



Análisis de las concepciones alternativas y del aprendizaje del pH con una práctica STEM implementada mediante indagación

Analysis of alternative conceptions and learning of pH with a STEM practice implemented through inquiry

Rocío Esteban Gallego¹, José María Marcos-Merino¹ y Jesús Gómez Ochoa de Alda¹

Resumen

La enseñanza del concepto de pH es una tarea compleja dado que los alumnos albergan, desde Educación Secundaria, numerosas concepciones alternativas relacionadas con el mismo. Algunas de ellas se encuentran presentes también en los docentes —en activo y en formación—, situación que favorece su propagación y dificulta la enseñanza de este concepto. Ante esta situación, la investigación educativa ha propuesto implementar actividades prácticas que incluyan un enfoque activo e interdisciplinar. En este trabajo se describe una actividad experimental, diseñada bajo el enfoque STEM e implementada mediante indagación, para la enseñanza del concepto de pH y de su didáctica a un grupo de maestros en formación inicial —considerado como muestra de estudio—. Los resultados de su implementación revelan que esta práctica es efectiva en relación con el aprendizaje del pH, a la vez que contribuye a disminuir la presencia de las concepciones alternativas más comunes. Sin embargo, algunas de ellas (como considerar que la piel tiene pH neutro, que las sustancias neutras son inertes o que el aumento antropogénico de CO₂ atmosférico provoca un aumento del pH de los océanos) siguen estando ampliamente extendidas en la muestra tras su realización.

Palabras clave

pH, aprendizaje activo, indagación, enfoque STEM, concepciones alternativas, formación de profesores.

Abstract

The teaching of the content of pH is a complex task given that students harbour, since Secondary Education, numerous misconceptions related to this topic. Some of these are also present in teachers (both in-service and in-training), situation that favours their dispersion and hinders the teaching of this concept. Given this situation, educational research has proposed implementing practical activities that include active and interdisciplinary approaches. This paper describes an experimental activity, designed under STEM approach, and implemented through inquiry, for the teaching of pH and its didactics to a group of teachers in initial training —considered as study sample—. Results of its implementation reveal that this practice is effective in relation to learning of pH, while contributing to reduce the presence of the most common misconceptions. However, some of them —such as considering that skin has a neutral pH, that neutral substances are inert, or that the anthropogenic increase in atmospheric CO₂ causes an increase in the pH of the oceans— continue to be widely widespread in the sample after their completion.

Keywords

pH, active learning, inquiry, STEM approach, misconceptions, teacher training.

¹ Universidad de Extremadura

Introducción

La enseñanza de la química en la educación obligatoria contribuye a la “alfabetización química” de los estudiantes, los cuales deben comprender los conceptos químicos implícitos en diversos ámbitos cotidianos —medicina, higiene, alimentación, medio ambiente, energía...— para poder actuar como ciudadanos responsables (Blanco, 2007). A pesar de su relevancia, la enseñanza de esta materia resulta compleja ya que, desde la Educación Secundaria, los estudiantes muestran un desinterés y un rechazo crecientes ante su aprendizaje, presentando concepciones alternativas sobre distintos conceptos químicos (Dávila et al., 2016). Uno de ellos es el concepto de pH, sobre el que los alumnos de Educación Secundaria presentan numerosas concepciones alternativas (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Carrizo et al., 2022; Jiménez-Liso et al., 2000; Sesen y Tarhan, 2011), como:

- Definir el pH como un criterio para determinar la calidad de un producto —lo cual revela un desconocimiento del concepto de pH y de otros aspectos como su escala—.
- Asociar neutralidad de una sustancia con sustancias inocuas e inertes.
- Clasificar a la lejía como ácido y a la piel y los productos de higiene como neutros. Asimismo, identificar a los ácidos con sustancias con sabor ácido y a las bases con sustancias amargas. Estas concepciones revelan dificultades para clasificar sustancias cotidianas en función su pH.
- Hay que considerar que solo se pueden ingerir alimentos neutros o con valores de pH alrededor de 7 —concretamente de 6 a 8—.
- Identificar a los ácidos con daño, dolor o corrosión, afirmando que no hay productos cotidianos ácidos.
- Tomar en cuentas las bases —si es que conocen su existencia— no son peligrosas —en contraposición a los ácidos—.
- Considerar que el pH es una característica invariable de las sustancias —lo que revela un desconocimiento de la regulación del pH y de las soluciones amortiguadoras—.

El origen de estas concepciones es diverso. Algunas están influenciadas por el lenguaje cotidiano y la publicidad (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Jiménez-Liso et al., 2000). Otras, sin embargo, tienen su origen en la escuela, dado que están presentes en los docentes, en formación y en activo, y en los libros de texto (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Boz, 2009; Kariper, 2011). Dado el papel de los docentes como transmisores de estas concepciones, es necesario mejorar su formación inicial. Este proceso es, sin embargo, complejo, ya que las concepciones alternativas son difícilmente modificables, sobre todo con la enseñanza tradicional (Carrascosa, 2005). Además, los futuros docentes presentan bajos niveles de motivación hacia el aprendizaje de química y su futura enseñanza (Marcos-Merino et al., 2020), lo que se acentúa para conceptos complejos como el pH.

