

# ¿Qué le ocurre al coronavirus en presencia de jabón? Las leyes ponderales para diferenciar cambios físicos de químicos

Què li passa al coronavirus en presència de sabó? Les lleis ponderals per diferenciar canvis físics de canvis químics

What happens to the coronavirus in the presence of soap? Fundamental Chemical Laws to differentiate physical from chemical changes

Marina Martínez-Carmona y Luisa López-Banet / Departamento de Didáctica de las Ciencias experimentales. Universidad de Murcia

María Rut Jiménez-Liso / Departamento de Didáctica de las Ciencias experimentales. Universidad de Almería



## resumen

Presentamos una secuencia de actividades basada en indagación con un contexto de actualidad, «¿Qué le ocurre al coronavirus en presencia de jabón?», con el objetivo principal de construir el conocimiento químico necesario para diferenciar entre cambios físicos y químicos. Esta diferenciación ha generado controversia y dificultades descritas en la investigación didáctica. La secuencia se inspira en un tema de la historia de la química como estrategia de diferenciación: las leyes ponderales.

## palabras clave

Leyes ponderales, educación secundaria, jabón, coronavirus.

## resum

Presentem una seqüència d'activitats basada en la indagació amb un context d'actualitat, «Què li passa al coronavirus en presència de sabó?», amb l'objectiu principal de construir el coneixement químic necessari per diferenciar entre canvis físics i químics. Aquesta diferenciació ha generat controvèrsia i dificultats descrites en la investigació didàctica. La seqüència s'inspira en un tema de la història de la química com a estratègia de diferenciació: les lleis ponderals.

## paraules clau

Lleis ponderals, educació secundària, sabó, coronavirus.

## abstract

We present a sequence of activities based on inquiry about a current context, «What happens to the coronavirus in the presence of soap?». The main objective is building the necessary chemical knowledge to differentiate between physical and chemical changes. This differentiation has generated controversy and difficulties described in educational research. The sequence is inspired by a theme from the history of Chemistry as a differentiation strategy: the fundamental chemical laws.

## keywords

Fundamental Chemical Laws, Secondary Education, soap, coronavirus.

## 1. Introducción

El currículum actual promueve una enseñanza de la química alejada de los fundamentos que la constituyen (Talanquer, 2013), con contenidos abstractos y apartados de la cotidianidad del alumnado. Esto supone un problema, ya que la descontextualización implica desafección por falta de relevancia (si no resulta útil no tiene sentido para el alumnado). Según Caamaño (2006), a la descontextualización de los contenidos se añade la falta de atención a la modelización y la experimentación, como procesos imprescindibles para construir y validar el conocimiento químico. Para salvar esta carencia, debemos plantear una secuencia de modelización donde el alumnado reconstruya sus modelos, evitando la presentación acabada de los conceptos y teorías (Caamaño y Oñorbe, 2004), es decir, evitando hacer *spoiler* (Couso, 2020). Para ello, es necesario partir de problemas o situaciones similares a los que resuelven los científicos (o resolvieron a lo largo de la historia); que sean significativos, asequibles y relevantes para el alumnado (Camacho y Quintanilla, 2008).

Los cambios físicos y químicos son contenidos centrales de la química en la enseñanza secundaria que requieren una adecuada comprensión e influirán en el aprendizaje de otros conceptos en el futuro, ya que la química abarca una gran cantidad de conceptos íntimamente relacionados entre sí (Borsese, Esteban y Trejo, 2003). Sin embargo, el cambio químico es un concepto mucho más complejo que lo que la mayoría de profesorado y libros de texto reconocen (Hesse y Anderson, 1992). De acuerdo con Taber (2002a), la diferenciación entre cambio físico y químico no es absoluta, existiendo ejemplos que el profesorado encuentra difíciles de clasificar. Tradicional-

Los cambios físicos y químicos son contenidos centrales de la química en la enseñanza secundaria que requieren una adecuada comprensión e influirán en el aprendizaje de otros conceptos en el futuro, ya que la química abarca una gran cantidad de conceptos íntimamente relacionados entre sí

mente, los cambios físicos se definen como aquellos en los que cambia la forma de las sustancias pero no sus propiedades químicas, mientras que para distinguir los cambios químicos se atiende a diversos criterios:

- i) Energético: en función de si se transfieren grandes cantidades de calor (cambio químico) o pequeñas cantidades (cambio físico);
- ii) De reversibilidad: si es reversible (cambio físico) o no (cambio químico);
- iii) De apariencia: incluyen un cambio de color o aspecto (cambio químico) en contraposición de aquellos en que no ocurre (cambio físico);
- iv) De enlace: implican la ruptura o formación de enlaces (cambio químico) o no (cambio físico) (Borsese, Esteban y Trejo, 2003).

Para cada uno de los criterios mencionados es posible encontrar un contraejemplo que no los cumple, por lo que la utilidad de los mismos resulta cuestionable y muestra la existencia de un serio problema en la enseñanza de ambos cambios (Taber, 2002b). Por ejemplo, partir un folio en dos mitades es un cambio físico y sin

embargo es irreversible. Del lado opuesto encontramos varios cambios químicos que son reversibles, como los cambios de color del indicador ácido-base según añadamos más ácido o más base (Jiménez-Liso et al., 2020), o la experiencia de la «botella azul» en la que una disolución de glucosa y azul de metileno en medio básico alterna un color azul o incoloro, dependiendo de si se agita la botella o si se deja reposar, pudiendo repetir el proceso durante varios ciclos (Baker, 2006).

Si la diferenciación entre cambio físico y químico no es absoluta (Taber, 2002a) y, a veces, conlleva controversia entre el profesorado, es esperable que, para el alumnado, su aprendizaje resulte un desafío todavía mayor al requerir la consideración de los diferentes niveles de descripción de la materia (observacional, microscópico y representacional) (Furió y Furió, 2000).

Por todo lo anterior, los objetivos de este trabajo son: i) describir las dificultades del alumnado para diferenciar cambios físicos y químicos y las del profesorado en su enseñanza, ii) utilizar las aportaciones de la historia de la química para salvar esas dificultades y iii) diseñar una secuencia de actividades contextualizada en una problemática de actualidad como el covid-19 que ayude a construir el modelo de cambio químico.

## 2. Dificultades más habituales en relación a la distinción entre cambios físicos y químicos e implicaciones para su enseñanza

La investigación educativa ha identificado dificultades de aprendizaje relacionadas con el modelo de cambios físicos y químicos (Jiménez-Liso et al., 2021a). Se han establecido diferentes etapas en la construcción del proceso de cambio químico (Martín del Pozo, 2001; Solsona y Izquierdo-Ayme-

rich, 1999), en las que, en primer lugar, se parte de relacionar aspectos fenomenológicos con el cambio químico; a continuación, se integra la idea de formación de un producto nuevo para diferenciar fenómenos físicos y químicos, y, finalmente, se define el concepto de reacción química en términos de nivel microscópico o atómico. Sin embargo, a menudo el alumnado se centra en los cambios, pero no en lo que se conserva (Martín del Pozo, 2001; Solsona y Izquierdo-Aymerich, 1999; Stavridou y Solomonidou, 1998), imposibilitando distinguir si se forma una nueva sustancia o producto, así como si los productos iniciales se conservan durante la transformación, aparentemente por la falta de construcción del concepto de sustancia química y de la utilización de criterios adecuados (Stavridou y Solomonidou, 1998). Asimismo, se han descrito ideas no adecuadas relacionadas con el conocimiento químico y las entidades implicadas, como átomos y moléculas. Por ejemplo, aunque el término *reacción* se suele encontrar habitualmente en las explicaciones, no se suele comprender que implica la interacción de átomos y moléculas (Hesse y Anderson, 1992). La conservación de la masa se suele admitir mejor en un cambio físico que en uno químico (Driver, 1986) y cuando cambia algo de la propia sustancia, como el aspecto o la forma (Hesse y Anderson, 1992). En las visualizaciones de las reacciones químicas, el alumnado suele representar las sustancias observables, en lugar de modelos, y tiene dificultades para apreciar los aspectos dinámicos de las partículas que intervienen. Su visión de la reacción química parece ser más aditiva que interactiva, es decir, se visualiza como un proceso de adición de reactivos para formar productos, en lugar de un proceso

de ruptura y formación de enlaces que involucra muchas partículas (Ben-Zvi, Eylon y Silberstein, 1987). Respecto al equilibrio, el alumnado presenta dificultades para identificar su carácter dinámico (Quílez y Sanjosé, 1995). En cuanto a la saponificación, se encuentran problemas al representar los diferentes niveles que intervienen (macroscópico, simbólico y submicroscópico) y para comprender los conceptos relacionados con esta reacción (Baptista *et al.*, 2019).

