

Físico o químico: modelización de los cambios en Educación Secundaria

Physicist or Chemist: Modeling Changes in Secondary Education

Luisa López-Banet,¹ María de los Ángeles Ruiz Rosell¹ y Marina Martínez-Carmona¹

Resumen

Los contenidos relacionados con los cambios físicos y químicos presentan dificultades de aprendizaje asociadas a los niveles de conocimiento implicados en su identificación. Resulta imprescindible tener en cuenta las recomendaciones presentes en la bibliografía para ayudar al alumnado a comprender la naturaleza de ambos tipos de cambios. Con el objetivo de promover la competencia del alumnado en la identificación y modelización de los cambios físicos y químicos, se ha diseñado una secuencia de actividades que ha sido implementada en segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria. Las dificultades de aprendizaje que suponen los contenidos presentes en la propuesta han sido de utilidad como punto de partida para el diseño de las actividades, de forma que el objetivo que se planteaba en cada una de ellas pretendía ayudar al alumnado a superarlas. En concreto, se referían principalmente a dos aspectos. Por un lado, los contenidos de cambio físico y cambio químico y, por otro, la falta de comprensión de los tres niveles de interpretación de la materia y las relaciones que existen entre ellos. Los resultados evidencian que la propuesta permite mejorar el aprendizaje en todos los aspectos evaluados por lo que resulta adecuada para la enseñanza de la química.

Palabras clave: cambio físico, didáctica de la química, dificultades de aprendizaje; educación secundaria; modelización; reacción química.

Abstract

The contents related to physical and chemical changes present learning difficulties associated with the levels of knowledge involved in their identification. It is essential to consider the recommendations present in the bibliography to help the student understand the nature of both types of changes. With the aim of promoting the development of the student's competence in the identification and modeling of physical and chemical changes, a sequence of activities has been designed that has been implemented in the second year of Compulsory Secondary Education. The learning difficulties posed by the contents present in the proposal have been useful as a starting point for the design of the activities, so that the objective set in each of them was intended to help the students overcome them. Specifically, they mainly referred to two aspects. On the one hand, the contents of change and chemical change and, on the other, the lack of physical understanding of the three levels of interpretation of matter and the relationships that exist between them. The results show that the proposal allows improvement in all aspects evaluated, which is why it is essential for the teaching of chemistry.

Keywords : chemical reaction; chemistry education; learning difficulties; physical change; secondary education; modeling.

CÓMO CITAR:

López-Banet, L., Ruiz Rosell, M. de los A., y Martínez-Carmona, M. (2025, julio-septiembre). Físico o químico: modelización de los cambios en Educación Secundaria. *Educación Química*, 36(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.3.89825>

¹ Universidad de Murcia. España.



Introducción

La nueva orientación de los currículos supone abandonar la idea de almacenar información con la finalidad de que el alumnado sea competente en la utilización de los conocimientos científicos. Esto implica poner en práctica las capacidades cognitivas de pensar, hacer y comunicar (Merino e Izquierdo, 2011). Actualmente existe consenso sobre la participación en las prácticas científicas que implican plantear preguntas y definir problemas, desarrollar y usar modelos, planificar y realizar investigaciones, analizar e interpretar datos, usar el pensamiento matemático y computacional, construir explicaciones y diseñar soluciones, argumentar considerando evidencias científicas y obtener, evaluar y comunicar la información (Bybee, 2011).

La competencia científica es una de las competencias clave para la educación que aparece incluida en el currículum de Educación Secundaria (MEFP, 2022). Esta competencia integra la idea de alfabetización científica como una competencia para todo el mundo que implica ser capaz de utilizar el conocimiento científico de manera adecuada y en contexto para actuar (Couso et al. 2024). Las evaluaciones internacionales como PISA consideran la competencia científica a través de capacidades propias de la actividad científica, como explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar indagaciones científicas, e interpretar científicamente datos y evidencias (OECD, 2023). Las dimensiones anteriores se corresponden con las prácticas de la ciencia para construir ideas clave de modelización, indagación y argumentación (Couso et al., 2024), indispensables en el desarrollo de la competencia científica (Pedrinaci et al., 2012). La indagación de calidad permite dar sentido a las ideas científicas clave y desarrollar el conocimiento científico y las destrezas de investigación con una visión adecuada de la ciencia a través de contextos significativos para el alumnado, que lo involucran emocionalmente (Romero-Ariza, 2017). La argumentación es relevante para la enseñanza de las ciencias ya que fomenta la capacidad de evaluar enunciados teóricos a partir de pruebas (Jiménez et al., 2000). Las actividades de modelización promueven la explicitación de ideas, elaboración de conclusiones de manera consensuada y la expresión de manera más científica a través de distintos procesos de reconstrucción (Garrido et al. 2022).

