



# Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria

Diana-Yicela Pineda-Caro<sup>1</sup>

Óscar-Julio Medina-Vargas<sup>2</sup>

Gabriela Falla-Rocha<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 8 de septiembre de 2020

**Fecha de aprobación:** 7 de diciembre de 2020

## Resumen

El objetivo de este artículo fue realizar una revisión sistemática exploratoria, con el fin de identificar qué estrategias de enseñanza han abordado el concepto de pH en distintos niveles escolares, desde la perspectiva del pensamiento científico. Para ello, se realizó una búsqueda de información en las bases de datos Web of Science (WoS) y Google Scholar; el intervalo de tiempo fue desde el año 2010 hasta octubre del 2020, identificando 17 documentos, de los cuales solo 8 estaban relacionados con el tema de investigación. Posteriormente, se realizó un análisis para identificar si estos eran congruentes con las habilidades de pensamiento científico: realizar

---

<sup>1</sup> Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). [diana.pineda01@uptc.edu.co](mailto:diana.pineda01@uptc.edu.co). ORCID: [0000-0002-0457-7339](https://orcid.org/0000-0002-0457-7339)

<sup>2</sup> Ph. D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). [oscar.medina@uptc.edu.co](mailto:oscar.medina@uptc.edu.co). ORCID: [0000-0001-6609-356X](https://orcid.org/0000-0001-6609-356X)

<sup>3</sup> Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá- Distrito Capital, Colombia). [gfallar@upn.edu.co](mailto:gfallar@upn.edu.co). ORCID: [0000-0001-8478-9907](https://orcid.org/0000-0001-8478-9907)

preguntas, describir hechos, establecer modelos y argumentar. Como producto de esta revisión, se identificó que las estrategias didácticas de tipo experimental son las que presentan mayor acogida; en su gran mayoría, el concepto se aborda desde temáticas como indicadores naturales, en otros casos, se hace uso de dispositivos electrónicos y softwares, los cuales permiten desarrollar habilidades no solo en el campo científico, sino tecnológico y matemático. En todos los casos se evidencia afinidad por realizar experimentos, principalmente de tipo casero; de igual manera, se analizan las representaciones abstractas y materiales que pueden desarrollar los estudiantes al participar en estas actividades. Otro de los aspectos importantes que se debe fortalecer es la argumentación y la correcta apropiación del concepto, según su actual definición.

**Palabras clave:** enseñanza; pensamiento científico; pH; química.

## **Teaching the Concept of pH from the Perspective of Scientific Thinking: An Exploratory Systematic Review**

### **Abstract**

The objective of this article was to carry out an exploratory systematic review, in order to identify which teaching strategies have addressed the concept of pH at different school levels, from the perspective of scientific thought. For this, an information search was carried out in the Web of Science (WoS) and Google Scholar databases; the time interval was from 2010 to October 2020, identifying 17 documents, of which only 8 were related to the research topic. Subsequently, an analysis was carried out to identify if these were congruent with scientific thinking skills: asking questions, describing facts, establishing models and arguing. As a result of this review, it was identified that didactic strategies of an experimental type are the most popular ones. For the most part, the concept is approached from topics such as natural indicators, in other cases, electronic devices and software are used, which allow developing skills not only in the scientific field, but also in technology and mathematics. In all cases, there is an affinity for conducting experiments, mainly of the home type. Likewise, the abstract and material representations that students can develop by participating in these activities are analyzed. Another important

Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria

aspect that must be strengthened is the argumentation and the correct appropriation of the concept, according to its current definition.

**Keywords:** chemistry; pH; scientific thinking; teaching.

**Para citar este artículo:**

Pineda-Caro, D.-Y., Medina-Vargas, O.-J., Falla-Rocha, G. (2021). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria. *Pensamiento y Acción*, 30, 37-51.

**Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0**



## Introducción

En su interpretación más común, el pH se usa para especificar el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. Este concepto se definió por primera vez como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno, simplificando el manejo de concentraciones muy pequeñas (en el orden de  $10^{-7} \times L^{-1}$ ) (Webster & Eren, 2014). Dicha definición puede ser interpretada en la ecuación 1.

$$pH = -\log[H^+] \quad (1)$$

Sin embargo, actualmente el pH no se define en términos de concentración de iones hidrógeno, sino de la actividad de los iones hidrógeno, así mismo, puede ser expresado en términos de molalidad, tal como se observa en la ecuación 2.

$$pH = -\log\{a_H\} = -\log\left\{\frac{m_{H^+} \gamma_{H^+}}{m^0}\right\} \quad (2)$$

Donde:  $a_H$ : es la actividad del ion hidrógeno  $H^+$ ,  $\gamma_H$  se refiere al coeficiente de actividad molal del ion hidrógeno  $H^+$ ,  $m_{H^+}$  a la molalidad del ion hidrógeno  $H^+$  y  $m^0$  es molalidad estándar ( $1 \text{ mol kg}^{-1}$ ) del solvente (Wunderli, 2020). En otras palabras, la definición actual de pH puede ser interpretada como el logaritmo natural de la actividad del ion hidrógeno en una solución. Desafortunadamente, la “actividad de iones hidrógeno” no puede ser medida por un método termodinámicamente válido; por lo tanto, solo es un concepto teórico. En este sentido, para abordar el concepto de manera experimental, es necesario asegurar su trazabilidad mediante sistemas de referencia para la medida de pH.

En general, la medida del pH es importante en diversas áreas del conocimiento; por ejemplo, en la industria alimentaria (Dotel et al., 2019; Herrera et al., 2020), ambiente (Delgado et al., 2020), control de calidad (Pérez, 2016), salud con amplia aplicación en el estudio del cáncer (Fliegel, 2020; Maleki et al., 2020; Savic et al., 2020), entre otros. Por lo anterior, debido a su gran importancia a nivel científico e investigativo, dicho concepto es ampliamente abordado en el entorno escolar. En la mayoría de los casos, el concepto se aborda de manera teórico-práctica, lo cual puede ser un instrumento importante para el desarrollo del pensamiento científico y, por tanto, de habilidades en el estudiante como hacer preguntas, abordar hechos, modelos y argumentar (Chamizo, 2017).

La enseñanza del concepto de pH presenta algunas dificultades puesto que, generalmente, se aborda de manera mecánica y se sustenta en ecuaciones y modelos matemáticos. Existen otras dificultades, como el uso de textos inapropiados, los cuales a menudo no son fáciles de seguir porque se descuidan muchos fundamentos teóricos y operativos, tal como lo señala Lunelli & Scagnolari (2009). Previamente, Mccarty & Maynard (2006) habían realizado una recomendación para definir correctamente el pH en los libros de texto dado que, usualmente, la definición está dada como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno y no del logaritmo negativo de la actividad del ion hidrógeno. La desactualización del material de apoyo genera la transmisión errónea de conocimientos, así como la consecución de los que se pueden denominar “pseudosaberes”.

Ahora, si se tienen en cuenta los niveles de representación en química según Johnstone (1982), es posible considerar que, para abordar este tipo de conceptos desde el aspecto macroscópico, microscópico y simbólico, es necesario realizar transposiciones didácticas a través de estrategias que le permitan al estudiante comprender conocimientos escolares, a partir de conocimientos avalados por una comunidad científica. Es por esta razón que el presente artículo busca responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿qué estrategias didácticas han sido empleadas para la enseñanza del concepto de pH y de qué manera han influenciado para desarrollar habilidades de pensamiento científico?

## Metodología

La metodología empleada en esta investigación se fundamenta en una revisión sistemática exploratoria (Villasis et al., 2020), donde se describen las estrategias didácticas empleadas para abordar la enseñanza del concepto de pH y temas relacionados. Para el desarrollo de ésta, se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

- 1. Búsqueda y selección de información relacionada:** se realizó en la base de datos Web of Science, en Google Scholar y se realizaron otras búsquedas complementarias, con el fin de obtener la mayor cantidad de información posible. Se emplearon palabras clave como: “pH”, “pH teaching”, “pH

learning”, “pH education”, “enseñanza de pH”, “aprendizaje de pH”, “educación en pH. Para la selección de documentos se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- a. Que la fecha de publicación fuera entre el año 2010 y octubre del 2020.
- b. Que los documentos estuvieran relacionados con el tema de interés.
- c. La información podía estar en cualquier idioma.
- d. Se aceptaban artículos, trabajos de investigación y tesis.

**2. Análisis de las habilidades de pensamiento científico:** se revisó el contenido de los documentos seleccionados y se procedió a identificar las habilidades de pensamiento científico a las que hacían referencia. El análisis se realizó teniendo en cuenta los aspectos teóricos mencionados por Chamizo (2017) en su libro “Habilidades de pensamiento científico”.