### 3. La historia de la química como estrategia de resolución de esos problemas

La enseñanza tradicional de la química se centra en los contenidos de ciencias, presta poca atención a cómo se crea el conocimiento y presenta las teorías como realidades absolutas. Este enfoque ofrece una imagen de ciencia triunfalista que poco tiene que ver con la realidad. Si queremos que el alumnado aprenda a «hacer ciencias» resulta más útil evidenciar que en química la construcción del conocimiento se ha formado para dar respuesta a «problemáticas» surgidas en momentos y contextos determinados (Camacho y Quintanilla, 2008). Un ejemplo es la evolución del concepto de cambio químico gracias a la empresa colectiva de numerosos científicos que a lo largo de siglos participaron en ese «caminar» hacia las concepciones de la materia, la masa y las leyes ponderales (Bascañan, 1999).

Estas leyes ponderales nos permiten partir de lo observable (Jiménez-Liso *et al.*, 2021a) con la finalidad de identificar proporcionalidad e ir construyendo el significado de reacción y equilibrio químicos, resultando muy útiles los diagramas de partículas antes y después (Taber, 2002a), ya que permiten conectar los niveles macroscópico y microscópico. La

La investigación educativa ha identificado dificultades de aprendizaje relacionadas con el modelo de cambios físicos y químicos

diferenciación entre cambios físicos y químicos es evidente al considerar la necesaria condición de que los cambios químicos tienen lugar por combinación de las sustancias en proporciones fijas, así como al establecer la relación fenomenológica con la estructura de la materia. La composición constante y las proporciones múltiples son criterios exclusivos de los cambios químicos (Jiménez-Liso *et al.*, 2021a).

### 4. Secuencia de actividades de cambios químicos por indagación

Además de la aportación de la historia de la química para anticiparnos a las dificultades del alumnado y a posibles estrategias de resolución, es imprescindible seleccionar contextos cercanos al alumnado (Jiménez-Liso *et al.*, 2001). La relevancia del cambio químico conlleva plantear actividades conectadas con situaciones de la vida cotidiana que promuevan la expresión de ideas del alumnado (Marchán-Carvajal y Sanmartí, 2015). En el desarrollo cognitivo, es crucial establecer una visión del mundo experiencial desde la perspectiva del entorno del alumnado, lo que sugiere que la adaptación a la experiencia es una poderosa estrategia de aprendizaje (Roth, 2000).

De acuerdo con las recomendaciones de la OMS, la probabilidad de ser infectado con SARS-CoV-2 puede disminuir mediante medidas como el lavado de manos. Entre los posibles productos que

eliminan el coronavirus, se encuentran el jabón, el hidroalcohol, la lejía o el agua oxigenada, los cuales actúan por mecanismos distintos (Jiménez-Liso *et al.*, 2021a). Es posible aprovechar este contexto de actualidad para promover la explicitación de criterios que permitan clasificar estos procesos como cambios físicos o químicos de forma inequívoca. De las diferentes opciones, hemos escogido eliminar el SARS-CoV-2 de nuestras manos utilizando jabón, sustancia que puede disolver las membranas biológicas y formar micelas mezcladas con los fosfolípidos y los glicolípidos (Müller-Esterl, 2011). En contacto con el virus, el jabón rodea la doble capa lipídica del coronavirus y forma una micela, mediante un proceso físico, que se disuelve en agua (Voigt, 2020).