Enseñanza y aprendizaje de los cambios físicos y químicos

El cambio químico no se suele presentar como algo sorprendente y que es necesario aprender progresivamente para poder comprenderlo, sino que se comienza con la introducción de conceptos que alejan al alumnado de la realidad, como la reorganización de los átomos que no se ve y la clasificación de cambios químicos (Merino e Izquierdo, 2011). Habitualmente se describen propuestas de actividades de experimentación, como alternativas a la metodología tradicional, que promueven una visión inadecuada del conocimiento científico y que no ayudan al alumnado a la construcción de sus propias explicaciones (Garrido et al. 2022).

El aprendizaje de los cambios químicos debe promover nuevas formas de hablar sobre las reacciones químicas a través de la modelización para que el alumnado pueda interpretar los fenómenos naturales desde sus propias ideas personales (Izquierdo, Merino y Marzábal, 2021), incorporando determinadas reglas que se irán enriqueciendo durante la

escolaridad (Jiménez-Liso, 2021). Resulta fundamental para que el alumnado pueda pensar que se evite la asimilación de modelos mecánicos y en su lugar, se potencie la formulación de preguntas que tengan sentido (Adúriz-Bravo, Merino e Izquierdo-Aymerich, 2012).

Algunos cambios químicos se pueden identificar porque las nuevas sustancias presentan un color distinto, efervescencia o se forma un sólido por lo que se suelen observar estas propiedades para detectarlos (Caamaño y Marchán, 2021). Sin embargo, la identificación de un cambio químico implica, además, conocer: 1) la transformación de unas sustancias y formación de otras nuevas en proporciones fijas; 2) la conservación de la masa de los elementos que constituyen las sustancias; 3) la representación de la reacción. Por tanto, resulta oportuno que la secuencia de actividades para la enseñanza del cambio químico promueva la modelización y permita ver distintas reacciones químicas desde el mismo modelo simplificando su extensa diversidad (Izquierdo, Merino y Marzábal, 2021). Las representaciones permitirán diferenciar entre cambios físicos y químicos si consideran como criterios exclusivos de los cambios químicos la combinación de las sustancias en proporciones fijas y la composición constante (Jiménez-Liso et al., 2021; Martínez-Carmona, Luisa López-Banet, L. y Jiménez-Liso, 2022).

Dificultades de aprendizaje

En relación con el aprendizaje de los contenidos de cambio físico y cambio químico, el alumnado suele confundir las disoluciones y los cambios de estado con las reacciones químicas, sobre todo en aquellas que implican la desaparición de una sustancia en la mezcla (Dávila et al., 2017). Además, la existencia de tres niveles de interpretación de la materia y las relaciones que existen entre ellos supone una dificultad para el aprendizaje: el nivel macroscópico, que trata los fenómenos sensoriales y visibles, el nivel microscópico, que estudia las partículas, y el nivel simbólico, que representa la materia en símbolos, ecuaciones y fórmulas (Dori y Hameiri, 2003; González y Crujeiras, 2016). En cuanto al nivel microscópico, lo contemplan, de forma errónea, igual que el nivel macroscópico, pero en diminuto (Furió y Furió, 2000).

Los símbolos, formas y ecuaciones químicas suponen otro reto para el alumnado e implican tener la capacidad para diferenciar los dos tipos de números (coeficiente estequiométrico y subíndice molecular) en las ecuaciones químicas. Un error frecuente en el ajuste de reacciones consiste en la modificación del producto de la reacción cuando se observa que el número de átomos no es el mismo en reactivos que en productos. Por ejemplo, en el ajuste de la reacción $\text{Fe} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}$, en lugar de modificar el coeficiente del oxígeno, se sustituye el producto obtenido por FeO_2 (Méndez, 2013). Otro aspecto que presenta dificultades es la ley de conservación de la masa, sobre todo cuando una de las sustancias es un gas (Méndez, 2013). Esto es debido a que no consideran a los gases, macroscópicamente, cuerpos materiales como los sólidos y los líquidos (Furió y Furió, 2000).