## Resultados

Como resultado de los términos de búsqueda, se identificaron 17 documentos; sin embargo, al realizar el análisis de estos, solamente 8 estaban relacionados con el tema de estudio, dentro de los cuales se encuentran 4 tesis de maestría y 4 artículos de investigación. En la Tabla 1 se encuentra el listado de documentos y el análisis de las habilidades científicas que evidencian en su contenido.

**Tabla 1.** Análisis de habilidades científicas en los documentos seleccionados.

Título del documento	Aborda preguntas	Aborda hechos	Aborda modelos	Aborda argumentación
Aprendizaje activo en la enseñanza del concepto pH a través del estudio del suelo.		X	X	X
Estrategia didáctica para la enseñanza del concepto de pH mediante experiencias en el laboratorio con materiales cotidianos.		X	X	X
Secuencia didáctica en la enseñanza de “ácidos y bases” nivel secundario.	X	X	X	X

Título del documento	Aborda preguntas	Aborda hechos	Aborda modelos	Aborda argumentación
Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores.		X	X	X
Los mapas mentales como una estrategia metacognitiva inmersa en la metodología ABP para la enseñanza y el aprendizaje del concepto de pH.		X	X	
Chewing Gum and pH Level of the Mouth: A Model-based Inquiry Sequence to Promote Scientific Practices	X	X	X	X
Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. Propuesta didáctica		X	X	
Listening to pH		X	X	

El análisis de estos documentos hizo evidentes las habilidades de los investigadores para realizar preguntas conceptuales a sus estudiantes; sin embargo, se evidencia la necesidad de potencializar la formación de preguntas por parte de los estudiantes. Los documentos denominados: *Secuencia didáctica en la enseñanza de “ácidos y bases” nivel secundario* y *Chewing Gum and pH Level of the Mouth: A Model-based Inquiry Sequence to Promote Scientific Practices*, fueron los documentos que, en mayor medida, relacionan la habilidad de abordar preguntas, así como la generación de hipótesis que le permite a los estudiantes fortalecer su pensamiento científico.

Las dos habilidades que más se destacan en los documentos son abordar los hechos, así como los modelos. En todos los casos, se evidencia una profundización en la realización de experimentos, principalmente caseros, y se analizan las representaciones abstractas y materiales que pueden desarrollar los estudiantes al participar en estas estrategias pedagógicas. Otro de los aspectos importantes de evaluar es la argumentación; en este sentido, tres de los documentos no enfatizaron en la argumentación, por lo tanto, es de considerar la necesidad de fortalecer esta habilidad del pensamiento científico.

A continuación, se describen algunos aspectos relevantes identificados en los documentos seleccionados, respecto a las habilidades de pensamiento científico.

## **Sobre las preguntas**

Moreno (2013) realizó una investigación por indagación con estudiantes de secundaria, donde analizó el proceso de enseñanza sobre sustancias reguladoras, empleando talleres prácticos y realizando automatizaciones medidas de pH a través de sensores. En este caso, el docente también abordó interesantes preguntas para evaluar, distinguiéndose algunas como: 1. ¿Qué creen los estudiantes que han hecho al participar en una larga sesión de laboratorio usando sensores? 2. ¿Son capaces de dar sentido a los conceptos nuevos que se han introducido en la sesión? y 3. ¿Hasta qué punto son capaces de configurar el sistema correctamente la primera vez que lo usan?

Por ejemplo, en el texto de Val (2020) con su estudio de sustancias naturales como indicadores de pH, no se evidencia explícitamente la realización de preguntas por parte de los estudiantes, sin embargo, el autor indica que se realizaron hipótesis, siendo un aspecto estrechamente relacionado con las habilidades de pensamiento científico. De la misma manera, en otras investigaciones como la de Rojas (2018), se destaca la proposición de preguntas por parte de los profesores, pero no se resaltan las de los estudiantes, lo cual es un aspecto importante en futuras investigaciones.

## **Sobre los hechos**

En la investigación realizada por Quiroga (2017) se aplicó una estrategia didáctica experimental, empleando materiales cotidianos, por ejemplo: vinagres, detergente, blanqueador, pasta dental, ácido muriático, suavizante de ropa, desodorante, agua, champú y arranca. Se hizo uso, además, de pH-metros y de papel indicador universal, papel tornasol azul y papel tornasol rojo. De manera similar, Rincón (2013) realiza una secuencia de actividades experimentales con elementos caseros, además, se destaca por profundizar teóricamente en aspectos como: fórmulas químicas y su clasificación como ácidos o bases, identificación de pares conjugados, fórmulas de Lewis, pH y pOH.