La secuencia de actividades ha sido diseñada para el alumnado de cuarto curso de la ESO, cuyo currículo incluye contenidos de fuerzas intermoleculares (Real Decreto 1105/2014). La secuencia está basada en el ciclo de indagación y modelización propuesto por Jiménez-Liso *et al.* (2021b), que centra su atención en la expresión de las ideas iniciales mediante preguntas que «enganchar» y la búsqueda de pruebas que permitan crear un modelo que dé respuesta a dicha pregunta. Con este referente, nuestra propuesta consta de una serie de actividades (tabla 1) orientadas a promover en el alumnado la curiosidad sobre cómo actúa el jabón con los virus y generar la necesidad de encontrar un modelo que lo explique.

En primer lugar se proyecta en clase un vídeo (que posiblemente el alumnado ya conozca dada la popularidad alcanzada por el mismo durante la pandemia) en el que, en un contexto familiar, con agua, jabón y pimienta, se explica a un/a niño/a la importancia de

lavarse las manos para eliminar los virus. A continuación, se plantea al alumnado que participa en la actividad la duda de si la simulación explica de forma adecuada la acción del jabón en la eliminación del virus. Para dar respuesta a la pregunta, se requiere el planteamiento de hipótesis acerca de si el jabón repele al virus o actúa de otra forma al lavarnos las manos. Tras expresar las ideas iniciales, se pide que se consulten en internet las estructuras químicas del jabón, el SARS-Cov-2 y el aceite. Dada su naturaleza lipídica, el aceite será sugerido en la actividad 5 de diseño experimental, como un mejor «análogo» químico del virus que la pimienta. Posteriormente, se llevan a la práctica los diseños y se comprueba la mayor eficacia del jabón para eliminar aceite que empleando solo agua. Con la actividad 7 se plantean nuevas preguntas: ¿Qué características debe cumplir un cambio para ser químico?, ¿Y para ser físico? A raíz de las mismas, se debe reflexionar sobre aquellos criterios que se consideran útiles para diferenciar ambos tipos de cambios. Se espera que el alumnado proponga los criterios tradicionales, mencionados en la introducción, así como que sugiera la inclusión de las leyes ponderales. En la siguiente actividad se realizan y representan gráficamente varios ejemplos de cambios físicos (derretir un cubito, mezclar varios tipos de arena) y químicos (reacción de vinagre y bicarbonato, encender una vela y taparla con un vaso) para que el propio alumnado decida la validez o no de cada uno de los criterios.

La actividad 9 marca el inicio de la etapa de modelización, ya que mediante un dibujo el alumnado debe intentar explicar el tipo de cambio que tiene lugar al tratar los virus con

agua y jabón. A continuación, se evalúan los modelos propuestos y se reflexiona sobre cómo la falta de relaciones estequiométricas necesarias para explicarlo es una muestra inequívoca de la naturaleza física del cambio. Como resultado se llega a un modelo consensuado entre todo el alumnado que se representa gráficamente en la actividad 11. La última actividad pretende emplear el modelo diseñado para explicar otras situaciones de cambio, concretamente el controvertido ejemplo de la disolución de sal en agua. Se pide al alumnado que, teniendo en cuenta las leyes ponderales, represente gráficamente lo que ocurre a nivel microscópico al disolver sal en agua y establezca una conclusión sobre la naturaleza física o química del cambio. Se espera que, tras la secuencia, se alcance un consenso en la naturaleza física del mismo, ya que no existe una proporción constante sal/agua necesaria para que se produzca el cambio.

### Conclusiones

Coincidimos con Talanquer (2013) en la necesidad de introducir los contenidos de química de forma contextualizada para que tengan sentido para el alumnado y la importancia de trabajar dichos contenidos dedicando tiempo suficiente a la modelización y la experimentación, de manera que se logre construir conocimiento químico validado y duradero (Caamaño, 2006).