Objetivos de la investigación

De acuerdo con los antecedentes, el modelo tradicional de enseñanza que se viene utilizando en las aulas fracasa en el objetivo de desarrollar la competencia científica, por lo que se requiere la implementación de nuevas estrategias. Solé et al. (2023) han identificado que las ideas de estudiantes de secundaria sobre aire contaminado pueden evolucionar, aunque

no en el mismo grado que en términos de estructura, después de la implementación de una secuencia de enseñanza y aprendizaje basada en modelos. Por tanto, se establece como objetivo de la investigación diseñar, aplicar y evaluar una secuencia de enseñanza y aprendizaje basada en modelos para desarrollar la práctica científica de modelización en el alumnado de segundo de la ESO para la identificación de cambios físicos y químicos de la materia.

Los problemas que se pretenden resolver se enunciarían como se indica a continuación:

Problema principal 1: ¿Cómo se pueden tener en cuenta las dificultades de aprendizaje del alumnado sobre los cambios químicos en la materia para diseñar una propuesta que contribuya a desarrollar la práctica de modelización?

Problema principal 2: ¿Qué efectos sobre el aprendizaje del alumnado de segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria tiene la propuesta planificada?

Metodología de la investigación

Diseño de la secuencia de enseñanza y aprendizaje basada en modelos

Las principales dificultades de aprendizaje descritas se han tenido en cuenta tanto en la planificación y metodología de las actividades, como en los materiales propuestos. Para cada una de las actividades se han diseñado una serie de cartas y piezas con distintas formas geométricas para que, de forma visual, el alumnado pueda comprender el nivel de interpretación microscópico y sea capaz de relacionarlo con los niveles macroscópico y simbólico. Además, se han presentado las ecuaciones químicas en niveles de complejidad creciente (Dori y Hameiri, 2003).

Se han planteado actividades en las que su dinámica supone un reto intelectual para el alumnado y el aprendizaje de los nuevos contenidos conlleva una motivación intrínseca (López y Domènech-Casal, 2018). Además, se han incorporado los procesos que Pedrinaci et al. (2012) consideran imprescindibles para el desarrollo de la competencia científica, entre los que se encuentra la modelización. En concreto, se propone la construcción de sucesivos modelos explicativos de situaciones cada vez más complejas como criterio para el diseño de cada actividad de la secuencia sobre los cambios químicos. Asimismo, la propuesta educativa se enmarca en la normativa vigente (MEFP, 2022).

Instrumentos de recogida de información

Para valorar el efecto que tiene la propuesta planificada sobre el aprendizaje del alumnado se ha diseñado un cuestionario como instrumento de recogida de información (Tabla 1). El cuestionario ha sido previamente revisado por expertos en la materia y consiste en preguntas abiertas acerca de distintos ejemplos de cambios físicos y químicos cercanos al alumnado, en las que se tiene que describir lo que ocurre en cada situación y representarla mediante diagrama de partículas. Las cuestiones se plantearon con la finalidad de que el alumnado explicitase sus ideas sobre los cambios químicos antes de la implementación de las actividades.

1. Describe qué ocurre cuando disuelves azúcar en agua.
2. Imagina que tienes unas gafas especiales que te permiten ver lo que ocurre a nivel microscópico cuando disuelves azúcar en agua. Dibújalo.
3. Describe qué ocurre cuando quemas un papel.
4. Imagina que tienes unas gafas especiales que te permiten ver lo que ocurre a nivel microscópico cuando quemas un papel. Dibújalo.
5. Describe qué ocurre cuando el agua entra en ebullición.
6. Imagina que tienes unas gafas especiales que te permiten ver lo que ocurre a nivel microscópico cuando el agua entra en ebullición. Dibújalo.
7. Describe qué ocurre cuando el hierro se pone de color rojizo.
8. Imagina que tienes unas gafas especiales que te permiten ver lo que ocurre a nivel microscópico cuando el hierro se pone de color rojizo. Dibújalo.

TABLA 1. Ítems del pretest, que se realiza también al finalizar la unidad didáctica a modo de postest.

Con el objetivo de valorar el efecto que ha tenido la propuesta sobre el aprendizaje del alumnado, el mismo cuestionario es realizado por el alumnado tras finalizar la secuencia de actividades, con la intención de poder comparar las respuestas antes y después de implementar la propuesta educativa.