La mayor parte de las investigaciones identificadas se fundamenta en la realización de prácticas experimentales, empleando sustancias de fácil acceso para



estudiantes y docentes. Sin embargo, también se han reportado investigaciones apoyadas en herramientas tecnológicas. Por ejemplo, Hernández y Astudillo (2014) realizaron titulaciones ácido-base con un sensor de pH, un sensor de cuenta gotas, equipos de cómputo y el programa DataStudio. De igual manera, emplearon disoluciones de HCl y NaOH a 0,1 M, con el fin de establecer gráficos para su posterior análisis. Otra investigación enfocada al aprendizaje basado en proyectos fue dirigida por Costa & Fernandes (2019), en la que desarrollaron un dispositivo electrónico de código abierto, convirtiendo las señales eléctricas de pH a frecuencias de sonido, el objetivo de este instrumento era el acceso a prácticas experimentales por parte de estudiantes con limitaciones visuales.

### **Sobre los modelos**

En la investigación realizada por Val (2020) se aborda el concepto de pH en términos del logaritmo negativo de una concentración, aclarando que los estudiantes no tienen conocimientos sobre estos temas; por lo tanto, es posible evidenciar debilidades en la construcción de modelos mentales para dicho concepto. Por otro lado, sí se destaca la construcción de modelos macroscópicos y microscópicos de algunos indicadores naturales de pH como la col morada, piel de uvas, vino tinto, berenjena morada, higos, ciruelas moradas, remolacha, flores, entre otros.

Por otra parte, Jiménez (2016) profundiza en el uso de mapas mentales como una estrategia metacognitiva inmersa en la metodología de aprendizaje basado en problemas para la enseñanza y el aprendizaje del concepto de pH. Cabe destacar que en éste se puede evidenciar la generación de modelos mentales; sin embargo, se destaca la importancia de establecer modelos materiales a través de estrategias como laboratorios reales, uso de simuladores, ejercicios, así como clases magistrales. Uno de los estudios que más enfatiza en la creación de modelos fue realizado por Jiménez et al. (2018), y propone la estrategia “mascar chicle y pH de la boca” con el fin de construir un modelo para explicar fenómenos ácido-base.

## **Sobre la argumentación**

Tortosa (2013) realizó una de las principales investigaciones que abordó esta competencia. En general, se propuso una estrategia en la que los estudiantes utilizaron sensores de pH y equipos de captación automática de datos. Luego, se evaluó la actividad con preguntas sobre lo que habían hecho durante la sesión y sobre cómo saber si una solución es tampón, todo ello con el fin de reconocer el aprendizaje de conocimientos científicos relacionados con pH, ácidos y bases, reacciones de equilibrio y disoluciones. Al evaluar las respuestas de los estudiantes, se determinó que la proporción de respuestas argumentativas fue del 60%, indicando avances significativos en el aprendizaje del concepto de pH y disoluciones reguladoras de pH.

## **Discusión**

En primera instancia, es de considerar que las habilidades de pensamiento científico están relacionadas con un conjunto de saberes que posibilitan la comprensión y aplicación de conocimientos (Burbano et al., 2020). Para Chamizo (2017) existen cuatro habilidades del pensamiento científico: abordar preguntas, hechos, modelos y argumentación. Es decir, involucra la identificación de problemas, el estudio de una situación o fenómeno, las representaciones que se pueden otorgar al objeto de estudio, así como la congruencia de estas habilidades para establecer refutaciones u objeciones y, evidentemente, conclusiones.

Partiendo de lo anterior, respecto a la primera habilidad, los documentos revisados no evidenciaron la proyección de preguntas por parte de los estudiantes; sin embargo, los docentes sí realizan preguntas abiertas y cerradas, lo cual también es importante para orientar los procesos de investigación en el aula. Al respecto, Joglar et al. (2019) mencionan que los docentes generan preguntas abiertas para saber cómo piensan los estudiantes en el aula, aunque, generalmente, en el proceso de evaluación usan preguntas cerradas con el fin de agilizar el proceso de evaluación.

