8 ya que en este texto explica el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal así como también las propuestas de Sörensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno pH . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno. Además también explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+][OH^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+). Se aprecia que se presentan una adecuada base conceptual del pH pero falta mayor especificidad y explicación desde la ley de acción de masas y la conductividad del agua para formular pH como lo hizo Sörensen.

En la categoría tecnológica se observa que solamente se obtuvieron 3 puntos de 8 ya que explica la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma, y únicamente menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas

por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX, pero no menciona la colorimetría y el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH ni los diferentes pH-metros desarrollados para mejorar la precisión y exactitud en la medida, es así como no se resalta la importancia del desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables. La relación entre construcción de conocimientos científicos y evolución técnica y tecnológica en una sociedad parece según los autores poco significativa y útil en el proceso de aprendizaje.

Además, se reduce las posibilidades de comprensión de los fenómenos químicos sucedidos para que se de una medida de los iones hidrógeno en los métodos colorimétricos y potenciométricos.

Referente a la categoría económica se obtuvo un puntaje total de cero ya que el libro no relaciona los vínculos existentes entre el concepto pH, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos que trajo tras de sí ésta herramienta conceptual, además de los desarrollos tecnológicos efectuados para proporcionar datos cada vez más exactos en la industria, medicina y laboratorios en general. El desconocimiento de este contexto en la presentación del concepto pH en el libro limita las conexiones con la cotidianidad de quien usa este material, es decir, se restringe las correlaciones entre lo teórico y lo práctico.

Las intencionalidades de los autores al relacionarlas con el análisis del concepto pH, se ven limitadas porque un enfoque motivador de los principios básicos de la Química puede no darse debido a la falta de relación de lo teórico con lo práctico, los problemas no estarían contextualizados y relacionados con aspectos sociales que pueden influir en la construcción de conocimientos para ofrecer a los estudiantes universitarios de diversas disciplinas académicas un saber que vaya más allá de la repetición mecánica.

7. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA

AUTOR: WILLIAM DAUB (Harvey Mudd College) y WILLIAM SEESE (Casper College).

EDICIÓN: QUINTA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO

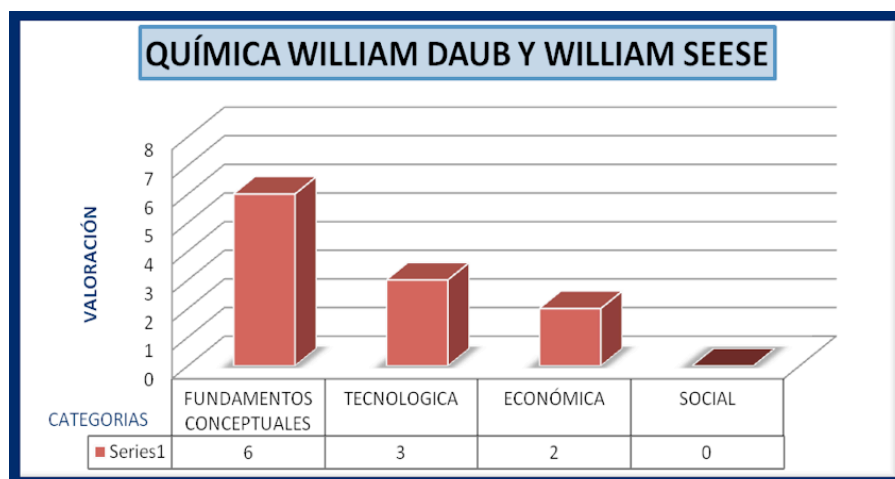
EDITORIAL: PRENTICE HALL Inc.

AÑO DE EDICIÓN: 1994

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Ayudar a los estudiantes ha aprender química de una manera eficiente y lo más sencilla posible. Escrita para estudiantes ya que sus conocimientos científicos, sobre todo en química, son muy limitados o carecen de ellos, y necesitan un repaso en matemáticas. Por esta razón se usan analogías y caricaturas para ayudarles a comprender mejor algunos principios químicos.

Tabla 16. Resultados cuantitativos libro Química de Daub y Seese.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	1	1	2	6
TECNOLÓGICA	2	0	1	0	3
ECONÓMICA	0	1	1	0	2
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 7. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química de Daub y Seese.

El libro Química, de William Daub y William Seese en la categoría fundamentos conceptuales se logró una valoración de 6 sobre 8 ya que al analizarlo explica los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sörensen tomó como referente para formular el concepto pH. Además explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+). El texto únicamente menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal, al igual que las propuestas de Sörensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno pH , pero no se presenta el trabajo realizado posteriormente por Sörensen and Linderstrøm-Lang en 1924 en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, por lo que queda la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones y por tanto que este responde a todas las particularidades de las sustancias químicas. Además, al no mencionarse a otros científicos como Hans Friedenthal se asume que la

construcción del concepto pH es fruto del trabajo de una sola persona y no de un colectivo de personas como sucede realmente. La simple mención del concepto sin una explicación de los fenómenos químicos obstaculiza en estudiantes y profesores la comprensión del concepto y su aplicación en diferentes contextos.

En lo referente a la categoría tecnológica se alcanzó una valoración de 3 sobre 8, de la misma manera que la Química para el Nuevo Milenio de John Hill y Doris Kolb ya que explican la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma, y menciona la colorimetría y/o el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH, de tal manera se reduce las posibilidades de comprensión de los fenómenos químicos sucedidos para que se de una medida de los iones hidrógeno en estos métodos. Además en el libro no se menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX, ni los diferentes modelos de pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida, es así como no se resalta la importancia del desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables, por lo que no se le da relevancia a las relaciones entre conocimiento científico y evolución técnica y tecnológica en una sociedad.

Gracias al análisis del concepto pH y su relación con las intencionalidades de los autores, hay limitaciones con la intención que plantean los autores de ayudar a los estudiantes ha aprender química de una manera eficiente y lo más sencilla posible ya que es restringido el uso de herramientas de tipo conceptual e históricas que pueden ser útiles para aprender un determinado saber. También expresan el uso de analogías y caricaturas para ayudarles a comprender mejor algunos principios químicos, pero en lo referido del concepto pH no se emplean.

8. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA PARA EL NUEVO MILENIO.

AUTOR: JOHN W. HILL (University of Wisconsin-River Falls) y DORIS K. KOLB (Bradley University)

TRADUCCIÓN: ROBERTO LUIS ESCALONA y HÉCTOR JAVIER ESCALONA (Universidad Nacional Autónoma de México).

EDICIÓN: OCTAVA

LUGAR DE LA EDICIÓN: MÉXICO

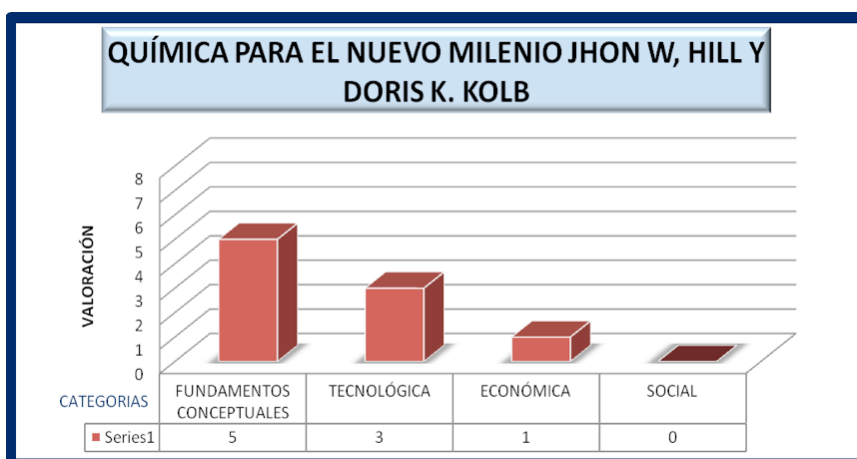
EDITORIAL: PRENTICE HALL Inc.