Con esta propuesta hemos diseñado una secuencia de indagación que pretende «enganchar» al alumnado con un contexto actual, como es el covid-19, para explicar las diferencias entre cambios físicos y químicos en base a las leyes ponderales, tal y como hicieron los científicos históricamente (Jiménez-Liso *et al.*, 2001).

| Fase de indagación (i) o modelización (m)   | Secuencia de actividades  |
|---|---|
| i 1. Pregunta que «engancha»  | A1. Se proyecta en clase un vídeo, que se ha hecho viral, que simula con pimienta y jabón lo que ocurre con los virus cuando nos lavamos las manos. ¿Es adecuada esta experiencia para explicar la acción del jabón?  |
| i 2. Expresar, justificar ideas personales  | A2. ¿Crees que el jabón puede repeler al virus?   |
|   | A3. ¿Cuáles son vuestras hipótesis? ¿Qué crees que le ocurre al virus al lavarnos las manos para no infectarnos ni transmitir el covid-19?  |
| Contextualización   | A4. Búsqueda de información en internet. ¿Cuál es la estructura del jabón? ¿Y la del virus? ¿Y la del aceite?   |
| i 3. Planificación, evaluación o desarrollo de diseños para obtener pruebas                     | A5. ¿Cómo podríamos comprobar las hipótesis?<br>Se propone al alumnado que diseñe un experimento sencillo para comprobar sus hipótesis. A modo de pista se sugiere el uso de aceite para simular el virus.<br>Los alumnos se ponen aceite en las manos e intentan eliminarlo inicialmente solo con agua y posteriormente con agua y jabón.  |
| i 4, 5 y 6 Recopilación y expresión de datos  | A6. Recopilación de datos.<br>¿Qué le ocurre al aceite al añadir agua y jabón?<br>El alumnado comprueba que solo con agua el aceite no es eliminado del todo, mientras que al añadir jabón las manos quedan perfectamente limpias.  |
| i 2. Expresar y justificar ideas personales   | A7. ¿Qué características debe cumplir un cambio para ser químico?<br>¿Y físico?<br>Los docentes aportan los criterios que a su parecer deben cumplir un cambio físico y uno químico.<br>Se proponen diversos criterios para comprobar cuál sería aceptado:<br>Irreversibilidad del cambio<br>Ruptura y formación de enlaces<br>Cambios en las propiedades de la sustancia<br>Calor liberado<br>Cumplimiento de las leyes ponderales |
| i 5 y 6. Recopilación de pruebas y obtención de conclusiones                                    | A8. Se realizan y representan gráficamente varios cambios químicos y físicos sencillos para ir descartando la universalidad de todos los criterios anteriores excepto el cumplimiento de las leyes ponderales en las reacciones químicas.   |
| m 1. Nueva pregunta (inicio de modelización) y 2. Expresión y justificación de ideas personales | A9. ¿Cómo podemos explicar la acción del jabón? ¿Qué efectos causa el jabón en los virus? ¿Es un cambio físico o químico?<br>Realiza un dibujo explicativo del efecto del jabón en el virus utilizando diferentes relaciones estequiométricas/proporciones.   |
| m 2. Evaluación del modelo  | A10. ¿Permite este modelo explicar las diferencias entre cambio físico y químico?<br>El alumnado reflexiona sobre la utilidad de sus modelos para explicar de forma inequívoca si un cambio es físico o químico.  |
| m 3. Expresión del modelo consensuado   | A11. ¿Qué modelo permite explicar el cambio físico que genera el jabón en el virus?<br>Representación gráfica en la que no se necesita una proporción específica de agua-jabón para eliminar el virus.  |
| m 4. Usar el modelo para explicar nuevos fenómenos  | A12. ¿La disolución de sal en agua es un cambio físico o químico?<br>Se emplea el nuevo modelo para clasificar el controvertido ejemplo de la disolución de sal en agua como un cambio físico.  |

Tabla 1. ¿Qué le ocurre al coronavirus en presencia de jabón? Secuencia de actividades basadas en el enfoque de enseñanza por indagación-modelización.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el proyecto PGC2018-097988-A-I00 financiado por: FEDER / Ministerio de Ciencia e Innovación (MCI) de España-Agencia Estatal de Investigación (AEI).