Análisis de la información

Las respuestas a las preguntas 1, 3, 5 y 7 consistían en explicitar lo que ocurre a nivel microscópico en los cambios físicos y químicos, por lo que se han clasificado en tres categorías de mayor a menor nivel de adecuación: A) la explicación es correcta y completa, B) el alumnado demuestra tener conocimiento, pero la justificación no es correcta o completa; y C) la explicación es incorrecta o incompleta. En las preguntas 2, 4, 6 y 8 se solicitaba representar los cambios físicos y químicos a nivel microscópico en tres categorías, de mayor a menor nivel de adecuación: A) representa el nivel microscópico, utilizando adecuadamente la propuesta, B) representa el nivel microscópico y utiliza incorrectamente la propuesta, y C) no lo representa desde el punto de vista microscópico.

Contexto y participantes

La muestra está conformada por 57 estudiantes del curso de 2º de ESO con edades comprendidas entre 12 y 15, que pertenecen a tres grupos distintos con características diferentes y heterogéneas, ya que dos de los grupos presentan bajo rendimiento o absentistas, mientras que en el tercero su actitud y rendimiento son muy positivos.

Secuencia de actividades

La unidad didáctica se compone de seis actividades en las que los contenidos se secuencian en orden creciente de dificultad (Tabla 2). Cada una de las actividades pretende ayudar a superar las dificultades descritas en la bibliografía como se indica a continuación.

Actividad	Finalidad	Descripción
Actividad 1. Se proporcionan cartas que contienen figuras geométricas (Figura 1) para representar cambios físicos y químicos.	Iniciar la modelización de los cambios químicos y su diferenciación con los cambios físicos	En grupos, se representa el cambio que aparece en cada una de las cartas con diferentes modelos del nivel microscópico
Actividad 2. Asociar el símbolo que aparece en las cartas proporcionadas a un modelo.	Relacionar el nivel microscópico con el nivel simbólico de algunas reacciones sencillas. Favorecer la comprensión de los símbolos químicos. Diferenciar entre el coeficiente estequiométrico y los subíndices de un símbolo	Cada grupo coge una carta y, utilizando las piezas que aparecen en ella, debe probar cómo se pueden combinar para formar los productos de la reacción en función de las proporciones que indican los coeficientes y subíndices
Actividad 3. Relacionar los niveles microscópico y simbólico a través del ajuste de reacciones químicas.	Superar las dificultades de aprendizaje referidas a añadir indistintamente átomos aislados o moléculas y la modificación del producto de la reacción.	En la primera parte, el alumnado debe identificar el número de piezas necesarias para ajustar una reacción con el modelo proporcionado. En una segunda parte, el alumnado puede crear su propio modelo para representar distintas reacciones sencillas
Actividad 4. Observación de una reacción química en la que se desprende un gas	Reconocer la ley de conservación de la masa en todas las reacciones, incluso cuando participan sustancias gaseosas	Representación y cálculo de la masa de los reactivos de una reacción con modelos de plastilina. Formación de los productos de reacción con el modelo y cálculo de su masa para construir la explicación de la ley de la conservación de la masa
Actividad 5. Realización y representación de las reacciones involucradas en la lluvia ácida. Utilización de piezas que se ensamblan en determinadas proporciones	Reforzar la relación entre el nivel macroscópico (experiencia visual de las reacciones de la lluvia ácida), microscópico (piezas que encajan a modo de modelo microscópico) y simbólico (cartas con la representación simbólica de las reacciones de la lluvia ácida) de una reacción	Se desarrolla la actividad de indagación en el laboratorio sobre la lluvia ácida y cambio de pH (Martínez-Carmona y López-Banet, 2021). Utilizando modelos similares a los anteriores, el alumnado debe ajustar la reacción química observada.
Actividad 6. Clasificación de varios ejemplos en cambios físicos o químicos.	Aplicar los conocimientos adquiridos identificando el tipo de cambio a partir de la representación de cada proceso.	Se presentan distintos modelos de cambios físicos o químicos en nivel creciente de dificultad para su identificación, en tareas individuales y por grupos.

TABLA 2. Secuencia de actividades.

Los modelos consisten en distintas formas geométricas que se pueden ensamblar únicamente para dar lugar a la formación de nuevos productos en los cambios químicos (Figura 1).