AÑO DE EDICIÓN: 1999

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Su objetivo principal no es tanto proporcionar información como ayudar al estudiante a evaluar esta información. Indican los escritores que el texto debe presentar un aspecto atrayente, ser fácil de entender y de lectura interesante porque va dirigido tanto a estudiantes de química como para aquellos educandos que quieran tener conocimientos básicos de la asignatura.

Tabla 17. Resultados cuantitativos libro Química para el Nuevo Milenio de Hill y Kolb.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	1	1	1	2	5
TECNOLÓGICA	2	0	1	0	3
ECONÓMICA	0	0	1	0	1
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 8. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química para el Nuevo Milenio de Hill y Kolb.

En el libro Química para el nuevo milenio de John W. Hill y Doris K. Kolb en la categoría fundamentos conceptuales se alcanzó una valoración de 5 sobre 8 ya que al analizarlo se puede ver que el texto explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+). En el texto se menciona los conceptos de ácido y base, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua como fundamento del concepto pH y el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal, al igual que las propuestas de Sørensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno pH , pero no se presenta el trabajo realizado posteriormente por Sørensen and Linderstrøm-Lang en 1924 en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno, por lo que queda la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones y por tanto que este responde a todas las particularidades de las disoluciones. Además, al no mencionarse a otros científicos como Hans Friedenthal se asume que la construcción del concepto pH es fruto del trabajo de una sola persona y no de un

colectivo de personas como sucede realmente. En cuanto a la simple mención del concepto sin una explicación de los fenómenos químicos obstaculiza en estudiantes y profesores la comprensión del concepto y su aplicación en diferentes contextos.

Según lo anterior, la relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades de los autores, puede cumplirse su objetivo principal si se afirma que lo que se presenta es simplemente información de la química pero no se ayuda al estudiante a evaluar esta información porque no tendrían los suficientes criterios y fundamentos para hacerlo. Además, pueden presentar dificultades los lectores en entender conceptos químicos pues no se profundiza en ellos y en algunas ocasiones no se explican los conceptos ni se relacionan con aspectos sociales relevantes como el social, económico y tecnológico.

9. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: PRINCIPIOS DE QUÍMICA. Los caminos del descubrimiento

AUTORES: PETER ATKINS Y LORETTA JONES

EDICIÓN: QUINTA

LUGAR DE LA EDICIÓN: BUENOS AIRES

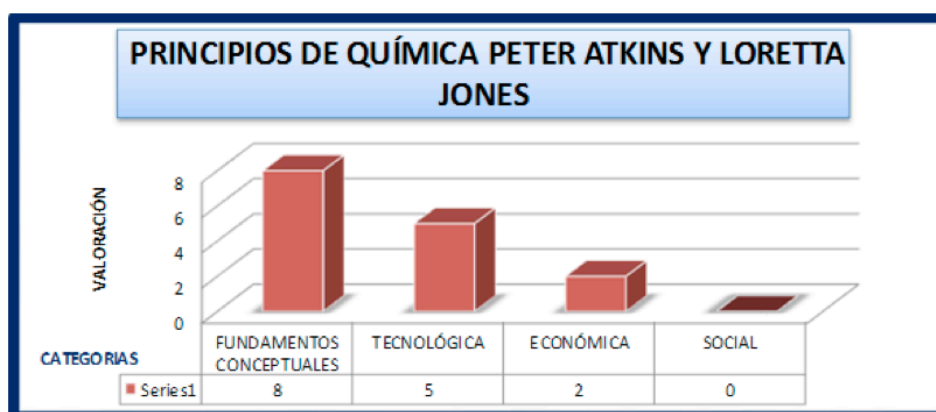
EDITORIAL: EDITORIAL MÉDICA PANAMERICANA

AÑO DE EDICIÓN: 2012

INTENCIONALIDAD DE LOS AUTORES: Ayudar al estudiante a aprender a pensar, a plantear interrogantes y a abordar problemas. Por este motivo organiza su libro de una forma lógica que favorezca la comprensión y ofrezca a los estudiantes un amplio espectro de ayuda pedagógica.

Tabla 18. Resultados cuantitativos libro Principios de Química de Atkins y Jones.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	2	2	2	8
TECNOLÓGICA	2	1	1	1	5
ECONÓMICA	1	0	1	0	2
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 9. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Principios de Química de Atkins y Jones.

El texto Principios De Química, los caminos del descubrimiento de Peter Atkins y Loretta Jones se obtuvieron 5 puntos de 8 en la categoría tecnológica debido a que explica la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma. Se menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX, así como la colorimetría y/o el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH y los diferentes pH-metros desarrollados para mejorar la precisión y exactitud en la medida, lo que conlleva a reducir las posibilidades de comprensión de los fenómenos químicos sucedidos para que se de una medida de los iones hidrógeno en los métodos colorimétrico y potenciométrico.

Por otro lado en la categoría económica se obtuvieron 2 puntos de 8 ya que únicamente se menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos y el uso del papel indicador, los electrodos y/o pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y herramienta de alta demanda en la industria. No se tiene en cuenta la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina ni que el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH. En cuanto a esta categoría son casi ausentes los vínculos existentes entre el concepto pH, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos generados por diversas empresas e industrias que fabrican instrumentos de medida de pH o que usan en sus procesos la determinación del pH. Los autores en su libro no aprovechan las múltiples aplicaciones de la medida de pH en la medicina como fundamental en procesos biológicos. Al igual, no se expresa la necesidad que llevó a Sørensen a proponer el concepto pH y el desarrollo a nivel conceptual, tecnológico y económico que se generó tras de su presentación a la comunidad académica de la época.

La relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades de los autores, se puede favorecer la comprensión, ayudar al estudiante a aprender a pensar, a plantear interrogantes y a abordar problemas de lápiz y papel, por la organización del libro de forma lógica y por el fundamento conceptual que se maneja ajustado a las validaciones científicas.

10. Caracterización del libro:

TÍTULO DEL LIBRO: QUÍMICA GENERAL

AUTOR: BARROW GORDON

TRADUCCIÓN: RODOLFO H. BUSCH (Universidad de Buenos Aires).

LUGAR DE LA EDICIÓN: BARCELONA, ESPAÑA.

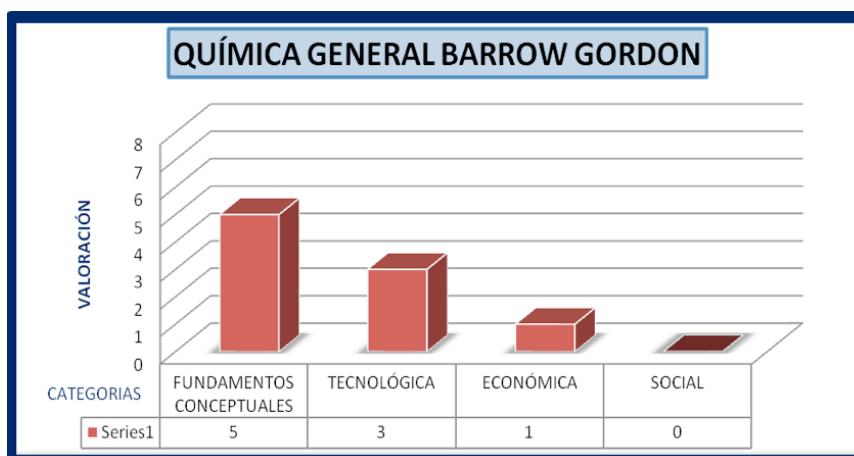
EDITORIAL: REVERTÉ, S.A.