En cuanto a los hechos, fue posible reconocer la importancia de la experimentación para el aprendizaje de conceptos químicos, esta consideración

concuera con otros autores como Blanchar, (2020), Urquizo y Sánchez (2019). Al abordar el concepto de pH, es común emplear experiencias caseras; sin embargo, es indispensable vincular el lenguaje oral, escrito, la interpretación de gráficos y dibujos, tal como lo señalan Jiménez et al. (2018), para ampliar la posibilidad de su comprensión. De igual manera, es fundamental fortalecer los procesos de experimentación con la proposición de resultados y conclusiones. También se recomienda tener en cuenta aspectos como la calibración de equipos potenciométricos, el acceso a soluciones de referencia, correcta preparación de disoluciones, uso de softwares e interpretación de datos y gráficas.

Evaluar los modelos es, probablemente, uno de los aspectos más complejos del pensamiento científico, puesto que las ciencias naturales y, en general, la química, asocian un componente tanto teórico como práctico. Además, no siempre los modelos teóricos son claros para los estudiantes, puesto que se abordan desde representaciones simbólicas o matemáticas. En el caso del concepto de pH, una de las principales debilidades para la construcción de modelos se debe a la deficiencia de habilidades matemáticas relacionadas con el concepto de logaritmo (Rojas, 2018); sumado a ello, están los errores conceptuales al abordarlo, puesto que los mismos libros de texto no abordan su definición actual. Por otro lado, la argumentación resulta una habilidad en la que convergen las preguntas, los hechos y los modelos, por tal razón, es una evidencia de la construcción de comprensiones más significativas del aula y, según lo sugieren Ruiz et al. (2015), es una habilidad que debe asumirse de manera explícita en los procesos de enseñanza.

## **Conclusiones**

Esta revisión sistemática permitió destacar ocho investigaciones donde se han desarrollado estrategias didácticas para abordar el concepto de pH. Al realizar el análisis de las habilidades de pensamiento científico, fue posible identificar que solo dos documentos promueven la generación de preguntas por parte de los estudiantes y lo hacen, principalmente, a través del planteamiento de hipótesis. Por otro lado, todos los documentos destacan la importancia de los hechos y los modelos como habilidades del pensamiento científico, las cuales se pueden

expresar a través de la experimentación y la construcción de conocimiento, realizando un contraste teórico-práctico de los conceptos. En cuanto a la argumentación, se encontró que cinco de los documentos mencionaron el fortalecimiento de esta habilidad en los estudiantes, en su gran mayoría, lo hicieron evidente a través de los resultados obtenidos en pruebas de evaluación de cada investigación.

Por otra parte, se evidenció que las estrategias didácticas para la enseñanza del concepto de pH han centrado su atención en la experimentación, enfatizando en abordar temas como indicadores de pH, empleando materiales que son de fácil acceso para estudiantes y profesores. Sin embargo, es necesario promover estrategias que asocien otras disciplinas diferentes a las ciencias, por ejemplo, la tecnología y las matemáticas, con el fin de tener mayor integralidad conceptual. Por último, es necesario que los profesores orienten el concepto de pH desde su definición actual, generando procesos educativos, donde se resalte el constructo epistemológico por el que ha pasado.

## Referencias

- Blanchar, F. (2020). Características de la práctica pedagógica en el área de Química Characteristics of pedagogical practice in the chemical area Características da prática pedagógica na área química. *Revista Científica*, 37(1), 30-57. <https://doi.org/10.14483/23448350.14855>
- Burbano, C., Builes, Y., y Coronado, J. (2020). Habilidades de pensamiento científico mediante experimentos sencillos en estudiantes de segundo de primaria. *Revista de La Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 32, 31-41
- Chamizo, A. (2017). *Habilidades de pensamiento científico* (U. A. de México (ed.); Primera Ed).
- Costa, S., y Fernandes, J. (2019). Listening to pH. *Journal of Chemical Education*, 96, 372-376. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00641>
- Delgado, P., Durand, A., Zegarra, P., Jiménez, H., Alvarez, V., y Vena, G. (2020). Bioremediación de cromo VI mediante el uso de *Rhodospseudomonas palustris* en efluentes industriales provenientes de curtiembres. *Revista Boliviana de Química*, 37(1), 21-27. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.1.3>
- Dotel, S., Pozo, P., José, C., y Rodríguez, Y. (2019). Evaluación de la acidez en vinagres comercializados en la República Dominicana. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 2(2), 43-52. <https://doi.org/10.22206/cac.2019.v2i2.pp43-52>
- Fliegel, L. (2020). Role of pH Regulatory Proteins and Dysregulation of pH in Prostate Cancer. En: *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. [https://doi.org/10.1007/112\\_2020\\_18](https://doi.org/10.1007/112_2020_18)
- Hernández, D., y Astudillo, L. (2014). Titulaciones ácido-base con el empleo de software. *Educacion Quimica*, 25(1), 42-45. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(14\)70522-1](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(14)70522-1)