## Referencias

- BAKER, C. (2006). «The 'blue bottle' reaction». *Education in Chemistry* [en línea]. <<https://edu.rsc.org/exhibition-chemistry/the-blue-bottle-reaction/2020070.article>>
- BASCUÑÁN BLASET, A. (1999). «Bases históricas sobre materia, masa y leyes ponderales». *Revista de la Sociedad Química de México*, vol. 43, n.º 5, p. 171-182.
- BAPTISTA, M.; MARTINS, I.; CONCEIÇÃO, T.; REIS, P. (2019). «Multiple representations in the development of students' cognitive structures about the saponification reaction». *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 20, n.º 4, p. 760-771. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1039/c9rp00018f>>
- BEN-ZVI, R.; EYLON, B.; SILBERSTEIN, J. (1987). «Students' visualization of a chemical reaction». *Education in Chemistry*, vol. 24, n.º 4, p. 117-120.
- BORSESE, A.; ESTEBAN, S. (1998). «Los cambios de la materia, ¿deben presentarse diferenciados en químicos y físicos?». *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, n.º 17, p. 85-92.
- BORSESE, A.; ESTEBAN, S.; TREJO, L. M. (2003). «Estudio de los cambios químicos a través de fenómenos cotidianos». En: PINTO CAÑÓN, G. (ed.). *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CAAMAÑO, A. (2006). «Retos del currículum de química en la educación secundaria. La selección y contextualización de los contenidos de química en los currículos de Inglaterra, Portugal, Francia y España». *Educación Química*, vol. 17, n.º extra (IV Jornadas Internacionales), p. 195-208.
- CAAMAÑO, A.; OÑORBE, A. (2004). «La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 41, p. 68-81.
- CAMACHO, J. P.; QUINTANILLA, M. R. (2008). «Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivas lingüísticas en la química escolar». *Ciência & Educação*, vol. 14, n.º 2, p. 197-212. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1590/s1516-73132008000200002>>
- COUSO, D. (2020). «Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo». En: COUSO, D.; JIMÉNEZ-LISO, M. R.; REFOJO, C.; SACRISTÁN, J. A. (ed.). *Enseñando ciencia con ciencia*. Madrid: Penguin Random House Grupo Editorial, p. 70-81. Disponible en línea en: <<https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>>
- DRIVER, R. (1986). «Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos [Cognitive psychology and conceptual schemes of students]». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 4, n.º 1, p. 3-15. Disponible en línea en: <<http://ddd.uab.cat/record/40558>>
- FURIÓ, C. J.; FURIÓ, C. (2000). «Dificultades conceptuales y epistemológicas en el aprendizaje de los procesos químicos». *Educación Química*, vol. 11, n.º 3, p. 300-308. DOI: <<http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2000.3.66442>>
- HESSE, J. J.; ANDERSON, C. W. (1992). «Students' conceptions of chemical change». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, n.º 3, p. 277-299. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1002/tea.3660290307>>
- JIMÉNEZ-LISO, M. R.; MARTÍNEZ-AZNAZ, M. M.; LÓPEZ-BANET, L.; QUESADA, A.; ROMERO-ARIZA M. (2021a). «Para prevenir contagios por coronavirus hay que lavarse las manos, ¿con jabón, hidroalcohol, lejía o agua oxigenada?». En: ABRIL, A. M.; BLANCO-LÓPEZ, Á.; FRANCO, A. J. (ed.). *Enseñanza de las ciencias en tiempos de COVID-19. De la investigación didáctica al aula*. Barcelona: Graó, p. 177-191.
- JIMÉNEZ-LISO, M. R.; SÁNCHEZ-GUADIX, M. Á.; DE MANUEL, E. (2001). «Aprender química de la vida cotidiana más allá de lo anecdótico». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 28, p. 53-62.
- JIMÉNEZ-LISO, M. R.; DELGADO, L.; CASTILLO-HERNÁNDEZ, F. J.; BAÑOS, I. (2021b). «Contexto, indagación y modelización para movilizar explicaciones del alumnado de secundaria». *Enseñanza de las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, vol. 39, n.º 1, p. 5-25. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3032>>
- JIMÉNEZ-LISO, M. R.; LOPEZ-BANET, L.; DILLON, J. (2020). «Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education». *Science & Education*, vol. 29, n.º 4, p. 1291-1315. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1007/s11191-02000142-6>>
- LÓPEZ-GAY, R.; JIMÉNEZ-LISO, M. R.; MARTÍNEZ-CHICO, M. (2015). «Enseñanza de un modelo de energía mediante indagación y uso de sensores». *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n.º 80, p. 38-48.