AÑO DE EDICIÓN: 1975

INTENCIONALIDAD DEL AUTOR: Mostrar que la Química se origina para proporcionar una perspectiva adecuada e introducir el tema, sin introducir grandes modificaciones en los temas que habitualmente se encuentran en un texto de esta clase.

Tabla 19. Resultados cuantitativos libro Química General de Gordon.

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	Total
CATEGORIAS					
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	1	1	1	5
TECNOLÓGICA	1	0	2	0	3
ECONÓMICA	0	0	1	0	1
SOCIAL	0	0	0	0	0



Grafica 9. Resultados del análisis según las cuatro categorías libro Química General de Gordon.

Para el libro Química General de Barrow Gordon se alcanzó un valor de 3 de 8 en la categoría tecnológica se ya que se explican los métodos de colorimetría y el método del electrodo para medir el pH, pero únicamente se menciona la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma. No se mencionan la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX ni los diferentes modelos de pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida, es así como no se resalta la importancia del desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables.

Según lo anterior, la relación entre el análisis del concepto pH y las intencionalidades del autor, no se proporcionar una perspectiva tan adecuada para el aprendizaje de la química y puede ampliarse las herramientas conceptuales para introducir un tema basándose en la historia y epistemología de los conceptos.

Según los resultados obtenidos y al realizar el análisis de los 10 libros de texto, todos conciben epistemológicamente las ciencias y la química con un enfoque positivista ya que no han tenido en cuenta los suficientes aspectos históricos y epistemológicos que permitan al lector establecer que el conocimiento lo construyen individuos en un tiempo-espacio determinado gracias a sus interacciones sociales enmarcadas en ámbitos académicos de las comunidades científicas y que a su vez tienen consecuencias sociales porque permiten avances tecnológicos y beneficios económicos.

Análisis por categorías de los 10 textos revisados

CATEGORÍA FUNDAMENTOS CONCEPTUALES: En esta categoría se obtuvo la valoración más alta en cada uno de los libros analizados ya que en el criterio 1, en 8 de los 10 textos analizados se explican los conceptos de ácido y base, ley de acción de masas y constante de disociación del agua como referentes para formular el pH,

mientras que en los otros dos Briceño y Hills únicamente hacen mención de estos conceptos mas no los explican, esto hace que al lector no le quede claro de qué forma se llegó a la formulación del concepto.

Respecto al criterio 2, 6 de los 10 libros explican cómo se usa la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal, mientras que en los otros 4 textos (Mortimer, Daub, Hill y Gordon) simplemente hacen mención de esta haciendo que no sea clara esta caracterización. En cuanto el criterio 3 lo explican claramente 3 de los 10 textos (Briceño, Chang y Atkins) es decir, las propuestas de Sörensen: la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H y la segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno. Los otros 7 textos únicamente explican o mencionan la primera propuesta. Esto hace que no se tenga conocimiento a cerca de las modificaciones que ha tenido el concepto pH y que por tanto responde a todas las particularidades de las disoluciones, proyectando la idea que la ciencia es absoluta e irrefutable.

Por último, en el criterio 4, 7 de los 10 libros explican la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+] [OH^-]$, un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+). Mientras que en los otros 3 (Gordon, Mortimer, Whitten) simplemente se muestran los valores pero no explican el porqué de ellos, haciendo que se vuelva una escala de valores mecánica pero sin comprensión de la misma.

CATEGORIA TECNOLÓGICA: De acuerdo con los resultados obtenidos la categoría tecnológica obtuvo el segundo lugar en la valoración total de puntaje por categorías. El criterio 1, 7 de los 10 textos analizados explican la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma, mientras que los otros tres textos

(Whitten, Mortimer y Gordon) simplemente mencionan la formulación de la escala. Esto hace que el lector no tenga las herramientas para interpretar la escala lo que dificultaría el proceso de su enseñanza y aprendizaje.

Respecto al criterio 2, ninguno de los textos analizados explica la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX. Solo 3 textos lo mencionan (Atkins, Chang y Briceño) y los 7 restantes no lo tienen en cuenta. Este criterio es de suma importancia para que el lector comprenda que las celdas electroquímicas permitieron el desarrollo de los pH-metros como medida a partir de la diferencia de potenciales eléctricos.

Por otra parte, en el criterio 3, 4 textos analizados (Gordon, Petrucci, Brown y Chang) explican los métodos de colorimetría y el método del electrodo para medir el pH, mientras 5 de los 10 textos simplemente los mencionan y 1 texto (Briceño) no los tiene en cuenta. Esto hace que se reduzcan las posibilidades de entender algunos fenómenos químicos sucedidos para que se dé una medida de los iones hidrógeno en los métodos colorimétricos y potenciométricos. Por último el criterio 4, en 9 de los 10 textos no se menciona los diferentes pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida, y 1 de los diez textos (Atkins) menciona diferentes pHmetros desarrollados. Esto significa que en estos textos no se tienen en cuenta el desarrollo tecnológico en el que se modifican de forma eficaz herramientas y aparatos para proporcionar medidas cada vez más precisas y confiables, donde es poco evidente la relación entre conocimientos científicos, evolución técnica y tecnológica en una sociedad. El conocimiento por tanto, no es estático sino que se desarrolla paralelamente con el desarrollo de las sociedades.

CATEGORIA ECONÓMICA: Esta categoría logró el tercer lugar en importancia para los 10 textos de química. En la criterio 1, solamente uno de los 10 textos (Petrucci) explica porque la acidez es un parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos, 2 textos (Atkins y Chang) simplemente lo mencionan y

7 no lo tienen en cuenta. La importancia de esta unidad de análisis radica en que el valor de pH de diversas disoluciones influye en las reacciones enzimáticas y biológicas puesto que el pH interviene en el crecimiento de microorganismos.

Para el criterio 2, únicamente 2 de los textos analizados (Petrucci y Chang) explican porque es útil la medida de pH en muchos campos de la medicina. Dos de los textos (Daub y Brown) simplemente mencionan el uso del pH en medicina y los demás textos (6) no lo tienen en cuenta. Los autores no muestran la utilidad del pH en este campo, de tal manera no son notorias las relaciones entre conocimiento práctico y teórico, con lo que el lector puede quedarse con la idea que el concepto es alejado de las realidades y los contextos laborales.

Para el criterio 4, 9 de los 10 libros no menciona el interés de Sørensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo que lo condujo a proponer el concepto pH. Al conocer la intencionalidad con la que fue propuesto y utilizado este parámetro de medida, se brinda una herramienta en la que se liga la construcción de conocimiento a partir de las necesidades que surgen en una comunidad y que esto incide positivamente en el desarrollo a nivel conceptual, tecnológico y económico que se genera tras de su presentación en las comunidades académicas.

CATEGORIA SOCIAL: De acuerdo con las unidades de análisis planteadas en la categoría social, no se obtuvo ningún valor en ninguno de ellos puesto que en los 10 textos analizados no mencionan la controversia que se generó entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época en la aceptación del pH como medida de acidez. Tampoco se menciona la discusión que se generó en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las sustancias ni la necesidad de determinar la acidez de un medio. En ninguno de los textos se mencionan que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el

desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria. Así se presenta una imagen de la química y la ciencia como alejada del contexto histórico social, omitiendo que el conocimiento se crea en un espacio-tiempo determinado por individuos concretos inmersos en una sociedad en unas condiciones determinadas y específicas. Todos estos aspectos son útiles para entender la importancia del desarrollo histórico de este concepto y el porque de alguna manera resulta difícil su enseñanza y aprendizaje.