FIGURA 1. Relación entre la simbología y los modelos microscópicos de las reacciones químicas.

Resultados

El análisis de resultados de las preguntas del pretest y postest se ha realizado clasificando las respuestas del alumnado en categorías de mayor a menor nivel de adecuación. En la Tabla 3 se muestran las preguntas y ejemplos de cada una de las categorías.

	Categoría	Ejemplos
Pregunta 1	A	“Se convierte en una mezcla homogénea, es un cambio físico, ya que no se une, solo se disuelve”
	B	“Que las moléculas de azúcar se juntan con las de agua, pero no da una nueva sustancia”
	C	“Se mezclan y forman una sustancia nueva”
Pregunta 3	A	Por la combustión, los elementos del papel se modifican y pasa a ser otra sustancia, llamada ceniza
	B	Que las moléculas del papel se mezclan con las del fuego y da una nueva sustancia
	C	Pues se disuelve
Pregunta 5	A	Que las moléculas de agua se evaporan por la temperatura del fuego, pero no cambia de sustancia, sigue siendo agua, pero en forma de vapor
	B	Que cambia de estado líquido a gaseoso
	C	Se pone caliente y tira burbujas
Pregunta 7	A	Que se oxida y cambia de sustancia a óxido de hierro al entrar en contacto con oxígeno
	B	Las moléculas de hierro y las de oxígeno o agua se mezclan y crea una nueva sustancia
	C	Que se pone rojo

TABLA 3. Ejemplos de respuestas incluidas en cada categoría.

Los resultados para la pregunta 1, tanto del pretest como del postest, se recogen en la Tabla 4.

TABLA 4. Resultados en el pretest y postest para la pregunta 1.

Nota. NC: no contesta.

	Tipo de Cambio				Justificación			
	Bien	Mal	NC	Total	A	B	C	Total
Pretest	0	0	21	21	0	7	14	21
Postest	5	1	15	21	2	10	9	21

En el pretest, ningún estudiante expresa el tipo de cambio que ocurre, mientras que en el postest es indicado por 6 (5 de forma correcta y 1 erróneamente). En cuanto a la adecuación de la justificación, en el pretest, la mayoría de las respuestas son de categoría C y ninguna de categoría A, mientras que, en el postest, la mayoría de las respuestas son de categoría B y 2 de categoría A.

Los resultados para la pregunta 3 se recogen en la Tabla 5.

TABLA 5. Resultados en el pretest y postest para la pregunta 3.

Nota. NC: no contesta.

	Tipo de Cambio				Justificación			
	Bien	Mal	N.I.	Total	A	B	C	Total
Pretest	0	0	21	21	0	8	13	21
Postest	8	0	13	21	3	8	10	21

Como observamos en la Tabla 5, en el pretest ningún estudiante indica el tipo de cambio que ocurre, mientras que, en el postest, lo indican 8, en todos los casos de forma correcta. En cuanto a la adecuación de la justificación, en el pretest, la mayoría de las respuestas son de categoría C y ninguna de categoría A. En el postest, la categoría C se reduce y las de categoría A aumentan.

Al igual que en la pregunta 1, el alumnado no indica el tipo de cambio en el pretest, mientras que, en el postest, lo hacen 8 de forma correcta. En cuanto a la adecuación de la justificación, en el pretest, la mayoría de las respuestas son de categoría C y ninguna de categoría A. En el postest, la mayoría de las respuestas sigue siendo de categoría C, aunque se reducen, y aparecen tres en la categoría A.

Los resultados de la pregunta 5 se recogen en la Tabla 6.

TABLA 6. Resultados en el pretest y postest para la pregunta 5.

Nota. NC: no contesta.

	Tipo de Cambio				Justificación			
	Bien	Mal	N.I.	Total	A	B	C	Total
Pretest	0	0	21	21	0	12	9	21
Postest	4	1	16	21	2	10	9	21

En el pretest el tipo de cambio no es identificado en ningún caso, mientras que, en el postest, lo alcanzan de forma correcta 4 estudiantes. En cuanto a la justificación, en el pretest, la mayoría de las respuestas son de categoría B y ninguna de categoría A. En el postest, dos estudiantes aportan una respuesta categorizada como A.

Los resultados para la pregunta 7 se recogen en la Tabla 7.