De acuerdo con la investigación educativa, la enseñanza del concepto de pH se podría mejorar con la incorporación de trabajos:

- Experimentales (Carrizo et al., 2022; Sesen y Tarhan, 2011).
- Implementados mediante metodologías activas como la indagación (Marcos-Merino et al., 2020; Martin-Hansen, 2002).
- Que incluyan aspectos CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad), mediante referencias a la vida cotidiana y a controversias socio-científicas (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Carrizo et al., 2022; Jiménez-Liso et al., 2000).
- Interdisciplinarios. En este sentido, para mejorar la comprensión del concepto de pH, se ha recomendado incluir más matemáticas en su enseñanza (Kariper, 2011). Asimismo, su instrucción podría conectarse con la de contenidos de biología, puesto que, de acuerdo con la investigación educativa, los estudiantes valoran mejor esta disciplina (Marcos-Merino et al., 2020).

El enfoque STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) permite combinar algunos de estos aspectos mediante actividades manipulativas (tecnología), que resuelvan problemas de la vida diaria (ingeniería) mediante ciencia (química, física, biología...) y matemáticas (Toma y Greca, 2016). En este trabajo se describe una práctica STEM para la enseñanza del concepto de pH, implementada mediante indagación, llevada a cabo con un grupo de docentes en formación, a quienes se considera la muestra de estudio. Asimismo, se evidencia su efecto sobre el aprendizaje del pH y el grado de dispersión de las concepciones alternativas más extendidas. Esta actividad se basa en el diseño y construcción de un papel indicador de pH, procedimiento sencillo para trabajar de manera práctica este concepto químico (Mateus et al., 2009).

Metodología

Muestra y procedimiento

Se emplea una muestra no probabilística de 56 maestros en formación (21 años, 77 % mujeres), estudiantes de una asignatura de didáctica de las ciencias del Grado en Educación Primaria en la Universidad de X (España). Respecto a su acceso a los estudios universitarios, un 31 % cursó una modalidad de ciencias en Bachillerato. El resto accedió mediante Bachillerato de ciencias sociales (48 %), artes (5 %), a través de Formación Profesional (14 %) o por otros accesos (2 %).

Estos estudiantes asistieron, en grupos reducidos (20 alumnos), a una actividad de laboratorio (3 horas) en la que se implementó la intervención descrita en este trabajo, en la cual trabajaron por parejas. Los estudiantes fueron informados de los objetivos de la investigación y del carácter voluntario y anónimo de su participación. Los instrumentos solo fueron empleados para validar la intervención y no para la evaluación de la asignatura.

Instrumento y análisis de datos

El instrumento utilizado (anexo 1) es un breve cuestionario de 8 preguntas de tipo test (4 opciones de respuesta, sólo una es correcta). Tomando como referencia el procedimiento seguido en estudios previos sobre validación de prácticas activas de ciencias (Marcos-Merino et al., 2020), este cuestionario se aplica como *pretest* —justo antes de implementar la intervención, para determinar los conocimientos previos— y como *postest* —a los 15 días de la intervención, para determinar el nivel de conocimientos posterior—. El *postest* no se aplica en un periodo de tiempo más largo para disminuir, a la hora de estimar la efectividad de la intervención, el efecto de otros factores (como el posible aprendizaje de los participantes debido al estudio autónomo de la asignatura o a la asistencia a clases teóricas de la misma). Las preguntas de ambos tests son las mismas, ya que, como indica el metaanálisis de Wilson y Putnam (1982), el *pretest* no tiene efectos significativos en el *postest* si la realización de ambos se distancia varios días. Asimismo, al tratarse de un estudio longitudinal, *pretest* y *postest* se emparejan utilizando una clave anónima.

El procedimiento de elaboración y validación del cuestionario sigue los pasos indicados por Smith et al. (2008). Para ello se realizó una revisión sobre: i) concepciones alternativas relacionadas con el concepto de pH en Educación Secundaria y en docentes en formación (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Boz, 2009; Carrizo et al., 2022; Kariper, 2011; Jiménez-Liso et al., 2000; Sesen y Tarhan, 2011), ii) preguntas del informe TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) para 8º grado (14 años) y iii) objetivos de aprendizaje sobre el pH incluidos en el currículo de Educación Secundaria. Estas revisiones se centran en Educación Secundaria, dado que esta etapa es la última en la cual la mayoría de los participantes cursaron asignaturas de ciencias. Tomando como referencia los resultados de estas revisiones, se elaboraron las preguntas, que fueron revisadas por profesores universitarios de Didáctica de las Ciencias Experimentales.