Tabla 20. Síntesis de los resultados de los 10 libros de texto de química.

LIBRO DE TEXTO / CATEGORIA	FUNDAMENTOS CONCEPTUALES				TECNOLÓGICA				ECONÓMICA				SOCIAL			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
CRITERIO																
Chang y College, 2002. Química	2	2	2	2	2	2	2	0	1	2	2	0	0	0	0	0
Brown, LeMay y Bursten, 1998. Química. La ciencia central.	2	2	1	2	2	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Whitten, Gailey y Kenneth, 1985. Química General.	2	2	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Petrucchi, Harwood, Herring, 2002. Química general.	2	2	1	2	2	0	2	0	2	2	1	1	0	0	0	0
Mortimer, 1983. Química General	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Briceño, Rodríguez, 1993. Química .	1	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seese, Daub, 1994. Química	2	1	1	2	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Hill y Kolb, 1999. Química para el nuevo milenio.	1	1	1	2	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Atkins, Jones, 2012. Principios de Química. Los caminos del descubrimiento.	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
Barrow, 1975. Química General.	2	1	1	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0

CONCLUSIONES

En la construcción histórica del concepto pH, es importante resaltar que en algunos textos analizados no se muestra la propuesta de S. Sørensen con relación al concepto pH, la cual fue impulsada por la necesidad de medir la acidez a las sustancias con las cuales trabajaba. Posteriormente, el concepto fue modificado junto a su compañero Linderstrøm-Lang de manera que respondiera de forma más precisa a las características de las disoluciones. Una visión más amplia de los diferentes conceptos que sirvieron como base teórica en la proposición del pH como logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno, permite establecer que las explicaciones de los fenómenos evolucionan con el tiempo y se producen cambios motivados por el cuestionamiento y la discusión académica. Además, el conocimiento de sus limitaciones faculta a estudiantes y profesores a explicar desde diferentes teorías el comportamiento de diversas sustancias que son comunes en los ámbitos industriales y biológicos. Así mismo, es importante resaltar que los aspectos sociales, tecnológicos y económicos posibilitan una manera más contextual de enmarcar la forma como el conocimiento se construye y sus implicaciones en las comunidades de especialistas y en la misma sociedad. Lamentablemente, en los libros de química difícilmente se tienen en cuenta estos aspectos en la formulación de un concepto, ley o teoría, partiendo que las intencionalidades de los autores están más enfocadas al aprendizaje de los estudiantes de química y no al de profesores de química para los cuales sería mucho más relevante la historia y la epistemología de los conceptos que le permita tener más herramientas didácticas y pedagógicas para posteriormente enseñar las diferentes temáticas.

El concepto pH desde la concepción epistemológica de Toulmin, presenta una serie de implicaciones propias según su historia y estructura, su desarrollo se presenta como una evolución respondiendo a un propósito específico en el contexto que le dio origen. La primera propuesta realizada en 1909, como expresión de la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno, que por novedades intelectuales fue sometida a discusión, proponiéndose en 1924 como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno. Es así, como en las comunidades de especialistas el concepto atiende a que su base conceptual debe ser aprendida, probada, aplicada, criticada y cambiada para transmitirse de una generación a otra permitiendo el desarrollo de habilidades explicativas en este proceso. Este hecho no es tenido en cuenta en la mayoría de libros de química en los que se presenta solo la conceptualización realizada por Sørensen en 1909 (versión de pH), percibiendo la química como acumulación de verdades, no mostrando su carácter tentativo con limitaciones y errores.

Gracias a la reconstrucción histórica y epistemológica se definen 16 unidades de análisis que se agrupan en 4 categorías: fundamentos conceptuales, tecnológica, económica y social que permiten contextualizar el concepto pH lo más fielmente posible con lo sucedido en el momento histórico en el que se presentó, pues ello influyó en su conceptualización y en los posteriores desarrollos del mismo. Sørensen por la necesidad de establecer la incidencia de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación mientras trabajaba en la fábrica Carlsberg, lo llevó en 1909 a proponer el concepto pH como respuesta a la necesidad de una medida clara y precisa de la acidez en la producción de cerveza. Sørensen lo expresa como logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno p_H . Posteriormente en 1924, Sørensen y Linderstrøm-Lang propusieron una nueva definición de pH en la que se cambia la concentración de iones hidrógeno por la actividad del ion hidrógeno para expresar la acidez. Para sustentar sus investigaciones esta idea fue una forma sencilla de establecer el comportamiento de las sustancias químicas. De esta manera se obtenían valores sencillos y manejables dentro de una escala conveniente en la

industria. En algunos textos analizados se determina la medición de pH como un factor que influye en procesos químicos y biológicos que se llevan a cabo en la industria y la medicina, pero en otros se limita el uso del pH a un cálculo matemático mecánico para resolver problemas de lápiz y papel dejando de lado la aplicación práctica del concepto.

Para ser formulado un concepto se requiere manejar unas bases conceptuales que se ajusten a lo presentado y validado por los científicos, en el caso del trabajo de Sörensen sus referencias principales fueron: la teoría ácido-base de Arrhenius en la que se plantea que las sustancias químicas pueden disociarse en agua, los ácidos en esta condición producían una concentración de iones hidrógeno o protones, mientras que las bases producían un exceso de iones hidroxilo; el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal; la ley de acción de masas de Guldberg y Waage en las que se determina la influencia de la concentración de las sustancias que intervienen en un proceso y su relación; y la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+] [OH^-]$ como parámetro fundamental para establecerse que en la escala de pH un valor de 7 es para sustancias de carácter neutro, mayor a 7 básico o alcalino y menor de 7 ácido. Teniendo en cuenta lo anterior, un 20% de los libros analizados responden a dicha estructura, los restantes excluyen algunos de los referentes conceptuales o simplemente los mencionan quedando la idea en el lector que el concepto no ha sufrido modificaciones, responde a las particularidades de las disoluciones y hasta puede prestarse para interpretaciones no adecuadas y confusas pues como tal la comprensión de los procesos químicos involucrados se prescinden en las explicaciones. Como se mencionó no fue recurrente encontrar la segunda formulación de pH y en algunos casos aunque se explique o mencione no se nombran a los científicos que intervinieron por lo que se asume que la construcción del concepto pH es fruto del trabajo de una sola persona y no de un colectivo de personas como sucede realmente.

La inclusión de la tecnología fue mínima en el discurso manejado en los libros de texto de química general aminorándose la importancia de las relaciones conceptuales y los avances tecnológicos para proporcionar una medida cada vez más precisa del pH por medio del desarrollo de instrumentos o aparatos capaces de dar resultados confiables concernientes a la medida de la concentración y/o actividad del ión hidrógeno y de tal forma establecer una caracterización de las sustancias en disolución. Por tanto, es poco evidente la relación entre conocimientos científicos, evolución técnica y tecnológica en una sociedad. El conocimiento por tanto, es estático ya que no se desarrolla paralelamente con el desarrollo de las sociedades.

La categoría económica agrupo unidades de análisis que terminaron por demostrar que en un 90% de los libros de textos es escasa la utilización de recursos históricos que permitan contextualizar el concepto pH desde los vínculos existentes entre el mismo concepto, su escala de medida, los instrumentos usados y los beneficios económicos generados a partir de su formulación. Además, la omisión de esta herramienta puede formar la idea que el desarrollo social en cuanto a la creación y uso de la tecnología no va de la mano con la evolución de los saberes.