TABLA 7. Resultados en el pretest y postest para la pregunta 7.
Nota. NC: no contesta.

	Tipo de Cambio				Justificación				Total
	Bien	Mal	N.I.	Total	A	B	C		
Pretest	0	0	21	21	0	15	6	21	
Postest	6	0	15	21	3	14	4	21	

De la misma forma que en las cuestiones anteriores, no hay respuestas sobre el tipo de cambio en el pretest, mientras que en el postest lo indican correctamente 6 estudiantes. La justificación en el pretest mayoritariamente pertenece a la categoría B y ninguna de categoría A. En el postest, al igual que en las preguntas anteriores, se reducen las respuestas incorrectas y aumentan las de categoría A.

Los ejemplos de respuestas incluidas en cada categoría para las preguntas 2, 4, 6 y 8, se muestran en la Tabla 8.

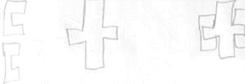
		Categoría		
		A	B	C
	Pregunta 2			
	Pregunta 4			
	Pregunta 6			

TABLA 8. Ejemplos de respuestas incluidas en cada categoría.

Los resultados para las preguntas 2, 4, 6 y 8, tanto del pretest como del postest, se recogen en la Tabla 9.

		Número de respuestas por categoría				Total
		A	B	C		
		Pretest	Postest	Pretest	Postest	
	Pregunta 2	0	2	19	21	
		11	4	6	21	
	Pregunta 4	A	B	C	Total	
		0	0	21	21	
	Pregunta 6	11	1	9	21	
		9	3	9	21	
	Pregunta 8	A	B	C	Total	
		0	1	20	21	
		8	1	12	21	

TABLA 9. Resultados en el pretest y postest de las preguntas 2, 4, 6 y 8.

Como observamos en la Tabla 9, la mayor parte de las respuestas del pretest en todas las preguntas son de categoría C y ninguna de categoría A, mientras que, en el postest, aumenta el tipo A. En las preguntas 4 y 8 correspondientes a cambios químicos, la mayoría de las respuestas del pretest se habían categorizado como C mientras que, en el postest, 11 y 8 estudiantes, respectivamente, han sido capaces de elaborar respuestas de categoría A. Se puede considerar que este alumnado ha desarrollado su capacidad para representar las reacciones químicas a nivel microscópico al incluir correctamente el número de partículas de reactivos y productos correspondientes a los respectivos coeficientes estequiométricos de la ecuación química dada.

Por tanto, el aumento en el número de respuestas correctas, tanto al describir como al dibujar, evidencia una mayor competencia del alumnado para identificar correctamente el tipo de cambio, siendo mayor en las preguntas de representar gráficamente. Es destacable mencionar que la propuesta ha ayudado a superar dificultades de aprendizaje asociadas a los contenidos trabajados y a comprender la diferencia entre cambios físicos, como la disolución de azúcar en agua y la ebullición del agua, con cambios químicos, como la oxidación del hierro o la síntesis del amoniaco. Esta secuencia de enseñanza basada en modelos supone un beneficio para el aprendizaje de estos contenidos de gran relevancia para la química ya que la utilización como criterio el cumplimiento de la ley de las proporciones constantes para identificar un cambio químico permite aseverar el tipo de cambio. De esta manera, es posible resolver la problemática que surge para clasificar los cambios físicos y químicos atendiendo a ciertos aspectos que pueden darse en ambas situaciones, como el cambio de color o la reversibilidad.

Conclusiones

En relación con el problema "¿Cómo se pueden tener en cuenta las dificultades de aprendizaje del alumnado sobre los cambios químicos en la materia para diseñar una propuesta que contribuya a desarrollar la competencia científica?" se ha propuesto una secuencia de actividades que permite al alumnado diferenciar las disoluciones y los cambios de estado de los cambios químicos. Se han incluido bastantes ejemplos de disoluciones y cambios de estado, tanto del agua como de otras sustancias, para que ayudar a comprender el cambio físico. Además, para iniciar la relación entre los niveles macroscópico y microscópico, se han diseñado actividades de modelización por medio de diagramas de partículas. Se ha incorporado el nivel simbólico para comenzar a relacionar los coeficientes estequiométricos con las proporciones de las sustancias que intervienen en una reacción química. Por último, se han presentado las ecuaciones químicas en orden de complejidad creciente, comenzando por ecuaciones químicas sencillas.