Las pruebas estadísticas y gráficas se han realizado con el software JASP 0.14.1. Teniendo en cuenta que los datos no se ajustan a una distribución normal —p-valor<0.05, test de normalidad Kolmogorov-Smirnov—, se emplea estadística no paramétrica. Se emplea la prueba de Wilcoxon para datos apareados para comprobar si existen diferencias significativas entre las calificaciones —totales y por pregunta— del *pretest* y del *postest*. La distribución de las calificaciones se representa mediante diagramas de caja y violín. Para el análisis de las concepciones alternativas, se ha establecido como criterio que una concepción alternativa está extendida cuando más del 50 % de los alumnos contesta mal a la pregunta relacionada con dicha concepción.

Descripción de la intervención didáctica

La intervención didáctica ha sido diseñada de acuerdo con un enfoque STEM y siguiendo la metodología de indagación acoplada. Según Martin-Hansen (2002), la indagación acoplada es un modelo didáctico que se puede desarrollar en 5 fases, desde el planteamiento del problema al alumno hasta la evaluación del mismo: 1) invitación a la indagación, 2) indagación guiada, 3) indagación abierta, 4) resolución del problema y 5) evaluación. Toma y Greca (2016) emplean estas fases para trabajar las distintas áreas STEM (Figura 1).

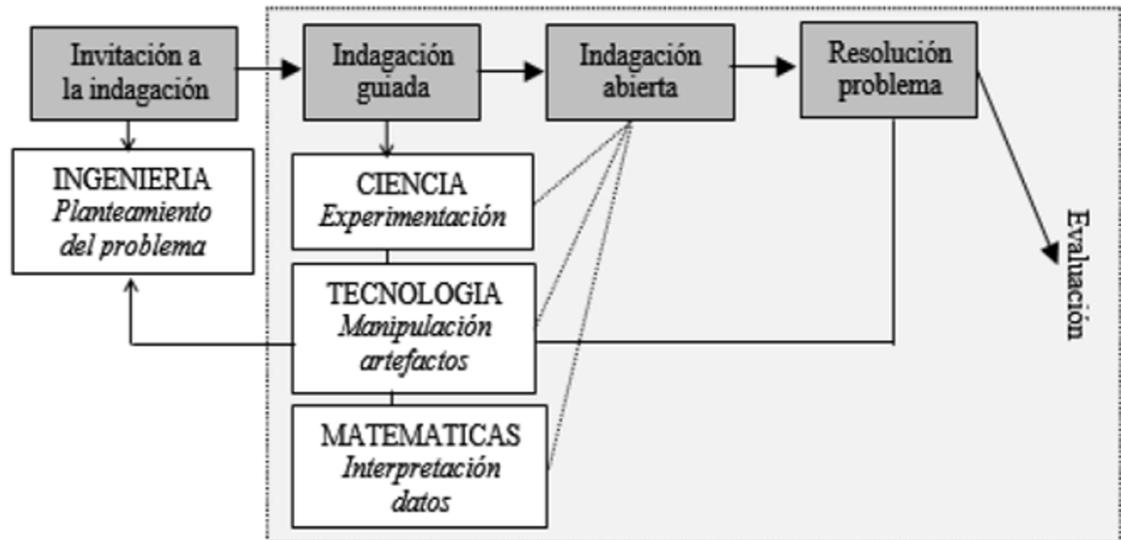


FIGURA 1. Relación de las áreas STEM con las fases de indagación acoplada (Toma y Greca, 2016).

La práctica comienza con la fase 1 —invitación a la indagación—, en la que el profesor, partiendo de una situación cotidiana, plantea un problema de ingeniería —diseñar y construir un artefacto medidor de pH—. Este problema sirve de contexto para trabajar, a lo largo de la intervención y mediante las distintas fases de indagación, los contenidos de ciencia, tecnología y matemáticas (Figura 1). La situación cotidiana planteada al inicio es: “Hoy has acudido al médico porque te encontrabas mal y tenías fiebre. Entre las pruebas realizadas, el médico ha introducido un papel en una muestra de tu orina y el papel ha cambiado de color. El médico ha diagnosticado que tienes una infección de orina. ¿Cómo ha podido llegar a este diagnóstico?”. Esta situación cotidiana sirve al docente de punto de partida para, mediante un debate guiado, plantear a los alumnos el problema de ingeniería relacionado con la construcción de un medidor de pH.

Tras esto, se inicia un debate guiado en el que los alumnos exponen soluciones argumentadas. El profesor actúa como guía: matizando, avalando, ampliando y/o cuestionando las aportaciones de los alumnos. Asimismo, fomenta su participación, con el fin de activar sus conocimientos previos y potenciar el aprendizaje entre iguales. Este proceso también permite al docente identificar los conocimientos previos y las posibles concepciones alternativas. El docente conduce el debate con nuevas preguntas con las que trabajar los conceptos científicos, de diferentes materias, relacionados con el problema (Tabla 1). Los alumnos, organizados en parejas, responden a las preguntas utilizando sus conocimientos previos y realizando búsquedas bibliográficas con sus dispositivos móviles. Las preguntas formuladas, los conceptos abordados en estas y la profundidad con la que estos se tratan pueden variar en función del nivel educativo de los alumnos y de sus conocimientos previos. Los conceptos científicos necesarios para comprender la intervención, descrita en esta contribución, se corresponden con los adquiridos durante la Educación Secundaria (12-18 años). Por ello, su implementación es viable en Educación Secundaria Obligatoria (12-16 años), en Bachillerato (16-18 años) o con alumnos que cursan asignaturas científicas en grados de ciencias sociales —como los estudiantes del Grado en Educación Primaria participantes de este estudio—.