- Herrera, S., Gómez, L., y Cabrera, P. (2020). Influencia del uso de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en la alcalinización y sedimentación del jugo de caña. *Revista Centro Azúcar*, 47(3), 70-82
- Jiménez, J. (2016). Los mapas mentales como estrategia matecognitiva inmersa en la metodología ABP para la enseñanza y el aprendizaje del concepto de pH [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Jiménez, M., Salmerón, E., y Martínez, M. (2018). Chewing Gum and pH Level of the Mouth: A Model-based Inquiry Sequence to Promote Scientific Practices. *World Journal of Chemical Education*, 6(3), 113-116. <https://doi.org/10.12691/wjce-6-3-2>
- Joglar, C., Rojas, S., y Manzanilla, M. (2019). Formulación y Uso de las Preguntas en la Clase de Ciencias Naturales a Partir de las Creencias de los Profesores. Un Estudio en la Región Metropolitana de Santiago, Chile. *Información Tecnológica*, 30(5), 341-356. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000500341>
- Johnstone, A. (1982). Macro and micro chemistry. *School Science Review*, 64(227), 377–339.
- Lunelli, B., y Scagnolari, F. (2009). pH Basics. *Science and Education*, 86(2), 1–5.
- Maleki, R., Khoshoei, A., Ghasemy, E., y Rashidi, A. (2020). Molecular insight into the smart functionalized TMC-Fullerene nanocarrier in the pH-responsive adsorption and release of anti-cancer drugs. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 100, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.jmgm.2020.107660>
- Mccarty, C., y Maynard, J. (2006). pH Paradoxes : Demonstrating That It Is Not True That  $\text{pH} \equiv -\log [\text{H}^+]$ . *Journal of Chemical Education*, 83(5), 752-757. <https://doi.org/10.1021/ed083p752>
- Moreno, M. (2013). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de Las Ciencias*, 31(1), 189-211
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Quiroga, J. (2017). Estrategia didáctica para la enseñanza del concepto de pH mediante experiencias en el laboratorio con materiales contextualizados [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Rincón, H. (2013). Propuesta didáctica para el aprendizaje del concepto de pH en estudiantes de básica secundaria [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Rojas, S. (2018). Aprendizaje activo en la enseñanza del concepto de pH a través del estudio del suelo [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.
- Savic, L., Schobert, I., Peters, D., Walsh, J., Laage, F., Hamm, C., Tritz, N., Doemel, L. A., de Lin, M., Sinusas, A., Schlachter, T., Duncan, J., Hyder, F., Coman, D., y Chapiro, J. (2020). Molecular imaging of extracellular tumor pH to reveal effects of locoregional therapy on liver cancer microenvironment. *Clinical Cancer Research*, 26(2), 428-438. <https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-19-1702>
- Tortosa, M. (2013). Aprendizaje sobre disoluciones reguladoras de pH mediante indagación guiada utilizando sensores. *Enseñanza de Las Ciencias*, 1(31), 189-211
- Urquiza, E., y Sánchez, N. (2019). Extracto del maíz morado como indicador químico. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 9, 92-104. <https://doi.org/10.37135/chk.002.09.08>
- Val, O. (2020). Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH: Una propuesta didáctica. *Anales de Química*, 116(2), 88-98
- Villasis, M., Rendón, M., García, H., Miranda, M., & Escamilla, A. (2020). La revisión sistemática y el metaanálisis como herramientas de apoyo para la clínica y la investigación. *Revista Alergia México*, 67(1), 62. <https://doi.org/10.29262/ram.v67i1.733>

- Webster, J., y Eren, H. (2014). *Measurement, Instrumentation, and Sensors* (Segunda Ed). Taylor & Francis Group.
- Wunderli, S. (2020). Reference Materials in Measurement and Technology. In S. Medvedevskikh, O. Kremleva, I. Vasil'eva, & E. Sobina (Eds.), *Reference Materials in Measurement and Technology* (p. 251). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-32534-3>