La categoría social en un 100% de los libros fue excluida al no darse importancia a la discusión académica entre profesionales de diferentes áreas, al trabajo que se realiza en el interior de las comunidades de científicos y a las necesidades que condujeron a la construcción del concepto pH. De esta forma, se desaprovechan recursos históricos que pueden ser útiles en el proceso de enseñanza donde la ciencia pierda su carácter lineal, irrefutable y ajeno a las realidades de las personas en una sociedad.

El concepto pH se construye en un contexto particular, gracias al trabajo no solo de Sörensen sino de muchos otros científicos que compartieron o por el contrario se negaron a aceptar su uso. Es así, que el papel de la historia en la enseñanza de la química muestra un panorama donde el conocimiento es el producto del trabajo colectivo, el cual puede convertirse en una herramienta clave para los autores de

libros de texto y para los profesores donde sea posible la transformación de los discursos y estos a su vez incidan positivamente en las prácticas de enseñanza.

En muchas de las intencionalidades de los autores de los libros de química se encuentran el deseo de proporcionar herramientas útiles a estudiantes y profesores para que aprendan química, se apropien de sus conocimientos y puedan aplicarlo en contextos particulares y esto se ve limitado si no se muestra al lector ejemplos prácticos en diferentes campos, relaciones teórico-prácticas, explicaciones desde la química de los fenómenos ocurridos y hasta las mismas limitantes puede ayudar a una visión más amplia, confiable y coherente de la química. En general, todo aquello que permite comprender, reflexionar y contextualizar un determinado concepto en las aulas de clase favorecen climas apropiados de enseñanza y aprendizaje.

Los diez libros de texto de química conciben epistemológicamente las ciencias y la química con un enfoque positivista en los que no se ha tenido en cuenta los suficientes aspectos históricos y epistemológicos que permitan al lector establecer que el conocimiento lo construyen individuos gracias a sus interacciones sociales dentro de las comunidades científicas, lo que difiere significativamente con lo que se debería enseñar en las aulas de clase.

BIBLIOGRAFIA

- Arrhenius, S. (1887). *On the Dissociation of Substances Dissolved in Water*. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, I, 631, Translated by H.C. Jones.
- Aristizabal, A. (2005). *Los conceptos de calor y temperatura desde la enseñanza de las competencias cognoscitivas y los estándares de competencias*. Tesis de grado. Maestría en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Atkins, P., y Jones, L. (2012). *Principios de Química*. Los caminos del descubrimiento. Quinta Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires.
- Baker, R., y Zhang J. (2011). *Proton Exchange membrane or polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells*. Institute for Fuel Cell Innovation National Research Council of Canada. Vancouver, British Columbia. *Electrochemistry Encyclopedia*. (<http://electrochem.cwru.edu/encycl/>)
- Bardin, L. (1986). *L'analyse de contenu*. PUF. Paris. 233 páginas. 4a edición.
- Barrow, G. (1975). *Química General*. Editorial Reverté, S.A. Barcelona.
- Bensaude-Vincent B., y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Versión en español de Encarnación Hidalgo. Ed. Addison-Wesley, Universidad Autónoma de Madrid, España. Pp. 34.
- Bertomeu, J., y García, A. (2002). *Abriendo las cajas negras*. Valencia, Universitat de València.
- Beuchot, M. (2002). *Tratado de hermenéutica analógica*. México, Ítaca. Pp. 204.
- Briceño, C., y Rodríguez, L. (1993). *Química*. 2ª Edición. Ed. Educativa.
- Brock, W. (1992). *Historia de la Química*. Alianza Editorial, Madrid. Pp. 311-341.
- Brønsted, J. N. (1923). *Some Remarks on the Concept of Acids and Bases*. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*. Volume 42, Pp 718-728.

- Brown, T., LeMay H., y Bursten B. (1998). *Química. La ciencia central*. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- Camacho, J., Gallego, R. y Pérez, R. (2007). *Ley Periódica. Una reflexión didáctica desde la historia de las ciencias*. Revista Educación en Química Vol. XVIII, Número 24. Pp. 278-288.
- Camacho, J., y Pérez, R. (2005). *Análisis de la Transposición Didáctica de los Conceptos Calor y Temperatura en los Libros de Texto para la Enseñanza de la Química*. Tecné, Episteme y Didaxis No. 17. Pp. 117- 128.
- Campanario, J. (2001). *¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales*. Enseñanza de las ciencias, 19 (3). Pp. 351-364.
- Cárcamo, H. (2005). *Hermenéutica y Análisis Cualitativo*. Cinta moebio 23: 204-216 www.moebio.uchile.cl/23/carcamo.htm
- Chang, R., y College, R. (2002). *Química*. México. Mc Graw Hill, décima Edición. Pp. 605 – 620.
- Cheng, K. (1989). *pH Glass Electrode and its Mechanism*. En: J. STOCK; K.L. CHENG (eds.), *Electrochemistry, past and present*, Washington, American Chemical Society. Pp. 286-301.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- Comte, A. (1984). *Curso de filosofía positiva (Lecciones 1 y 2)*. Barcelona: Orbis.
- Costu, B., y Niaz M. (2012). *Presentation of Origin of the Covalent Bond in Turkish General Chemistry Textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective*. Educación Química, volumen 23, No.2. Pp. 257-264.
- Crawford, E. (1996). *Arrhenius. From ionic theory to the greenhouse effect, canton*. Science History Publications.
- Cuellar, L. (2004). *El modelo atómico de Ernest Rutherford. Del saber sabio al saber escolar*. Tesis de grado. Maestría en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

- Da Silva, M., y Afonso, J. (2007). *De Svante Arrhenius Ao Peagâmetro Digital: 100 anos de Medida de Acidez*. Química Nova. Vol.30. No. 1. Pp. 232-239.
- Esteban, S. (2002). *En torno a Boyle: su mundo y su obra científica*. Anales de la Real Sociedad Española de Química. Julio- Septiembre, 24.
- Faraday M., (1834). *On Electrical Decomposition*. Philosophical Transactions of the Royal Society.
- Farieta, K. (2010). *La transposición Didáctica del trabajo de Amadeo Avogadro*. Tecné, Episteme y Didaxis: TED No. 27. Pp.130-153.
- Fochi, G. (2001). *El pH. Devaneos Filológicos*. Investigación y Ciencia. Enero. Pp. 27-28.
- Gallego, R., y Pérez, R. (1994). *Representaciones y Conceptos Científicos un Programa de Investigación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Gallego, R., Pérez, R., Uribe, M., Cuellar, L., y Amador, R. (2004). *El Concepto de Valencia: Su Construcción Histórica y Epistemológica y La Importancia de su Inclusión en la Enseñanza*. Ciência & Educação, v. 10, n. 3. Pp. 571-583.
- García, A. (2004). *La Transposición Didáctica del Modelo de la Estructura Química del ADN*. Tesis de Grado. Maestría en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional.
- Garriga, R., (1930). *Importancia del pH en la industria química y sus principales aplicaciones*. Revista tecnológica industrial 146. Pp. 227-231.
- Giudice, J y Galagovsky, L. (2008). *Modelar la naturaleza discontinua de la materia: una propuesta para la Escuela Media*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias. Vol. 7 No.3. Pp. 632.
- Gómez, M. (2005). *La transposición didáctica: Historia de un concepto*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos. Volumen 1, Julio - Diciembre 2005. Pp. 83-115.
- González, J., (1996). *Evolución histórica de los laboratorios clínicos*. Química clínica 15, (2). Pp. 59-66.