TABLA 1. Ejemplos de conceptos de química, biología, física y matemáticas, así como sus implicaciones CTS, que se pueden trabajar durante la intervención en función del nivel de los alumnos.

| | |
|--------------------|--|
| Química | pH: concepto químico, escala, tipos de sustancias según su pH... Reacción ácido-base. Neutralización. Indicadores de pH. Métodos de medida del pH. Masa molecular, masa molecular relativa, masa molar. Concentraciones inocuas de sustancias peligrosas. |
| Biología | Importancia del pH en los seres vivos y ecosistemas: cuerpo humano, océanos... Importancia de los amortiguadores químicos en la naturaleza: el tampón bicarbonato. Lluvia ácida, acidificación de los océanos... Bacterias: tipos según su efecto en el cuerpo humano y según el pH del medio. Modificación del pH por parte de las bacterias. |
| Física | Color |
| Matemáticas | Concepto matemático de pH ($\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$) Cálculo de potencias negativas, logaritmos, concentraciones y diluciones. |
| CTS | Sustancias ácidas y básicas presentes habitualmente en los hogares, utilización/aplicaciones de estas, inocuidad y/o peligrosidad, normas de seguridad al trabajar con ellas en el laboratorio y en casa. Importancia/utilidad de poder medir el pH (ejemplos). |

Una vez concluido el debate, el profesor plantea el problema de ingeniería que los alumnos tendrán que resolver: “Diseña y construye un mecanismo/dispositivo para medir el pH de cualquier sustancia”. Esto da paso a la fase 2 (indagación guiada), en la que los alumnos emplean instrumentos y dispositivos (tecnología) para diseñar y realizar experimentos (ciencia), y registran e interpretan datos (matemáticas) siguiendo las pautas del docente. Este introduce y explica las antocianinas como indicadores naturales de pH que están presentes en la lombarda o repollo morado (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*). A continuación, guía a los alumnos para que, por parejas, preparen un extracto acuoso de lombarda y observen los cambios de color que se producen al añadir gotas de una disolución de un ácido y de una disolución de una base (agua fuerte y lejía). Los alumnos anotan en su cuaderno el procedimiento seguido: concentración de la sustancia utilizada, número de gotas añadidas para obtener cambio de color, color obtenido, pH de la sustancia añadida... En esta fase, el profesor también guía a los alumnos en la realización de cálculos para preparar disoluciones, así como a calcular el pH.

La fase 3 (indagación abierta) se inicia con una discusión de los resultados de la fase 2. Durante esta, el profesor incita a proponer nuevos experimentos con una batería de sustancias ácidas y básicas —vinagre, zumo de limón, bicarbonato, amoníaco, sosa...—. Los alumnos, por parejas, emplean estas sustancias cotidianas para investigar libremente: emiten hipótesis sobre la naturaleza ácida o básica de las distintas sustancias, sobre los

cambios de color que podrían generar, sobre el posible efecto de añadir un ácido y después una base o viceversa... Llevan a cabo nuevos experimentos con el extracto de lombarda para contrastar sus hipótesis, registran los resultados obtenidos —número de gotas, color resultante y pH de la sustancia—, interpretan los mismos y concluyen. Tras ejecutar estos experimentos, cada pareja obtiene una gama de diferentes colores y una sustancia cotidiana, ácida o básica de pH conocido asociada a cada uno (Figura 2). Con esto se inicia la fase 4 (resolución del problema): los participantes, tomando como referencia los resultados obtenidos, y teniendo la posibilidad de buscar información con sus dispositivos móviles, son capaces de explicar cómo funciona el papel medidor de pH que los médicos utilizan en el diagnóstico de infección de orina, que es determinada por un aumento en su pH.