En cuanto al problema "¿Qué efectos sobre el aprendizaje del alumnado de segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria tiene la propuesta planificada?" una parte del alumnado mejora en sus respuestas al cuestionario tras la implementación de la propuesta y les ayuda a superar las dificultades de aprendizaje asociadas a estos contenidos, por lo que se puede concluir que la propuesta ha tenido un efecto positivo sobre el aprendizaje. Además, una parte del alumnado muestra mayor competencia en la identificación de los cambios físicos y químicos, que resulta más evidente cuando las respuestas consisten en dibujos, por lo que las actividades de modelización han resultado eficaces. Es destacable que parte del alumnado optó por utilizar la propuesta para realizar el ajuste de las reacciones de la prueba final de la materia, que no forma parte de esta investigación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el proyecto PID2023-150682NA-I00 financiado por: MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A., Merino, C., y Izquierdo, M. (2012). An approach to the construction of chemistry curricula on the basis of structuring theoretical fields. *Journal of Science Education*, 13, 42–44.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms. In *Understanding a Framework for K-12 Science Education*. NSTA's Journals. <https://doi.org/10.4018/978-1-59904-597-9.ch013>
- Caamaño, A., y Marchán, I. (2021). La progresión en el aprendizaje de los conceptos de sustancia y reacción química en secundaria. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 103, 7–15.
- Couso, D., Grimalt, Á., López Simó, V., Marbà, A., y Oliveras Prat, B. (2024). Desarrollar la competencia científica. *GRAÓ 12-18: Tu espacio de referencia en Educación Secundaria*, 58–64.
- Dávila Acedo, M. A., Cañada Cañada, F., Sánchez Martín, J., y Borrachero, A. B. (2017). Las ideas previas sobre cambios físicos y químicos de la materia, y las emociones de los alumnos en educación secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias, No Extraor*, 3977–3983. <https://acortar.link/obRxcl>
- Dori, Y. J., y Hameiri, M. (2003). Multidimensional Analysis System for Quantitative Chemistry Problems: Symbol, Macro, Micro, and Process Aspects. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 278–302. <https://doi.org/10.1002/tea.10077>
- Furió, C., y Furió, C. (2000). Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos. *Educación Química*, 11(3), 300. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.3.66442>
- Garrido Espeja, A., Soto Alvarado, M., y Couso Lagarón, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 87–105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- González Rodríguez, L., y Crujeiras Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de Las Ciencias*, 34(3), 143–160. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2018>
- Izquierdo, M., Merino, C., y Marzábal, A. (2021). ¡La reacción química emociona! La importancia del lenguaje en la modelización del cambio químico. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 103, 16–22.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "Doing Science": Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84, 757–792.

Jiménez-Liso, M. R., Martínez-Aznar, M. M., López-Banet, L., Quesada, A., y Romero-Ariza, M. (2021). Para prevenir contagios por coronavirus hay que lavarse las manos, ¿con jabón, hidroalcohol, lejía o agua oxigenada? In A. M. Abril, Á. Blanco-López, & A. J. Franco (Eds.), *Enseñanza de las ciencias en tiempos de COVID-19. De la investigación didáctica al aula* (pp. 177-191). Graó.

Martínez-Carmona, M., y López-Banet, L. (2021). Unidad didáctica sobre los cambios químicos que intervienen en el efecto invernadero. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 71-85. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7997>

Martínez-Carmona, M., López-Banet, L., y Jiménez-Liso, M. R. (2022). ¿Qué le ocurre al coronavirus en presencia de jabón? Las leyes ponderales para diferenciar cambios físicos de químicos. *Educación Química EduQ*, 30, 34-40.

Méndez Coca, D. (2013). ¿Cómo afrontan los alumnos en secundaria las reacciones químicas? *Aula de Encuentro*, 15, 129-137.

Merino, C., y Izquierdo, M. (2011). Contribución a la modelización del cambio químico. *Educación Química*, 22(3). [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30137-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30137-X)

Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). *Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria*.

OECD. (2023). *PISA 2022 Assessment and Analytical Framework*, PISA, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/dfe0bf9c-en>

Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P., y de Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Editorial GRAÓ.

Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3335>

Solé, C., Couso, D., y Hernández, M. I. (2023). Revisiting secondary students' ideas about air pollution. The challenge of particulate matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 132-142. <https://doi.org/10.1039/d2rp00117a>