- Herreño, J. (2009). *La Transposición Didáctica del Modelo del Octeto de Lewis – Langmuir en los Libros de Texto*. Tesis de Grado. Maestría en Docencia de la Química. Universidad Pedagógica Nacional.
- Hill J., y Kolb D. (1999). *Química para el nuevo milenio*, 8ª Ed., Prentice Hall, México.
- Hittorf, W. (1853). *On the migration of ions during electrolysis*. Translated y edited Goodwin H., The fundamental laws of electrolytic conduction. Memoirs by Faraday, Hittorf and F. Kohlrausch. New York and London Harper & Brothers Publisher, 1899.
- IUPAC (2002). *Measurement of pH: Definition, Standards, and Procedures*. (IUPAC Recommendations, 2002) Pure and Applied Chemistry, Vol. 74, No. 11. Pp. 2169–2200.
- Izquierdo, M. (1994). *¿Cómo contribuye la historia de las ciencias en las actitudes del alumnado hacia el aprendizaje de las ciencias?* Aula de Innovación Educativa. [Versión electrónica]. Revista Aula de Innovación Educativa 27.
- Jaselskis, B., Moore, C., y Smolinski, A. (1989). *Development of the pH Meter*. En: J. STOCK; ORNA, M.V. (eds.), *Electrochemistry, past and present*, Washington, American Chem. Soc.
- Jensen, M. (2004). *The symbol for pH*. Journal of Chemical Education. Vol. 81. No.1. Pp. 21
- Jiménez, F. (1965). *Acidimetrías y alcalimetrías en disolventes no acuosos* (artículo bibliográfico). Universidad de Murcia, Facultad de Ciencias. Pp. 708-709.
- Jiménez, M., De Manuel, E., González, F., y Salinas, F. (2000). *La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula*. Enseñanza de las ciencias, 18 (3). Pp 451-461.
- Jiménez, R., y De Manuel, E. (2002). *La Neutralización Ácido-Base A Debate*. Enseñanza de las ciencias 20 (3). Pp. 451-464.
- Krippendorff, K. (1990). *Metodología de análisis de contenido*. Teoría y práctica, Barcelona, Piados.

- Kohlrausch, F. (1876). *On the conductivity of electrolytes dissolved in water in relation to the migration of their components*. Translated y edited Goodwin H., The fundamental laws of electrolytic conduction. Memoirs by Faraday, Hittorf and F. Kohlrausch. New York and London Harper & Brothers Publisher, 1899.
- Kordatzki, W. (1942). *Manual para la medida práctica del pH en los laboratorios científicos e industriales*. Barcelona. Editor Manuel Marin. Pp. 1-36.
- L'écuyer, R. (1987). «*L'analyse de contenu: notions et etapes*». En: Les méthodes de recherche qualitatives. Jean-Pierre Deslauriers (Editor). Sillery. Presses de l'Université du Québec. Pp. 49-65.
- Laitinen, H., y Harris, W. (1982). *Análisis químico*. Ed. Reverté. Pp. 98-99.
- Landry, R. (1998). «*L'analyse de contenu*» En: Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données. Benoit Gauthier (Editor). Sillery, Presses de l'Université du Québec. Pp. 329-356.
- Lockemann, G. (1960). *Historia de la Química*. Traducida por Maria Teresa Toral. UTEHA. México. Pp. 56-57.
- Lombardi, O. (1997). *La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: Argumentos y contraargumentos*. Enseñanza de las ciencias, 15 (3). Pp. 343-349.
- López, E. (1986). «*El análisis de contenido*» En: El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación. Compilación de Manuel García Ferrando, Jesús Ibañez y Francisco Alvira. Madrid. Alianza Editorial. Pp. 365-396.
- Lunelli, B., y Scagnolari, F. (2009). *pH Basics*. Journal of Chemical Education. Vol. 86 No. 2 February. Pp. 246-250.
- Mayer, R., y Quellet, F. (1991). *Méthodologie de recherche pour les intervenants sociaux*. Montreal-Paris-Casablanca. Boucherville. Gaëtan Morin Editeur. Pp. 473-502.
- Mayntz, R., Holm, K., y Hübner, P. (1980) *Introducción a los Métodos de la Sociología Empírica*. Alianza Editorial. Madrid. Pp 201-206.
- Monzón, L. (2010). *El currículo como mediación cultural: una perspectiva hermenéutico-analógica*. RLEE, México, Vol. XL, No. 2, pág 37-58.

- Mora, J. (2011). *Enseñanza de los conceptos ácido-base a partir de la relación con los suelos, sus componentes y productos*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Moreno, J., Gallego, R., y Pérez, R. (2010). *El modelo semicuántico de Bohr en los libros de texto*. *Ciência & Educação*, vol.16, no.3. Pp.611-624.
- Moreno, N., Rodríguez, J., Elortegui, N., y Fernández, J. (1995). *La Química que estudió Blas Cabrera Felipe en el Instituto de Canarias. I Congreso sobre Blas Cabrera Felipe*. Tenerife.
- Mortimer, C. (1983). *Química*. Quinta Edición. Grupo Editorial Iberoamericana. Río Atoyac. México.
- Newton Butler, J. (1968). *Cálculos de pH y de solubilidad. Las matemáticas de los equilibrios iónicos más sencillos*. Fondo educativo interamericano, S.A. Pp. 7-9
- Ostwald, W. F. (1888). *Ostwald's dilution law*. *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Volume 2. Pp. 36-37.
- Ostwald, W. (1894). *Ostwald on catalysis*. Abstracts *Zeitschrift für physikalische Chemie*. Volume 15. Pp. 705-706.
- Pasteur, L. (1861). *Experiments and new views on the nature of fermentations*. *Comptes Rendus* 52, 1260 [as translated and excerpted in Mikulás Teich, A Documentary History of Biochemistry, 1770-1940 (Rutherford, NJ: Fairleigh Dickinson University Press, 1992)].
- Pellón, I. (2002). *Lavoisier y la revolución química*. Anales de la Real Sociedad Española de Química. Abril-Junio, 40.
- Petrucci, R. Harwood, W., y Herring, F. (2002). *Química general*. Octava edición. Ed. Pearson Educación. Madrid.
- Pinto, R., y Grawitz, M. (1967). *Analyse de contenu et theorie*. En: *Méthodes des sciences sociales*. Paris. Dalloz. Pp. 456-499.
- Rodríguez, H. (2008). *Del constructivismo al construccionismo: implicaciones educativas*. Revista Educación y Desarrollo Social, Volumen II - No. 1. Bogotá, D.C., Colombia. Pp. 71-89.

- Seese, W., y Daub, G. (1994). *Química*. 5° Edición. Prentice Hall Hispanoamericana.
- Solarte, M. (2006). *Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica*. Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa. Vol.1, No.4.
- Solbes, J., y Traver, M. (1996). *La Utilización de la Historia de las Ciencias en la Enseñanza de la Física y la Química*. Enseñanza de las Ciencias, 14 (1). Pp. 103-112.
- Sörensen, S. (1909). *Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes*. Biochemische Zeitschrift. Pp. 131-134 and 159-160.
- Taber, K. (2001). *Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research*. Homerton College, University Of Cambridge & Royal Society Of Chemistry. Research And Practice In Europe, Vol. 2, No. 2. Pp. 123-158.
- Torrens, H. (2007) *Ácidos y bases duros y blandos*. Journal of the Mexican Chemical Society. Volumen 51 (1).
- Torres de Gallego, L., Pérez, R., y Gallego, R. (1996). *Las bases estructurales del constructivismo*. Revista Educación y Pedagogía Nos. 12 y 13.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana*. Vol. I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Madrid, Alianza Editorial.
- Verret, M. (1975). *Le temps des études*. Paris. Librairie Honoré Champion.
- Waage P., y Guldberg C. (1864). *Studies Concerning Affinity*. Abrash H., Tanslator California State University, Northridge.
- Watters, D., y Watters, J. (2006). *Student Understanding of pH. "I don't know what the log actually is, I only know where the button is on my calculator"*. Biochemistry and molecular biology education. Vol. 34, no. 4. Pp. 278-284.
- Whitten, K., y Gailey, K. (1985). *Química General*. Nueva Editorial Interamericana, S.A.