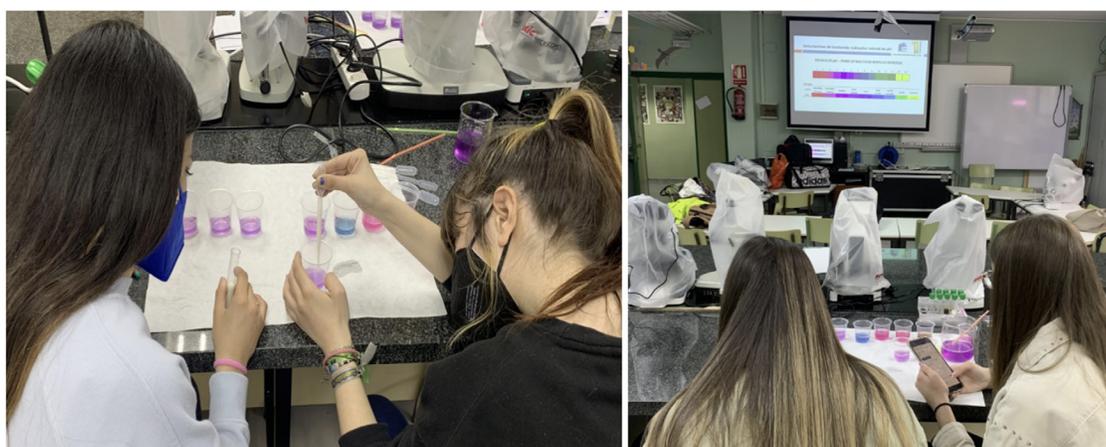


FIGURA 2. Participantes trabajando durante la indagación abierta.

En la última fase, la fase 5 (evaluación), el profesor pide a los alumnos que resuelvan el proyecto de ingeniería planteado. Los alumnos, a través de un debate guiado por el docente, son capaces de llegar a las conclusiones de que: i) en el medidor de pH debe haber una sustancia indicadora de pH y ii) es necesaria una escala de colores que asocie los distintos colores de la sustancia indicadora a valores de pH. Bajo la guía del docente, desarrollan su medidor de pH, para lo cual empapan tiras de papel de filtro de laboratorio con extracto acuoso de lombarda muy concentrado. Tras dejarlas secar, comprueban su funcionamiento determinando el pH de diferentes sustancias (agua del grifo, saliva, refrescos, cerveza, leche...) al comparar el color de la tira de papel con la batería de colores que obtuvieron en la fase de indagación abierta. Los valores de pH de diversas sustancias cotidianas y su correspondencia con los colores de las antocianinas pueden encontrarse en el trabajo de Mateus et al. (2009) (Figura 3).

| color | rojo intenso | rojo violeta | violeta | azul violeta | azul | azul verde | verde azulado | verde | amarillo |
|-------|--------------|--------------|---------|--------------|------|------------|---------------|-------|----------|
| pH | < 2 | 4 | 6 | 7 | 7.5 | 9 | 10 | 12 | >13 |

FIGURA 3. Gama de colores de las antocianinas de la lombarda según el pH de la sustancia añadida (Fuente: Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular).

Para trabajar las relaciones CTS, el profesor plantea otro debate sobre un problema medioambiental: “¿Por qué está disminuyendo el pH de los océanos? ¿Cuál es la explicación química de esta disminución?” Los alumnos, tras buscar información, emiten sus respuestas argumentadas. El profesor dirige el debate, corrigiendo y matizando las respuestas, hasta llegar a la siguiente conclusión: el aumento antropogénico de CO₂ en la atmósfera juega un

papel fundamental en esta disminución. Posteriormente, guía a los alumnos para simular este proceso en el laboratorio: parten de extracto acuoso de lombarda con pH alcalino y observan cómo cambia el color del mismo cuando introducen en él CO_2 de su espiración a través de una pajita. Empleando su batería de colores obtenida en la fase de indagación abierta, los participantes comprueban cómo la introducción de CO_2 acidifica el extracto de lombarda. Tras esto, se reflexiona sobre los efectos ambientales de la acidificación de los océanos.

La intervención, dado que los alumnos son futuros maestros, termina con la enseñanza de los aspectos didácticos. Para ello se reflexiona sobre cómo se ha implementado el enfoque STEM y cómo se ha integrado con las 5 fases de la indagación acoplada, así como sobre la potencialidad didáctica de ambas metodologías en el nivel educativo de Educación Primaria.

Resultados y discusión

El análisis de las respuestas de los participantes al cuestionario apoya la efectividad de la práctica, dado que la nota aumenta significativamente después de la intervención, desde una media de 2.59 en el *pretest* a una media de 5.05 en el *posttest* —la mediana aumenta de 3 a 5, p -valor <0.001 , test de Wilcoxon— (Figura 4).

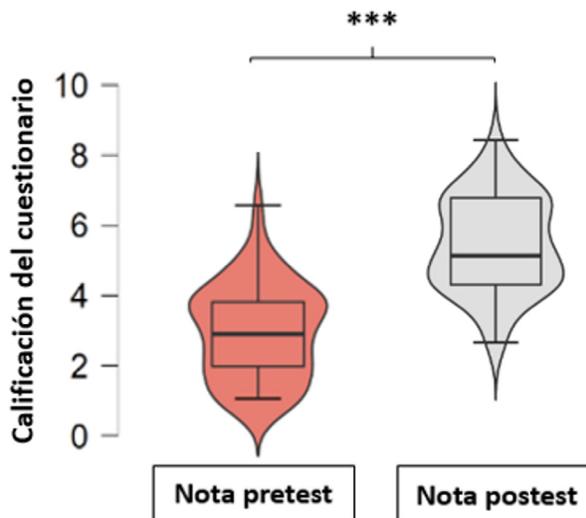


FIGURA 4. Diagramas de cajas y de violín que representan la distribución de las notas del *pretest* (naranja) y del *posttest* (gris). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. La curva del violín representa la densidad de puntos. Las líneas horizontales sobre cajas unen grupos diferentes (** p -valor <0.001 , test de Wilcoxon).