Disponible en línea en: <<http://alambique.grao.com/revistas/alambique/80-la-energia-en-la-vida-cotidiana/ensenanza-de-un-modelo-de-energia-mediante-indagacion-y-uso-de-sensores>>

MARCHÁN-CARVAJAL, I.; SANMARTÍ, N. (2015). «Criterios para el diseño de unidades didácticas contextualizadas: aplicación al aprendizaje de un modelo teórico para la estructura atómica». *Educación Química*, n.º 26, p. 267-274.

MARTÍN DEL POZO, R. (2001). «Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 19, n.º 2, p. 199-215.

MARTÍNEZ-TORREGROSA, J.; DOMÉNECH, J. L.; VERDÚ-CARBONELL, R. (1999). «Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las ciencias física y química». *Curriculum*, n.º 6-7, p.67-89. Disponible en línea en: <[http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo\\_id=2675](http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2675)>

MÜLLER-ESTERL, W. (2011). *Bioquímica. Fundamentos para medicina y ciencias de la vida*. Barcelona: Reverte.

QUÍLEZ, J.; SANJOSÉ, V. (1995). «Errores conceptuales en el estudio del equilibrio químico: nuevas aportaciones relacionadas con la incorrecta aplicación del principio de Le Chatelier». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 13, n.º 1, p. 72-80. Disponible en línea en: <<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/download/21395/93354>>

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria

Obligatoria y el Bachillerato (2015). BOE-A-2015-37.

ROTH, W.-M. (2000). «Artificial Neural Networks for Modeling Knowing and Learning in Science». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 37, n.º 1, p. 63-80.

SOLSONA, N.; IZQUIERDO-AYMERICH, M. (1999). «El aprendizaje del concepto de cambio químico en el alumnado de secundaria». *Investigación en la Escuela*, n.º 38, p. 65-75.

STAVRIDOU, H.; SOLOMONIDOU, C. (1998). «Conceptual reorganization and the construction of the chemical reaction concept during secondary education». *International Journal of Science Education*, vol. 20, n.º 2, p. 205-221. Disponible en línea en: <<https://doi.org/10.1080/0950069980200206>>

TABER, K. (2002a). *Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure: Classroom resources*. Londres: Royal Society of Chemistry.

— (2002b). *Chemical Misconceptions: Prevention, diagnosis and cure: Theoretical background*. Londres: Royal Society of Chemistry.

TALANQUER, V. (2013). «School Chemistry: The Need for Transgression». *Science & Education*, n.º 22, p. 1757-1773. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s11191-011-9392-x>>

VOIGT, M. (2020). *Fighting Coronavirus with soap* [en línea]. <[https://youtu.be/s2EVlqqL\\_f8](https://youtu.be/s2EVlqqL_f8)>



**Marina Martínez-Carmona**

Doctora en Química por la UCM. Profesora a tiempo completo en el

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Murcia. Investiga en el uso de metodologías activas (indagación, argumentación, ABJ y gamificación) para el desarrollo de la competencia profesional científica en el profesorado en formación.

C. e.: [marina.m.c1@um.es](mailto:marina.m.c1@um.es)



**Luisa López-Banet**

Profesora contratada doctora en el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Murcia. Ha participado en diversos congresos y publicaciones sobre el diseño, implementación y evaluación de propuestas didácticas. Su investigación se centra en la formación de profesorado de ciencias de educación infantil, primaria y secundaria.

C. e.: [llopezbanet@um.es](mailto:llopezbanet@um.es)



**Rut Jiménez-Liso**

Catedrática de Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE) en la Universidad de Almería. Licenciada en Química y doctora en DCE. Investiga sobre la formación de docentes en ciencias y el efecto que producen la indagación, la modelización y la contextualización. Directora del grupo Sensociencia. Editora de las revistas *Eureka* y *Enseñanza de las Ciencias*.

C. e.: [mrjimene@ual.es](mailto:mrjimene@ual.es)