ANEXOS

Anexo 1.

Enzyme Studies II. The Measurement and Meaning of Hydrogen Ion Concentration in Enzymatic Processes de Sörensen (1909).

1. Degree of Acidity -- Hydrogen Ion Concentration

It is a well-known fact that the rate at which enzymatic splitting takes place depends among other things on the degree of acidity or alkalinity of the solution used. Usually--in fact, we may say always--the degree of acidity or alkalinity in enzymatic processes is calculated from the total amount of acid or base added and is expressed by this; it is not at all customary to call attention to the dissociation constant of the acid or base used; still more rarely is the ability of the solutions to bind acids or bases considered.

There can be no doubt that in such a case the ideas on the nature of solutions involved in the Arrhenius theory of electrolytic dissociation can be applied. If, for example, pepsin digestion takes place in a hydrochloric acid solution which is 0.1 normal with respect to the total content of hydrochloric acid, we cannot fail to consider that 0.1 normal hydrochloric acid is not fully dissociated and that the "actual degree of acidity" must rationally be considered the hydrogen ion concentration, because this is somewhat less than 0.1 normal. We must equally consider how much the solution of salts such as phosphates can exchange with the hydrochloric acid or what is the content of other substances which can influence the hydrogen ion concentration; specifically, we cannot forget that the substrate, in this special case an available protein, can bind acids. Since the hydrogen ion concentration of the solution is dependent only on the amount of free dissociated acid present, and, of course, since the amount of acid bound to the protein depends on the nature and amount of this substance, it is immediately clear that two solutions of which, for example, one contains 1 g. of protein, the other 5 g. in 100 cc of 0.1 N hydrochloric acid, and which, consequently, are of the same degree of acidity according to the usual method of expression, have very different "actual degrees of acidity," very different hydrogen ion

concentrations.

These ideas of the effect of degree of acidity and hydrogen ion concentration on pepsin digestion are valid for all enzymatic processes. I have chosen pepsin-splitting as an example because this process takes place best at a greater hydrogen ion concentration and therefore the relationship is clearer and is also known to some extent. However, exactly the same considerations must also apply to enzymatic behavior which is found to be best in weakly acid, neutral, or alkaline solutions. In the last section of this paper we will give examples of the significance of hydrogen ion concentration in other enzymatic reactions, just as in pepsin digestion; the difference is found only in the order of magnitude of the hydrogen ion concentration with which we must reckon in different cases.

2. The Significance of Hydrogen Ion Concentration. The Hydrogen Ion Exponent

If we denote the concentration of hydrogen ions, of hydroxyl ions, and of water in a water solution by C_H , C_{OH} and C_{H_2O} then, as is well known, the following equation holds, by virtue of the law of chemical mass action.

$$(C_H \times C_{OH}) \div C_{H_2O} = \text{constant}$$

Since C_{H_2O} for a somewhat dilute solution can be considered to be constant, then too the product

$$C_H \times C_{OH} = a \text{ constant.}$$

This product, which usually, and also in this paper, is called the dissociation constant of water, at 18° equals 0.64×10^{-14} ; in a series of measurements which have been carried out here in our laboratory and which are described in a later section, we have found the average value of 0.72×10^{-14} . or, written in another way, $10^{-14.14}$. As is easily seen, this value permits calculation of the hydrogen ion concentration of aqueous solutions if the concentration of the hydroxyl ion is known, or vice versa. Naturally, since the value for the dissociation constant of water is affected by errors and also the concentration of hydrogen ions is usually easier to determine more exactly than that of the hydroxyl ions, it is more

rational, as H. Friedenthal has reported, so far as possible always to determine the hydrogen ion concentration of a solution and to introduce it into the calculation even when the solution has an alkaline reaction. This procedure will therefore be used in what follows since, for example, a solution whose normality based on hydrogen ions equals 0.01 is denoted by 0.01 N; it can be denoted briefly by 10^{-2} without using normalities. In the same way the hydrogen ion concentration of a solution which is based on hydroxyl ions, for example 0.01 normal, is given by $10^{-12.14}$, since $10^{-12.14} \times 10^{-2} = 10^{-14.14}$. Completely pure water and a truly neutral solution, using the same expression, will have a hydrogen ion concentration of $10^{-7.07}$, since $10^{-7.07} \times 10^{-7.07} = 10^{-14.14}$.

The value of the hydrogen ion concentration will accordingly be expressed by the hydrogen ion based on the normality factor of the solution used, and this factor will have the form of a negative power of 10. Since in the following section I usually refer to this, I will explain here that I use the name "hydrogen ion exponent" and the designation P_H for the numerical value of the exponents of this power. In the three examples given above, the P_H will therefore be 2, 12.40, and 7.07, respectively.... C_p , which is based on the normality factor of the solution on hydrogen ions, or, in other words, means the number of gram atoms of hydrogen ions per liter, is less than 1 in all cases treated in this paper and can thus be placed equal to 10^{-P} . For the number P , I have chosen the name "hydrogen ion exponent" and the written expression P_H . By the hydrogen ion exponent (P_H) of a solution we understand the Briggs logarithm of the reciprocal value of the normality factor of the solution based on the hydrogen ions.¹

¹ I have chosen the above definition of the hydrogen ion exponent because only rarely will it be necessary to take account of a hydrogen ion solution stronger than 1 normal. It will therefore usually be a positive number, and only in rare, exceptional cases will it be negative in dealing with a stronger hydrogen ion concentration than 1 normal.

A continuación se presentan cuatro categorías de análisis, cada una fundamentada en una extensa revisión bibliográfica, y cuatro criterios para cada una de las ellas, los cuales serán los parámetros que designan cada una de las categorías. Posteriormente se presentarán en forma de tabla, primero el parámetro cualitativo que describe cada criterio junto con su el valor cuantitativo o puntos asignados según dicho parámetro (2= al explicar, 1= al mencionar, 0= no se menciona) y en la segunda tabla para cada categoría se establece un parámetro de análisis asignando un valor cuantitativo dependiendo de los resultados obtenidos en cada criterio. A continuación se presenta una matriz de análisis de cada categoría:

Anexo 2.

Tabla 21. Matriz de análisis de categorías

CRITERIOS DE ANÁLISIS	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4
CATEGORIAS				
FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	Incluye los conceptos ácido-base, constante de disociación del agua y ley de acción de masas	Ion hidrógeno como unidad de medida	Conceptualización de pH y Nueva formulación de pH en el año 1924	Escala de pH
TECNOLÓGICA	Escala y medición de pH	Celdas electroquímicas	Métodos colorimétrico y electrométrico.	Desarrollo del pH-metro a partir de los diferentes elementos básicos de medida y confiabilidad del resultado
ECONÓMICA	Aplicación en procesos industriales	Aplicación en medicina	Instrumentos de medida del pH	Problema que intentó resolver el autor
SOCIAL	Controversia por el uso de pH entre los académicos de la época	Discusión sobre la utilidad de la escala de Sørensen	Necesidad de determinar la acidez	Trabajo de la comunidad científica

Anexo 3.

Tabla 22. Matriz de parámetros de análisis categoría fundamentos conceptuales.