El análisis individual de las preguntas apoya estos resultados, teniendo en cuenta que se observan aumentos significativos en el porcentaje de aciertos de la mayoría de las preguntas (Tabla 2). En el *pretest*, ninguna pregunta es contestada correctamente por más del 50 % de la muestra —solo una pregunta se acerca a un tercio de las respuestas correctas—, resultados que podrían indicar una falta inicial de conocimiento sobre los conceptos y fenómenos naturales relacionados con el pH. Este análisis del *pretest* permite detectar la presencia de algunas concepciones alternativas, teniendo en cuenta el porcentaje de alumnos que selecciona una respuesta incorrecta, como:

- El pH de las soluciones biológicas no se mantiene constante (53.6 %, pregunta 1) o se regula a través de la sosa (28.6 %, pregunta 2), los electrones (23.2 %, pregunta 2) o la sal de mesa (8.9 %, pregunta 2).

- El aumento de CO₂ en la atmósfera debido a la acción humana provoca un aumento del pH de los océanos (64.3 %, pregunta 3).
- Es peligroso ingerir sustancias ácidas (21.4 %, pregunta 6), las soluciones alcalinas son inocuas (12.5 %, pregunta 6) o la lejía es ácida (8.9 %, pregunta 7).
- Las sustancias con pH neutro nunca son peligrosas (12.5 %, pregunta 6) o son inertes (19.6 %, pregunta 8).
- La piel tiene un pH neutro (46.4 %, pregunta 7).

Además, el análisis de las preguntas 4 y 5 revela dificultades para establecer la relación de los protones con el pH de una disolución y para interpretar los intervalos de pH.

En el *postest*, 4 de las 8 preguntas (preguntas 1, 2, 5 y 6) son respondidas correctamente por más del 50 % de la muestra, lo que apoya la superación de las concepciones alternativas y dificultades asociadas. Estas preguntas, al igual que otras 3 preguntas que no alcanzan dicho porcentaje (preguntas 3, 4 y 7), muestran incrementos estadísticamente significativos respecto al *pretest* (Tabla 2). Los resultados también muestran que algunas concepciones siguen presentes en el *postest*, concretamente:

- El aumento de CO₂ atmosférico debido a la acción humana provoca un aumento del pH de los océanos (53.6 %, pregunta 3).
- La piel tiene un pH neutro (51.7 %, pregunta 7).
- Las sustancias neutras son inertes (26.8 %, pregunta 8).

Asimismo, continúan las dificultades para establecer la relación de los protones con el pH de una disolución (pregunta 4).

| Pregunta | Respuesta correcta | Pretest % | Postest % | p-valor |
|---|---|-----------|-------------|------------------|
| 1. El pH de las soluciones biológicas (sangre, orina, océanos...): | Se mantiene constante debido a que contiene sustancias que actúan como amortiguadores o tampones. | 19,6 | 62,5 | <0.001 |
| 2. El pH de los fluidos biológicos depende de: | La presencia de tampones como el bicarbonato. | 14,3 | 50,0 | <0.001 |
| 3. El aumento de la concentración de CO ₂ en la atmósfera debido a la acción humana: | Tiene un efecto directo sobre la disminución del pH de los océanos. | 14,3 | 37,5 | 0.003 |
| 4. Respecto al pH, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?: | Cuanta mayor concentración de protones tiene la solución, menor es su pH. | 14,3 | 46,4 | <0.001 |
| 5. Respecto a los valores de pH, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?: | Tienen un valor de 1 a 14. | 21,4 | 85,7 | <0.001 |

TABLA 2. Resultados del cuestionario de conocimientos. Para cada pregunta se indica la respuesta correcta, el porcentaje de la muestra que la selecciona en el *pretest* y en el *postest*, y el p-valor de la prueba de Wilcoxon para evaluar si existen diferencias significativas entre ambos. En negrita, los porcentajes de acierto iguales o superiores al 50 % y los p-valor inferior a 0.05.

| | | | | |
|-------------------------------------|---|------|-------------|------------------|
| 6. Señala la afirmación correcta: | Existen alimentos habituales como la coca cola, que son muy ácidos. | 32,1 | 66,1 | <0.001 |
| 7. Respecto al pH: | El agua pura tiene un valor de pH de 7. | 19,6 | 41,1 | <0.005 |
| 8. Las sustancias con un pH neutro. | No son inertes, por tanto, pueden reaccionar con otras sustancias. | 23,2 | 37,5 | 0.07 |

En su conjunto, estos resultados respaldan la efectividad de la intervención diseñada. Esta efectividad puede deberse a sus características didácticas, tal como apoyan resultados de investigaciones previas. Así, se ha descrito que la inclusión de actividades experimentales puede mejorar la enseñanza del concepto de pH de una manera más efectiva que la enseñanza tradicional (Carrizo et al., 2022; Sesen y Tarhan, 2011). La validez de las actividades experimentales es aún mayor si se emplean enfoques activos (como la indagación), en los que los alumnos tengan que resolver problemas desarrollando investigaciones guiadas por el docente (Marcos-Merino et al., 2020; Martin-Hansen, 2002). Los debates dirigidos por este favorecen el aprendizaje entre iguales, que aumenta la comprensión y la memoria en mayor medida que el aprendizaje individual (Edelson et al., 2011). En cuanto a la inclusión de los aspectos CTS, las referencias a temas y productos cotidianos puede mejorar el rendimiento, ya que resaltan la aplicabilidad y la utilidad de los contenidos (Marcos-Merino et al., 2020; Hulleman y Harackiewicz, 2009). Asimismo, la inclusión de enfoques interdisciplinarios, como el enfoque STEM, pueden favorecer la comprensión de los fenómenos naturales y mejorar el rendimiento (Kariper, 2011). Estos enfoques —experimentales, activos, CTS e interdisciplinarios— han sido descritos como potencialmente motivadores para la enseñanza de la química (Marcos-Merino et al., 2020; Dávila et al., 2016), por lo que su posible influencia en la mejora de los aspectos afectivos —como emociones o autoeficacia— podría ser una posible causa que explicara la efectividad de la intervención.

Respecto a las concepciones alternativas sobre el pH, algunas de ellas inicialmente estaban extendidas, lo que concuerda con investigaciones previas que detectaron su presencia tanto en docentes en formación (Alvarado-Zamorano et al., 2013; Boz, 2009; Kariper, 2011) como en alumnos de Educación Secundaria (Carrizo et al., 2022; Jiménez-Liso et al., 2000; Sesen y Tarhan, 2011). Este resultado es preocupante y pone de manifiesto la necesidad de mejorar la formación científica de los futuros maestros sobre el concepto de pH, ya que los docentes son uno de los principales transmisores de las concepciones alternativas (Carrascosa, 2005). Abordarlas en su formación puede resultar clave para evitar la trasmisión de concepciones alternativas profesor-alumno. La inclusión de actividades experimentales, como las propuestas en esta contribución, pueden ayudar a disminuir su grado de dispersión (Sesen y Tarhan, 2011); aunque algunas siguen estando extendidas tras su implementación, ya que las concepciones alternativas son complejas de erradicar (Carrascosa, 2005).

La formación inicial de los docentes debe centrarse también en la didáctica del pH —entre otros aspectos, errores conceptuales más comunes en los alumnos, influencia del lenguaje y los medios de comunicación en los mismos, o metodologías didácticas para su enseñanza—. La inclusión de estas referencias a su futuro profesional puede contribuir a mejorar la motivación de los futuros docentes para el aprendizaje de este concepto (Marcos-Merino et al., 2020).

Conclusiones

La intervención STEM implementada mediante indagación acoplada, descrita en este trabajo, es efectiva en relación con el aprendizaje del concepto de pH de la muestra y a la disminución de la mayoría de las concepciones alternativas más extendidas sobre este concepto químico. Esta actividad experimental e interdisciplinaria podría ser empleada para mejorar la enseñanza del pH y las concepciones alternativas relacionadas, así como para formar a los futuros docentes en la enseñanza mediante el enfoque STEM y la indagación. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que algunas concepciones alternativas siguen siendo frecuentes en la muestra tras su implementación, lo que hace necesario complementar la enseñanza del pH con otros recursos didácticos.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Proyecto PID2020-115214RB-I00/AEI/10.13039/501100011 033 del Ministerio de Ciencia e Innovación (Gobierno de España) y por la Ayuda GR21047 (Gobierno de Extremadura).