ESCALA - PARÁMETRO			
CATEGORIA: FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	2	1	0
CRITERIO 1 Incluye los conceptos ácido – base, constante de disociación del agua y ley de acción de masas.	Explica los conceptos de ácido y base como sustancias que pueden disociarse para comprender el concepto pH, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua que Sörensen tomó como referente para formular el concepto pH.	Se mencionan los conceptos de ácido y base, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua como fundamento del concepto pH o se omite alguno de estos conceptos en su conceptualización.	No se mencionan los conceptos de ácido y base, la ley de acción de masas de Guldberg y Waage y la constante de disociación del agua como fundamento del concepto pH.
CRITERIO 2 Ion hidrógeno como unidad de medida	Explica el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.	Menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.	No Menciona el uso de la concentración de H^+ para caracterizar las sustancias en neutras, ácidas o básicas como lo propuso Friedenthal.
CRITERIO 3 Conceptualización de pH y Nueva formulación de pH en el año 1924	Explica las propuestas de Sörensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno.	Menciona las propuestas de Sörensen, la primera al expresar la acidez utilizando el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno como exponente de iones hidrógeno p_H . La segunda junto a Linderstrøm-Lang en la que el pH se describe como el logaritmo negativo de la actividad del ion Hidrógeno.	No menciona la propuestas de Sörensen (1909) y Linderstrøm-Lang - Sörensen (1924) de p_H .
CRITERIO 4 Escala de pH	Explica la escala de pH con valores de 0 a 14, según el valor de la constante de disociación del agua $1 \times 10^{-14} = [H^+][OH^-]$. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 (mayor actividad del H^+) y la alcalinidad a un pH mayor de 7 (menor actividad del H^+).	Menciona la escala de pH que comprende valores entre 0 a 14. Un pH de 7 corresponde a la neutralidad, la acidez a un pH menor de 7 y la alcalinidad a un pH mayor de 7.	No Menciona la escala de pH ni refiere los valores de la misma para caracterizar sustancias como neutras, ácidas o básicas.

Anexo 4.

Tabla 23. Matriz de parámetros de análisis categoría tecnológica.

ESCALA – PARÁMETRO	2	1	0
CATEGORIA: TECNOLÓGICA. CRITERIO			
CRITERIO 1 Escala y medición de pH	Explica la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.	Menciona la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.	No Menciona la formulación de una escala pH y la forma de medición de la misma.
CRITERIO 2 Celdas electroquímicas	Explica la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.	Menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.	No Menciona la aparición de las primeras celdas electroquímicas propuestas por Poggendorff y Wheatstone en los años cuarenta del siglo XIX.
CRITERIO 3 Métodos colorimétrico y electrométrico	Explica los métodos de colorimetría y el método del electrodo para medir el pH.	Menciona la colorimetría y el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH.	No menciona la colorimetría y el método del electrodo como los primeros métodos para medir el pH.
CRITERIO 4 Desarrollo del pH- metro a partir de los diferentes elementos básicos de medida y confiabilidad del resultado	Explica el desarrollo de diferentes pH-metros en los cuales se evidencia una creciente exactitud y precisión en la medida, facilidad de uso del instrumento y mantenimiento del mismo.	Menciona diferentes pH-metros desarrollados para mejorar la precisión y exactitud en la medida.	No Menciona diferentes pH-metros desarrollados en los que se mejora la precisión y exactitud en la medida.

Anexo 5.

Tabla 24. Matriz de parámetros de análisis categoría económica

ESCALA – PARÁMETRO	2	1	0
CATEGORIA: ECONÓMICA			
CRITERIO 1 Aplicación en procesos industriales	Establece la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.	Menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.	No menciona la medida de la acidez como parámetro primordial en la industria que maneja procesos enzimáticos.
CRITERIO 2 Aplicación en medicina	Establece la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina.	Menciona el uso de la escala pH en la medicina.	No menciona la utilidad de la escala pH en muchos campos de la medicina.
CRITERIO 3 Instrumentos de medida del pH	Explica el funcionamiento del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias presentándolos como herramientas o instrumentos que generan beneficios económicos.	Menciona el uso del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y herramienta de alta demanda en la industria.	No menciona el uso del papel indicador, los electrodos y pH-metros portátiles y de lectura directa como medios sencillos y prácticos para la caracterización de sustancias y como herramienta de alta demanda en la industria.
CRITERIO 4 Problema que intentó resolver el autor	Establece la relación entre el interés de Sörensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación mientras trabaja en una fábrica de cerveza, con su propuesta sobre el concepto que propuso como pH.	Menciona que el interés de Sörensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH.	No Menciona que el interés de Sörensen por determinar los efectos de la acidez en el funcionamiento de las enzimas de la fermentación lo condujo a proponer el concepto pH.

Anexo 6.

Tabla 25. Matriz de parámetros de análisis categoría social.

ESCALA – PARÁMETRO	2	1	0
CATEGORIA: SOCIAL			
CRITERIO 1 Controversia para el uso de pH entre los académicos de la época	Establece la controversia generada entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época ya que los primeros no aceptaron fácilmente en un comienzo la medida de la acidez a partir de la concentración de iones de hidrógeno.	Menciona la controversia que se generó entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época en la aceptación del pH como medida de acidez.	No menciona la controversia que se generó entre los químicos, los biólogos y los médicos de la época en la aceptación del pH como medida de acidez.
CRITERIO 2 Discusión sobre la utilidad de la escala de Sørensen	Establece la discusión generada en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.	Menciona la discusión que se generó en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.	No menciona la discusión que se generó en la década de 1920 entre los académicos sobre la utilidad de la notación de Sørensen para determinar la acidez o basicidad de las disoluciones.
CRITERIO 3 Necesidad de determinar la acidez	Explica la necesidad de determinar la acidez de un medio con lo cual se inició a un desarrollo teórico, experimental y tecnológico en la época gracias al trabajo en equipo entre la industria y el mundo académico.	Menciona la necesidad de determinar la acidez de un medio que propicie el desarrollo teórico, experimental y tecnológico gracias al trabajo en equipo entre la industria y el mundo académico.	No menciona la necesidad de determinar la acidez de un medio.
CRITERIO 4 Trabajo de la comunidad científica	Explica que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.	Menciona que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.	No menciona que la divulgación de trabajos científicos y la conformación de grupos de investigación en la formulación del pH propiciaron el desarrollo o avance en muchos campos del conocimiento y la industria.

Anexo 7. Encuesta realizada a profesores.



**UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL
MAESTRIA EN DOCENCIA DE LA QUIMICA**

**ENCUESTA DIRIGIDA A PROFESORES DE QUIMICA GENERAL DE EDUCACIÓN
SUPERIOR**

INSTRUMENTO No 1

Estimado profesor:

Como estudiante de la Maestría en Docencia de la Química solicito muy cordialmente diligenciar el siguiente instrumento, con el fin de determinar cuáles son los libros de texto más utilizados en la enseñanza de la química general en textos de educación superior. Estos datos serán utilizados para el desarrollo del trabajo de investigación **pH, HISTORIA DE UN CONCEPTO. ANÁLISIS EN TEXTOS DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

ENCUESTADO:

FECHA DILIGENCIAMIENTO	
INSTITUCION DONDE LABORA	

I. Marque el semestre en el cual dicta clase.

EDUCACION SUPERIOR		SEMESTRE	1	2	3	4
---------------------------	--	-----------------	---	---	---	---

II. Mencione en orden de importancia los cinco textos utilizados en la enseñanza de química general.

TITULO	AUTOR (ES)	EDITORIAL	AÑO
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			