Referencias

- Alvarado-Zamorano, C., Cañada, F., Mellado, V. y Garritz, A. (2013). Dificultades en el aprendizaje de acidez y basicidad y el conocimiento didáctico del contenido de profesores mexicanos de Bachillerato. *Enseñanza de las ciencias*, Extra, 107-112.
- Blanco, A. (2007). Alfabetización química y educación para la ciudadanía. *Cooperación Educativa*, 85, 27-31.
- Boz, Y. (2009). Turkish prospective chemistry teachers' alternative conceptions about acids and bases. *School Science and Mathematics*, 109(4), 212-222.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2(3), 388-402.
- Carrizo, M., Giménez, M., Barutti, M. y Cayo, I. (2022). El abordaje de pH en contexto áulico desde la interpretación de situaciones cotidianas. *Educación química*, 33(2), 94-105.
- Dávila, M. A., Cañada, F., Sánchez, J. y Mellado, V. (2016). Las emociones en el aprendizaje de física y química en educación secundaria. Causas relacionadas con el estudiante. *Educación química*, 27(3), 217-225.
- Edelson, M., Sharot, T., Dolan, R. y Dudai, Y. (2011). Following the crowd: brain substrates of long-term memory conformity. *Science*, 333(6038), 108-111.
- Hulleman, C. y Harackiewicz, J. (2009). Promoting interest and performance in highschool science classes. *Science*, 326(5958), 1410-1412
- Jiménez-Liso, R., Manuel Torres, E., González García, F. y Salinas López, F. (2000). La utilización del concepto de pH en la publicidad y su relación con las ideas que manejan los alumnos: aplicaciones en el aula. *Enseñanza de las ciencias*, 18(3), 451-461.

- Kariper, İ. (2011). An investigation into the misconceptions, erroneous ideas and limited conception of the pH concept in pre-service science teacher education. *The Chemical Education Journal*, 14(1), 6.
- Marcos-Merino, José María, Esteban Gallego, Rocío, Ochoa de Alda, Jesús A. G. (2020). Valor subjetivo y emociones hacia el uso de Química en una práctica activa interdisciplinar. *Educación Química*, 31(4)
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69(2), 34-37.
- Mateus, J., Daza, H., Hilarión, J., Parada, A. y Valbuena, R. (2009). Elaboración de papel indicador a base de extractos naturales: una alternativa fundamentada en experiencias de laboratorio para el aprendizaje del Concepto de pH. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 6(2), 302-314.
- Sesen, B. y Tarhan, L. (2011). Active-learning versus teacher-centered instruction for learning acids and bases. *Research in Science & Technological Education*, 29(2), 205-226.
- Smith, M., Wood, W. y Knight, J. (2008). The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE-life sciences Education*, 7(4), 422-430.
- Toma, R. y Greca, I. (2016). Modelo interdisciplinar de educación STEM para la etapa de Educación Primaria. En M. Cebreiro et al. (Eds.), *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo* (pp.1-6). Orense, España: Educación editora.
- Willson, V. y Putnam, R. (1982). A meta-analysis of pretest sensitization effects in experimental design. *American Educational Research Journal*, 19(2), 249-258.

Anexo 1. Cuestionario con las opciones correctas resaltadas en amarillo

RESPONDE A LAS SIGUIENTES PREGUNTAS

Sólo una opción es correcta en cada pregunta

- 1.- El pH de las soluciones biológicas (sangre, orina, océanos, ...):
 - Se mantiene constante debido a que contiene sustancias que actúan como amortiguadores o tampones.
 - Se mantiene constante porque no puede cambiar, es una característica invariable de estas soluciones.
 - No se mantiene constante, varía según las circunstancias y el momento.
 - Dichas soluciones no tienen pH.
- 2.- El pH de los fluidos biológicos depende de:
 - La concentración de electrones.
 - La presencia de tampones como el hidróxido sódico (sosa).
 - La presencia de tampones como el bicarbonato.
 - La concentración de cloruro sódico (sal de mesa).
- 3.- El aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera debido a la acción humana:
 - No tiene ningún efecto sobre los océanos.
 - Tiene un efecto directo sobre el aumento del pH de los océanos.
 - No afecta al pH de los océanos sólo a su temperatura.
 - Tiene un efecto directo sobre la disminución del pH de los océanos.
- 4.- Respecto al pH, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?:
 - Cuanto el pH de una solución es neutro, dicha solución no tiene protones libres.
 - Cuanto mayor concentración de protones tiene la solución, mayor es su pH.
 - Cuanto mayor concentración de protones tiene la solución, menor es su pH.
 - No depende de la concentración de protones.
- 5.- Respecto a los valores de pH, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es cierta?:
 - Cuanto mayor es el valor de pH de una solución, más ácida es la misma.
 - El pH neutro es 5,5.
 - Si es menor de 7 el pH de una solución, la misma es básica.
 - Tienen un intervalo de 1 a 14.
- 6.- Señala la afirmación correcta:
 - Es peligroso beber soluciones con un pH menor de 6.
 - Beber cualquier solución básica o alcalina es inocuo (no peligroso).
 - El pH de los alimentos es neutro.
 - Existen alimentos habituales, como la cola-cola, que son muy ácidos.
- 7.- Respecto al pH:
 - La lejía es una sustancia ácida.
 - La piel tiene un pH neutro, de 5.5.
 - Los productos de higiene (gel, champú, ...) tienen un pH neutro para no irritar la piel.
 - El agua pura tiene un valor de pH de 7.
- 8.- Las sustancias con pH neutro:
 - No reaccionan con ácidos ni con bases.
 - Son el resultado de cualquier reacción química.
 - No son inertes, por tanto, pueden reaccionar con otras sustancias.
 - Son aquellas que tienen un pH neutro para la piel (5.5).